



CONTRIBUTOS DA NANOTECNOLOGIA PARA O AUMENTO DA DURABILIDADE DE BETÕES: ESTADO DA ARTE

Hugo J. R. Oliveira ¹, F. Pacheco-Torgal ²

¹ Universidade do Minho, Dep. de Eng.^a Civil, Guimarães, a37999@alunos.uminho.pt

² Universidade do Minho, Centro C-TAC, Guimarães, torgal@civil.uminho.pt

Palavras-chave: Nanotecnologia, durabilidade, betão, nanoindentação, nano partículas

Sumário: O presente artigo aborda alguns contributos da nanotecnologia para o aumento da durabilidade dos betões. O mesmo incide na compreensão dos produtos de hidratação do cimento Portland à nano escala e na utilização de nano partículas para o aumento da durabilidade do betão.

1. INTRODUÇÃO

Com uma produção de quase 10 km³/ano, o betão continuará a ser a curto e a médio prazo o material mais consumido no Planeta Terra [1]. A título de comparação a quantidade de tijolos cerâmicos, madeira e aço são respectivamente de 2, 1.3 km³ e 0.1 km³ [2]. Apesar da comunidade científica ter vindo a oferecer à sociedade materiais de construção com um nível tecnológico cada vez maior, a verdade é que a versatilidade e principalmente o baixo custo do betão, fazem dele um material imprescindível na construção das infra-estruturas necessárias para acomodar o exponencial crescimento populacional no Planeta Terra.

Relativamente às emissões de CO₂ do betão, a produção de cimento Portland representa 74-81%, a produção dos agregados contribui com 13 a 20%, restando um valor quase residual para a mistura, transporte e betonagem do betão [3]. Embora as emissões de carbono do betão sejam pequenas quando comparadas com as de outros materiais, o facto é que a elevada quantidade deste material que é utilizada a nível mundial leva a que as mesmas adquirem uma expressão relevante, entre 6 a 7% das emissões totais [4,5]. Este panorama é particularmente grave no actual contexto das mudanças climáticas e é expectável que se torne ainda pior atendendo ao facto das estimativas relativas à procura do cimento Portland duplicarem entre 2010 e 2050, atingindo naquele ano 6000 milhões de toneladas/ano.

Por outro lado sendo o betão um material poroso e permeável o mesmo permite o ingresso de substâncias agressivas para o seu interior, responsáveis pela degradação das armaduras das estruturas de betão armado, o que implica frequentes operações de conservação e de reabilitação ou mesmo relativas à sua substituição integral. A sua durabilidade adquire assim uma dimensão crucial do ponto de vista da sua eco-eficiência, bem expressa por Mora [6], quando referiu que o aumento da durabilidade deste material de 50 para 500 anos significa uma redução do seu impacto ambiental de um factor de 10 vezes.

Neste contexto os contributos recentes da nanotecnologia, área que envolve a produção com dimensões e precisão entre 0,1 e 100 nm [7], para o aumento da durabilidade do betão adquirem um importância indiscutível, os quais constituem o âmbito do presente resumo alargado.

No mesmo aborda-se a modelação molecular dos produtos de hidratação do cimento Portland e o caso dos betões com adição de nano partículas.

2. UTILIZANDO A NANOTECNOLOGIA PARA UMA MELHOR COMPREENSÃO DOS PRODUTOS DE HIDRATAÇÃO DO CIMENTO PORTLAND

O estudo à nanoescala das diversas fases dos produtos de hidratação do cimento Portland (silicatos de cálcio hidratados-CSH e hidróxido de cálcio- $\text{Ca}(\text{OH})_2$), constitui um passo importante como forma de ultrapassar as limitações em termos da durabilidade do betão, sendo que as investigações nesse sentido decorrem desde há alguns anos a esta parte [8,9].

Enquanto as técnicas de microscopia electrónica permitiam visualizar e conhecer a composição dos compostos de hidratação do cimento, a utilização da nanotecnologia veio permitir que esse conhecimento possa também abarcar o conhecimento da rigidez/módulo de elasticidade das fases CSH e $\text{Ca}(\text{OH})_2$, através de técnicas de nanoindentação, abrindo assim novas possibilidades no controlo das propriedades destas fases.

Na nanoindentação um material de propriedades conhecidas é utilizado para provocar uma deformação noutro material, de propriedades desconhecidas e através das características dessa deformação se poder estimar as propriedades do material desconhecido.

Recentemente, Mondal [10], utilizou esta técnica tendo obtido os seguintes módulos de elasticidade para as várias fases dos compostos cimentícios: 35MPa para a fase de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, 26 e 16 MPa para dois tipos diferentes de CSH e 10MPa para a fase porosa. Outros autores já tinham confirmado a existência de diferentes tipos de CSH, de baixa densidade, elevada densidade e densidade ultra-elevada [11-13].

Recentemente foram apresentados resultados de estudos realizados por investigadores do MIT (financiadas pela Cimpor), relativos à modelação molecular dos produtos de hidratação do cimento Portland, tendo os mesmos confirmado inclusive que os mesmos foram validado por valores experimentais obtidos através da nanoindentação [14].

3. AUMENTO DA DURABILIDADE DOS BETÕES PELO RECURSO À UTILIZAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS

Investigações realizadas há já algum tempo [15], mostraram que os betões contendo nanopartículas de sílica apresentam uma menor permeabilidade à água que se fica a dever ao facto das mesmas reduzirem a quantidade de hidróxido de cálcio - $\text{Ca}(\text{OH})_2$ tornando mais densa a interface pasta de cimento-agregados.

Outras investigações [16], mostraram que a utilização de 1% por massa de cimento de diferentes tipos de nanopartículas conduz a uma redução da permeabilidade do ião cloro.

Reduções na permeabilidade de betões foram observadas em investigações mais recentes [16], utilizando nano- Fe_2O_3 até 4% por massa de cimento [17]. Inclusive em betões com substituição de 45% do cimento Portland por escórias de alto forno e até nano- TiO_2 até 4% por massa de cimento [18].

O aumento da durabilidade do betão passa também pela redução da lixiviação do hidróxido de cálcio. Este composto que é susceptível ao ataque químico, leva a uma dissolução progressiva da pasta de cimento o que vai reduzindo a capacidade do betão em obstar á entrada de outras substâncias agressivas que vão acelerar a sua degradação e a corrosão das armaduras.

Gaitero et al. [20], comprovaram que a utilização de nanopartículas de sílica correspondendo a 6% em massa de cimento, permite reduzir a lixiviação do hidróxido de cálcio, contudo os resultados estão dependentes do tipo de nano sílica utilizada, sendo melhores quando se utilizam misturas de base coloidal comparativamente à utilização de nano sílica em pó.

4. REFERÊNCIAS

- [1] Gartner, E.; Macphee, D. - *A physico-chemical basis for novel cementitious binders*. Cement and Concrete Research 41 (2011) 736–749.
- [2] Flatt, R.; Roussel, R.; Cheeseman, C.R. - *Concrete: An eco-material that needs to be improved*. Journal of the European Ceramic Society (2012)
- [3] Pacheco Torgal, F.; Jalali, S. - *Betão eco-eficiente: O futuro da indústria do betão pronto*. Revista de Betão Pronto. APEB, 26 (2011) 22-27.
- [4] Shi, C.; Fernández Jiménez, A.; Palomo, A. - *New cements for the 21st century: The pursuit of an alternative to Portland cement*. Cement and Concrete Research 41 (2011) 750–763.
- [5] Pacheco Torgal, F.; Jalali, S. - *Eco-efficient construction and building materials*. London, UK, Springer Verlag, 2011, 255 p.
- [6] Mora, E. - *Life cycle, sustainability and the transcendent quality of building materials*. Building and Environment Vol. 42 (2007)1329-1334.
- [7] Pacheco Torgal, F.; Jalali, S. - *Nanotechnology: Advantages and drawbacks in the field of building materials*. Construction and Building Materials 25 (2011) 582-590.
- [8] Porro, A; Dolado, J. - *Overview of concrete modeling*. In: Proceedings of the international conference on applications of nanotechnology in concrete design; 2005. p. 35–45.
- [9] Balaguru, P.; Chong, K. - *Nanotechnology and concrete: research opportunities*. ACI FALL 2006 Convention, Nanotechnology of Concrete: recent developments and future perspectives, Code 76,031; 2006.
- [10] Mondal P. - *Nanomechanical properties of cementitious materials*. PhD Thesis in civil and environment engineering. Northwestern University, Illinois, USA; 2008.
- [11] Constantinides, G.; Ulm, F.; Vliet, K. - *On the use of nanoindentation for cementitious materials*. Materials and Structures 36 (2003) 191-196.
- [12] Constantinides, G.; Ulm, F. - *The nanogranular nature of C-S-H*. Journal of Mech Phys Solid, 55 (2007) 64-90.
- [13] Dejong, M.; Ulm, F. - *The nanogranular behavior of C-S-H at elevated temperatures (up to 700 °C)*. Cement and Concrete Research 37 (2007) 1-12.
- [14] Pellenq, R. et al. - *A realistic molecular model of cement hydrates*. Northwestern University, PNAS 106 (2009) 16102-16107.
- [15] Ji, T. - *Preliminary study on the water permeability and microstructure of concrete incorporating nano-SiO₂*. Cement and Concrete Research 35 (2005)1943–1947.
- [16] He, X; Shi, X. - *Chloride permeability and microstructure of Portland cement mortars incorporating nanomaterials*. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2070, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, 2008, D.C., pp. 13–21.
- [17] Ozyildirim, C.; Zegetosky, C. - *Laboratory investigation of nanomaterials to improve the permeability and strength of concrete*. Virginia Transportation Research Council, Final Report VTRC 10-R18, 2010
- [18] Khoshakhlagh et al. - *Effects of Fe₂O₃ nanoparticles on water permeability and strength assessments of high strength self-compacting concrete*. Journal of Materials Science & Technology 28 (2012) 73-82.
- [19] Nazari, A.; Riahi, S. - *TiO₂ nanoparticles effects on physical, thermal and mechanical properties of self compacting concrete with ground granulated blast furnace slag as binder*. Energy and Buildings 43(2011) 995-1002.
- [20] Gaitero et al. - *Reduction of the calcium leaching rate of cement paste by addition of silica nanoparticles*. Cement and Concrete Research 38 (2008) 1112–1118.