

## Novos materiais de construção com tecnologias avançadas

LUCAS S.<sup>1</sup>, CUNHA S.<sup>2</sup>, SENFF L.<sup>3</sup>, PAIVA H.<sup>1</sup>, AGUIAR J. L. B.<sup>2</sup>,  
LABRINCHA J. A.<sup>4</sup>, FERREIRA V. M.<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Dep<sup>o</sup> Eng<sup>a</sup> Civil/CICECO, Universidade de Aveiro, 3810-193 Aveiro, Portugal

<sup>2</sup> Dep<sup>o</sup> Eng<sup>a</sup> Civil, Universidade do Minho, 4800-058 Guimarães, Portugal

<sup>3</sup> Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, SC 89218-000, Brasil

<sup>4</sup> Dep<sup>o</sup> Eng<sup>a</sup> Cerâmica e Materiais/CICECO, Universidade de Aveiro, 3810-193 Aveiro, Portugal

**Palavras-chave:** materiais, construção, nanotecnologia.

**Resumo.** Este artigo pretende apenas dar um contributo, assinalando alguns exemplos em que se tem vindo a trabalhar e que refletem o uso de tecnologias avançadas na formulação e funcionalidade de materiais de construção tradicionais. Um exemplo claro é o uso de aditivos que induzem novas funções e que muitos deles pertencem ao grupo denominado como nanomateriais. A sua adição coloca quase sempre problemas de incorporação e que requerem um trabalho de ajuste das formulações e comportamentos no estado fresco ou endurecido. Este trabalho de investigação é muitas vezes essencial para a otimização das funções que se pretendem que os materiais de construção venham a demonstrar.

Neste grupo de investigação, resultante da cooperação entre centros de I&D e empresas em projetos de colaboração diversos ao longo dos últimos anos, tem-se vindo a focar na introdução de novas funções em materiais de construção tradicionais, para que ganhem um papel ativo em domínios como o do conforto térmico ou da qualidade ambiental, dois pilares essenciais para uma construção mais sustentável.

### Introdução

Atualmente se encontram na literatura excelentes sínteses da evolução na aplicação de tecnologias avançadas no multivariado sector dos materiais de construção, conduzindo a funções e aplicações bem distintas e permitindo desempenhos de elevado nível, outrora não possível. Bons exemplos desta síntese bibliográfica se encontram, por exemplo, incluídos em dois livros de revisão editados recentemente em língua portuguesa [1,2].

No âmbito do tema deste artigo, destacam-se nestas referências os capítulos relacionados com a utilização de nanomateriais em materiais de construção. Claramente, este é assumido hoje como uma bom exemplo do encontro entre as tecnologias avançadas e o sector tradicional dos materiais de construção. De acordo com Zhu et al. [3], na síntese publicada do relatório da RILEM TC 197-NCM, são várias as aplicações que ao longo dos anos têm sido identificadas ou perspectivadas e que envolvem aplicações de nanomateriais para reforço mecânico ou para aumento da durabilidade, para funções de revestimentos funcionais (anti-bactericidas ou despoluentes) ou ainda conferindo capacidade de autorregeneração. Aditivos tão diferentes como a sílica de fumo, cinzas volantes e outras pozolanas, nanotubos de carbono, dióxido de titânio, entre outros, têm sido usados em produtos à base de cimento Portland mas também em materiais de base cerâmica, em vidros, metais e tintas [1-3].

O campo é tão vasto que se optou por apresentar aqui neste artigo apenas alguns exemplos destas aplicações, decorrentes do trabalho desenvolvido neste grupo de investigação, como ilustração breve deste encontro entre as tecnologias avançadas e os materiais de construção.

## Materiais para melhoria do desempenho mecânico e durabilidade

A melhoria do desempenho mecânico também depende fortemente da correlação entre o estado fresco e endurecido de betões a argamassas, daí que se desenvolveram estudos [4,5] onde esta correlação foi avaliada aquando da introdução de nanomateriais. Um destes nanomateriais que têm sido estudados em betões e argamassas é a nano-sílica ou ainda a sílica de fumo.

Este trabalho foi iniciado no grupo com estudos sobre o impacto destes nanomateriais no comportamento em fresco [4] e depois alargado para o impacto sobre as propriedades finais [5].

Partículas de nano-sílica amorfo (nS) (0-2,5% em peso de cimento) foram incorporadas em pastas de cimento e argamassa, tendo sido analisados os seus efeitos sobre o comportamento no estado fresco. O comportamento reológico das argamassas frescas foi medido num reómetro (Viskomat PC) específico para pastas de cimento e argamassa de teste (Figura 1a), enquanto o ensaio de espalhamento (Figura 1b) foi realizado imediatamente após a mistura, de acordo com a EN1015-3.

Os ensaios reológicos mostraram que, após 75 minutos do início de mistura, a argamassa com 2,5% nS mostra uma fluidez insuficiente. A influência do teor de nS foi melhor observada sobre a tensão de cedência do que na viscosidade plástica (o primeiro aumentou de cerca de 67%, enquanto o último apenas aumentou 4%) . Com a adição de nS o espalhamento e o tempo de presa diminuiu 33% e 60%, respectivamente, quando comparados com amostras sem nS. A difração de raios- X mostrou a presença de hidróxido de cálcio, após 9 h na amostra com 2,5 % em peso de nS. O teor de ar incorporado aumentou de 79% e a densidade aparente diminuiu de 2,4 % com a adição de nS.

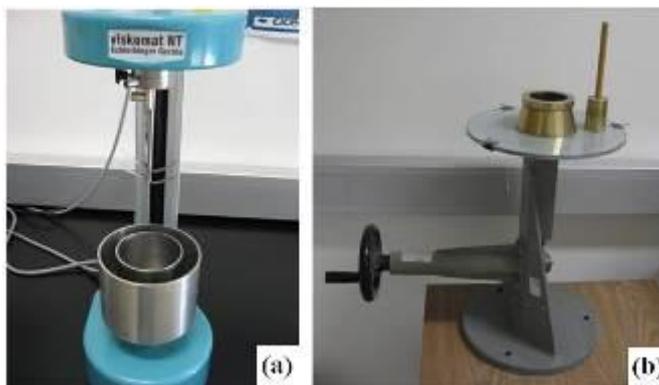


Fig. 1: (a) Reómetro e (b) mesa de espalhamento [4].

Num outro trabalho [5] conjugou-se os efeitos de conteúdos distintos de sílica de fumo (SF), superplastificante (SP) e da relação água/ligante (W/B) em argamassas. Foram produzidas amostras com SF (0-10 % em peso), SP (1,0-1,2 % em peso) e diferentes relações de W/B (0,30-0,35). Foram usados os testes de espalhamento e a reometria como parâmetros para formular argamassas através do método de design experimental factorial. Foram também determinados o tempo de presa, absorção de água, porosidade aparente e resistência à compressão de argamassas aos 28 dias. O método de design experimental identificou os factores principais (SF, SP e W/B) bem como as suas interações para todas as propriedades no estado fresco e endurecido, mostrando que é uma ferramenta adequada para ser aplicada neste caso. O teor de água foi o parâmetro de controle de praticamente todas as propriedades estudadas. Para quase todas as propriedades relevantes, razão W/B é o parâmetro mais influente, com excepção da resistência à compressão, onde a SF se revelou como a mais importante (fig.2).

Por outro lado, a degradação de grandes estruturas de betão ao longo do tempo é bem conhecida e a questão da durabilidade é prioritária para o conceito da sustentabilidade. Uma das principais razões é a reacção que ocorre entre a pasta de cimento e alguns agregados siliciosos reativos, o que pode provocar uma expansão significativa que depende dos materiais utilizados e das condições de exposição da estrutura. Este processo é conhecido como reacção álcali-sílica (ASR) e afeta a longo prazo várias estruturas em todo o mundo, incluindo grandes barragens, pontes e outras obras em betão. Neste grupo foi desenvolvido um trabalho sobre o efeito de cinzas volantes da combustão de

biomassa na mitigação da ASR [6]. As cinzas volantes foram coletadas a partir de duas unidades industriais localizadas na região centro de Portugal: (i) uma unidade termoelétrica (BFA1) e uma (ii) unidade de cogeração de uma indústria de celulose (BFA2). As cinzas volantes foram caracterizadas por meio de diferentes técnicas para determinar a distribuição de tamanho de partícula, a perda ao rubro, o comportamento térmico (TG/DTA), composição química e mineralógica (XRF, DRX) e ainda a sua atividade pozolânica. A caracterização química revelou diferenças significativas no conteúdo de CaO e SiO<sub>2</sub>, mas ambas as cinzas volantes podem ser consideradas como cinzas da classe C, se comparados com as geradas a partir da combustão de carvão.

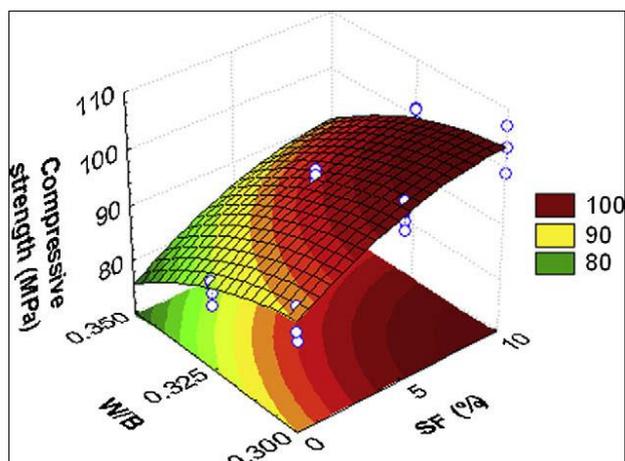


Fig.2: Variação da resistência à compressão em argamassas com sílica de fumo [5]

Testes acelerados em argamassas (fig.3) foram realizados de acordo com as normas ASTM C1567 e C1260 para avaliar o comportamento das cinzas volantes de biomassa no mecanismo de inibição da ASR. O comportamento expansivo foi estudado em argamassas onde o cimento foi parcialmente substituído (20-30% em peso) pelas cinzas volantes. Esta substituição reduziu a expansão mediante condições de cura acelerada, sendo a BFA2 mais eficaz do que BFA1.

Contudo, a incorporação de biomassa de cinzas na mistura juntamente com uma pozolana (metacaulino (MK)), 20%BFA + 10% MK provoca uma melhoria significativa nos resultados de expansão, indicando a vantagem da utilização efetiva das cinzas juntamente com metacaulino na mitigação da ASR e, conseqüentemente, da durabilidade dos materiais cimentícios (betão e argamassas).

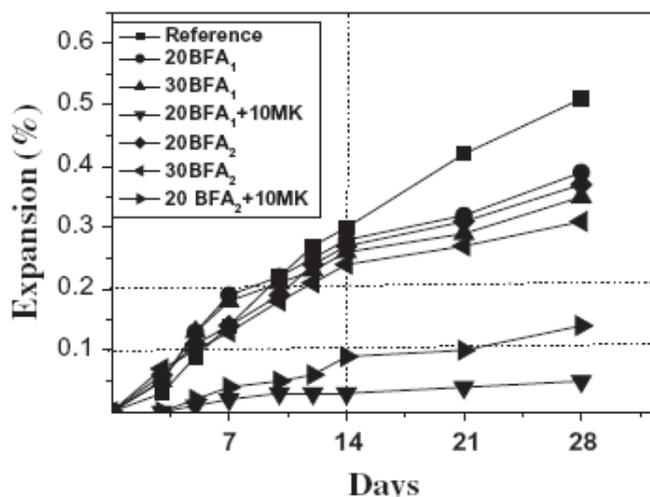


Fig.3: Teste de avaliação da expansão por ASR [6].

Num outro contexto de durabilidade, mas também de desempenho, destacam-se a introdução de aditivos com capacidades de melhorar o comportamento em condições adversas de cura e com valores baixos de razão água/ligante. Neste trabalho estudou-se o efeito das condições de cura sobre

as propriedades mecânicas das argamassas contendo polímeros superabsorventes (SAP) [7]. A temperatura de cura e a humidade relativa foram variadas de 20 a 40° C e de 30 a 95%, respetivamente, em misturas com diferentes de razões água/cimento e cimento/agregado. Testes de resistência à tração e à compressão foram realizados em várias idades. A perda de peso ao longo do tempo foi medida e relacionada com as condições de cura. A adição do SAP contribuiu para manter efetivamente a resistência das argamassas em condições extremas de cura por irem cedendo água à medida que era necessário.

### **Materiais para melhoria do conforto térmico e eficiência energética**

Uma outra aplicação de funcionalização de materiais de construção que tem sido estudada no grupo envolve o desenvolvimento de argamassas com materiais de mudança de fase (*phase-change materials*, PCM). A intenção é que estes contribuam para a eficiência energética dos edifícios e para o conforto térmico dos seus utentes. A incorporação de PCMs microencapsulados envolve a avaliação cuidadosa do impacto sobre as propriedades no estado fresco e endurecido da matriz que os vai receber.

A incorporação de materiais de mudança de fase (PCM) em argamassas tradicionais confere a estes produtos a capacidade de armazenar e libertar calor. Desta forma é possível reduzir o consumo de energia e melhorar o conforto térmico em edifícios. A introdução de micro- e nanomateriais na matriz das argamassas pode causar alterações microestruturais que precisam de ser abordadas a fim de otimizar a adição do PCM. A relação entre o desempenho no estado endurecido de diferentes argamassas com PCM, a sua microestrutura interna e distribuição de poros foi estudada para diferentes ligantes tais como a cal, o cimento e o gesso. As suas propriedades no estado endurecido, modificações microestruturais e a capacidade de armazenamento de calor foram avaliados. A capacidade de armazenar e libertar calor depende fortemente do tamanho e distribuição de poros internos e não apenas do teor de PCM. Usando um teste de eficiência térmica, uma correlação importante entre o rendimento térmico e a microestrutura argamassas foi estabelecida para as argamassas com 0 a 30 % de PCM adicionado [8].

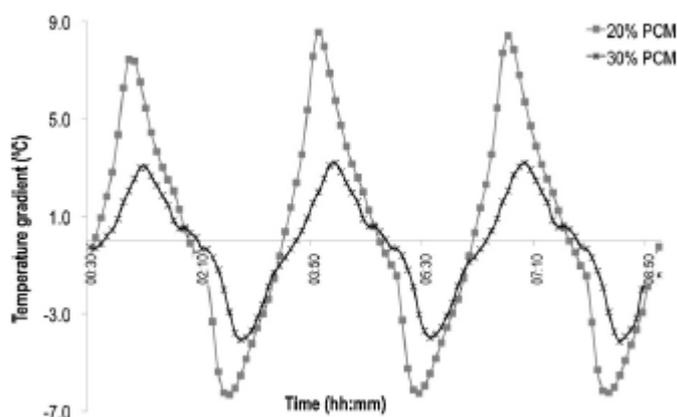


Fig.4: Efeito do PCM no comportamento térmico das argamassas [8].

Um conteúdo mais elevado de PCM não implica necessariamente um aumento da transferência de calor latente, provando que a porosidade interna desempenha um papel importante neste processo. A presença de nanoporos reduz a capacidade de transferência de calor mesmo quando o conteúdo PCM é mais elevado. Deste estudo [8] foi possível fixar o teor de 20 wt.% PCM como um bom compromisso entre desempenho mecânico, eficiência térmica e o custo da solução. Reduzir a necessidade energética reduz o impacto ambiental associado aos sistemas de aquecimento e arrefecimento. O uso de PCM provou ser uma estratégia eficiente para desenvolver edifícios mais sustentáveis. Noutro estudo [9] ficou também demonstrado que o uso de PCM em outras matrizes contendo, para além do ligante de cal, o gesso e fibras são uma boa solução para reabilitação e que o comportamento à fissuração pode ser controlado.

## Materiais para melhoria da qualidade ambiental

Outra aplicação em estudo envolveu nanoaditivos fotocatalíticos com capacidade de eliminação dos poluentes ambientais, bem como propriedades de autolimpeza e anti-bactericidas. Esta é uma área onde a adição simples e combinada de nanomateriais tem sido efetuada [10,11].

A poluição ambiental em áreas urbanas é uma das causas para a má qualidade do ar interior nos edifícios. O desenvolvimento de materiais de construção contendo atividade fotocatalítica pode contribuir para a despoluição do ar e aumentar os níveis de sustentabilidade. Estudos anteriores têm-se centrado principalmente em cimento e betões, desconsiderando o potencial de aplicação em edifícios históricos.

Neste trabalho [10], um aditivo fotocatalítico com base em dióxido de titânio, foi adicionado a argamassas preparadas com cal aérea, cimento e gesso como ligantes. O objetivo principal foi estudar a maneira como as mudanças microestruturais podem afetar a eficiência fotocatalítica. A atividade fotocatalítica foi determinada usando um reator desenvolvido especificamente para avaliar a taxa de degradação de um poluente urbano comum, o  $\text{NO}_x$ .

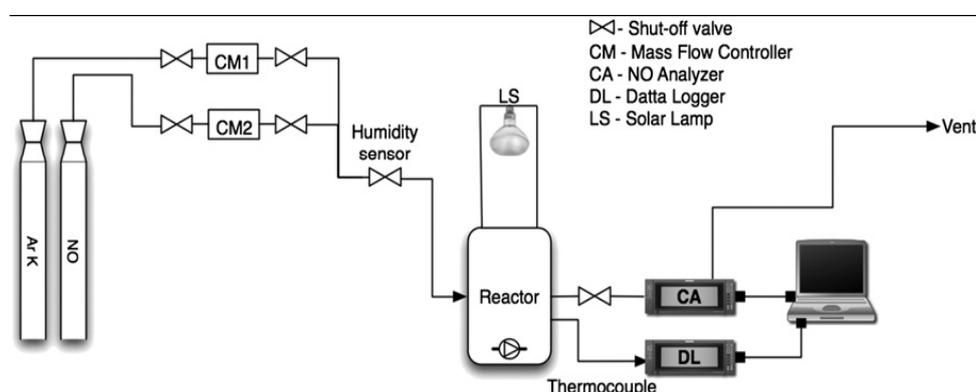


Fig.5: Reator de medida da atividade de degradação dos poluentes [10].

Os resultados mostram que todas as composições testadas apresentaram alta eficiência catalítica. Demonstrou-se que as argamassas com nano aditivos fotocatalíticos podem ser aplicadas em edifícios novos e antigos, porque os aditivos não comprometeram as propriedades de estado endurecido das argamassas.

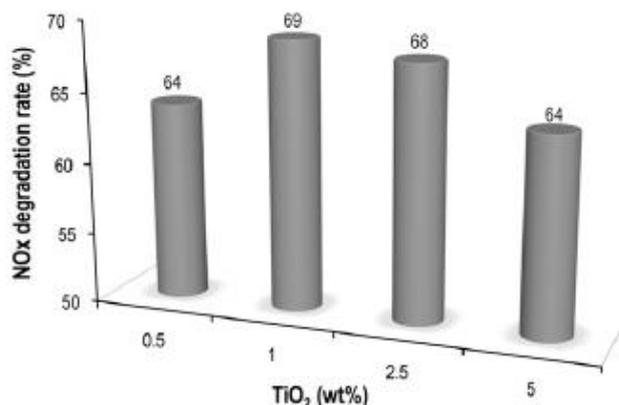


Fig.6: Resultados de degradação de poluentes em argamassas aditivadas [10].

Uma relação importante foi estabelecida entre a microestrutura (dimensão do poro e da distribuição) das argamassas e o processo fotocatalítico, no sentido em que existe um teor ideal de catalisador para cada composição de argamassa.

Finalmente, apresenta-se também um estudo [11] em que a junção combinada de dois nanoaditivos foi testada, a nano-sílica (nS) e a nano-titânia (nT), com o objetivo de melhorar a durabilidade de materiais de construção tradicionais, dando novas funcionalidades (descontaminação de poluentes). Foram preparadas amostras com 0-2 wt.% nS, 0-20 wt.% nT, 0,45-7 wt % superplastificante (SP) e 0,45-0,58 de razão em peso água/ligante. As formulações das argamassas foram definidas com as

medidas de reologia para obter uma trabalhabilidade adequada. Também foram avaliadas a temperatura de hidratação, resistência à compressão, absorção de água e degradação fotocatalítica de poluentes (NO<sub>x</sub> e o corante Orange II). Em geral, o comportamento reológico e a temperatura de hidratação foram alterados, dependendo da dosagem e tipo de nanoaditivos, com nT exercendo maior influência nos resultados. No entanto, estas diferenças não foram identificadas na resistência à compressão e absorção de água. Além disso, a degradação fotocatalítica do NO<sub>x</sub> até 1 h, sob luz solar, variou de 65% a 80%, enquanto a degradação do corante Orange II, após 9 h sob luz visível, alterou-se de 18% para 50%.

## Conclusões

Diferentes exemplos foram aqui dados sobre o trabalho que tem decorrido neste grupo de investigação, que contou com a cooperação de várias universidades, centros de I&D e empresas ao longo dos anos. Esta representa uma parte do trabalho que ainda decorre e que constitui uma boa mostra da aplicação de tecnologias avançadas no estudo e desenvolvimento de materiais de construção tradicionais, fazendo-os ganhar novas funcionalidades. Estas constituem uma resposta interessante aos desafios do mundo atual onde a exigência de sustentabilidade, refletida em temas como maior conforto térmico, eficiência energética, bem como minimização dos impactos ambientais da construção e seus materiais, é hoje fulcral.

O uso de tecnologias avançadas em materiais de construção tradicionais reflete-se quer no processamento e matérias-primas usadas quer no controlo das suas propriedades, quer nos métodos de avaliação empregues para caracterizar os produtos intermédios e finais durante o trabalho de investigação e desenvolvimento.

## Referências

- [1] M. Clara Gonçalves, F. Margarido, *Ciências e engenharia dos materiais de construção*, Ed. ISTPress, Lisboa, Portugal, (2012).
- [2] F. Pacheco Torgal, S. Jalali, *A sustentabilidade dos materiais de construção*, Ed. Tecminho, U. Minho, Guimarães, Portugal, (2010)
- [3] W. Zhu, P. Bartos, A. Porro, *Application of nanotechnology in construction: Summary of a state-of-art report RILEM TC 197-NCM*, *Materials and Structure*, 37, 649-658, (2004).
- [4] L. Senff, J.A. Labrincha, V.M. Ferreira, D. Hotza, W.L. Repette, *Effect of nano-silica on rheology and fresh properties of cement pastes and mortars* *Construction and Building Materials*, 23, 2487-2491, (2009).
- [5] L. Senff, P.A. Barbetta, W.L. Repette, D. Hotza, H. Paiva, V.M. Ferreira, J.A. Labrincha, *Mortar composition defined according to rheometer and flow table tests using factorial designed experiments*, *Construction and Building Materials*, 23, 3107-3111, (2009).
- [6] T.C. Esteves, R. Rajamma, D. Soares, A.S. Silva, V.M. Ferreira, J.A. Labrincha, *Use of biomass fly ash for mitigation of alkali-silica reaction of cement mortars*, *Construction and Building Materials*, 26 687-693, (2012).
- [7] L.P. Esteves, H. Paiva, V.M. Ferreira, P. Cachim, *Effect of curing conditions on the mechanical properties of mortars with superabsorbent polymers*, *Materiales de Construcción*, 60(298), 61-72, (2010).
- [8] S.S. Lucas, V.M. Ferreira, J.L. Barroso de Aguiar, *Latent heat storage in PCM containing mortars-Study of microstructural modifications*, *Energy and Buildings*, 66, 724-731, (2013).
- [9] S. Cunha, J.B. Aguiar, V.M. Ferreira, A. Tadeu, *Influence of Adding Encapsulated Phase Change Materials in Aerial Lime based Mortars*, *Advanced Materials Research*, 687, 255-261, (2013).
- [10] S.S. Lucas, V.M. Ferreira, J.L. Barroso de Aguiar, *Incorporation of titanium dioxide nanoparticles in mortars - Influence of microstructure in the hardened state properties and photocatalytic activity*, *Cement and Concrete Research*, 43, 112-120, (2013).

[11] L. Senff, D.M. Tobaldi, S. Lucas, D. Hotza, V.M. Ferreira, J.A. Labrincha, *Formulation of mortars with nano-SiO<sub>2</sub> and nano-TiO<sub>2</sub> for degradation of pollutants in buildings*, *Composites: Part B* 44 40–47, (2013).