



F. Pacheco Torgal
Investigador do C-TAC (Secção de
Construção Sustentável), Universidade do Minho

Said Jalali
Professor Catedrático do Dep. de Engenharia
Civil, Universidade do Minho

A indústria da construção constitui um dos maiores e mais activos sectores em toda a Europa, representando 28,1% e 7,5% do emprego, respectivamente na indústria e em toda a economia europeia.

Com uma facturação anual de 750 milhões de euros, este sector representa 25% de toda a produção industrial europeia, sendo o maior exportador mundial com 52% do mercado.

Em termos ambientais, esta indústria é no entanto responsável por 30% das emissões de carbono. Além disso, a indústria da construção a nível mundial consome mais matérias-primas (aproximadamente 3.000 Mt/ano, quase 50% em massa) que qualquer outra actividade económica.

O aumento da população mundial e as necessidades implícitas em termos de construção de edifícios e outras infra-estruturas, agravará ainda mais o consumo de matérias-primas não renováveis, bem assim como a produção de resíduos.

No âmbito de uma construção mais sustentável a União Europeia estabeleceu recentemente como objectivos de médio prazo, a redução de 50% dos consumos de energia, a redução 30% das matérias-primas e a redução de 40% dos resíduos.

A sustentabilidade da indústria da construção em geral e a eco-eficiência dos materiais de construção em particular assumem desta forma, um papel primordial cujo estudo importa aprofundar e divulgar [1].

Materiais ligantes com baixas emissões de carbono, materiais mais duráveis, que permitam o reaproveitamento de resíduos, materiais recicláveis ou obtidos a partir de fontes renováveis, materiais com baixa energia ou não tóxicos e que não contaminem o ar no interior das habitações, constituem exemplos daquilo que podem ser as diversas variantes que enquadram a eco-eficiência dos materiais de construção.

MATERIAIS LIGANTES COM BAIXAS EMISSÕES DE CO₂

As investigações sobre ligantes alternativos ao cimento Portland com menores emissões de dióxido de carbono, merecem desde há alguns anos a esta parte, uma particular atenção por parte da comunidade científica. Como se sabe a produção de clínquer de cimento, está associada a um elevado nível de emissões de acordo com a seguinte reacção: $3\text{CaCO}_3 + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{Ca}_3\text{SiO}_5 + 3\text{CO}_2$

Para cada tonelada de clínquer de cimento, vão libertar-se para a atmosfera 579 kg de CO₂ e isto independentemente da eficiência do processo utilizado. A este valor, é ainda necessário somar aproximadamente 390 kg de CO₂, devidos à utilização de combustíveis fósseis consumidos durante a produção do clínquer.

Simplificadamente pode por isso afirmar-se que durante a produção de 1 tonelada de clínquer de cimento se produz quase 1 tonelada de CO₂. Além disso, como as projecções existentes apontam para que o consumo mundial de cimento Portland possa duplicar nos próximos 40 anos, tal facto agravará de modo substancial os efeitos negativos das referidas emissões.

Como forma de minimização deste problema, várias investigações sobre o desenvolvimento de ligantes alternativos ao cimento Portland, apontam para o facto dos ligantes geopoliméricos estarem associados a baixas emissões de CO₂.

Alguns autores referem 184 kg de CO₂ por tonelada de ligante geopolimérico (Tabela 1).

TABELA 1: EMISSÕES DE CO₂ NA PRODUÇÃO DE UMA TONELADA DE LIGANTE GEOPOLIMÉRICO [2]

Ingrediente	Tratamento térmico	Ton. CO ₂ / ton. Ingr.	CO ₂ por tonelada de ligante
SA07	800 °C	0,17	0,095
Metacaulino	750 °C	0,15	0,035
Escórias	-	-	-
Silicato de potássio	1200 °C	0,30	0,034
Energia de moagem	-	-	0,020
Total de emissões por tonelada de ligante activado alc.			0,184

Já outros investigadores mencionam reduções comparativamente às emissões do cimento Portland mais conservadoras, mas que ainda assim podem chegar a 100% [4].



Figura 3 – Provetes de argamassas geopolimérica obtidas a partir de resíduos de minas em Portugal [7]

Os ligantes geopoliméricos, foram objecto de intensas análises por parte de investigadores do Leste da Europa, contudo somente quando em 1978 Joseph Davidovits introduziu o termo “geopolimero” tendo patenteado investigações sobre a polimerização de metacaulino é que a temática dos ligantes alcalinos sofreu uma inflexão, quer em termos da investigação produzida, quer mesmo em termos de divulgação mediática.

Em termos físicos, os ligantes obtidos por activação alcalina, compreendem fundamentalmente duas etapas, uma de dissolução da sílica e alumina da matéria prima, quando misturada com uma solução alcalina (activador) e outra de policondensação e endurecimento dos produtos de reacção numa estrutura polimérica. Investigações recentes sobre os ligantes activados alcalinamente [4-6], demonstram que é possível sintetizar ligantes a partir de resíduos aluminosilicatados activados com soluções de elevada alcalinidade (Figura 2).



Figura 2 – Destacamento da camada de recobrimento em viga de betão devido à formação de produtos de corrosão



MATERIAIS MAIS DURÁVEIS

Quanto maior for a durabilidade de um material, maior será a sua vida útil e conseqüentemente menor será o seu impacto ambiental. Se por exemplo aumentarmos a durabilidade do betão de 50 para 500 anos, haverá uma redução do seu impacto ambiental de um factor de 10 vezes. Infelizmente são inúmeros os casos de deterioração precoce de estruturas de betão armado.

Na verdade são inúmeros os casos de deterioração precoce de estruturas de betão armado. Gjørv [8] menciona um estudo sobre pontes construídas na Noruega, em que 25% apresentavam pouco tempo depois deterioração por corrosão de armaduras. Outros autores [9] citam estudos que indicam que 40% das cerca de 600.000 pontes existentes nos Estados Unidos, estariam afectadas pela corrosão, o que implicaria custos de reparação de aproximadamente 50.000 milhões de dólares.

De facto, as estruturas de betão armado construídas com cimento Portland, têm na sua durabilidade o seu “calcanhar de Aquiles”. Como já reconhecia o Engenheiro Sousa Coutinho na sua mediática obra, “..a sua elevada alcalinidade torna-o um material instável...peço que a sua duração não será muito longa..”.

Para lá daquilo que é a reduzida durabilidade dessas estruturas em virtude de deficiente colocação e cura do betão, na verdade a durabilidade fica a dever muito ao próprio material em si, que apresenta uma elevada quantidade de cal, que é facilmente susceptível de ataque químico e com uma permeabilidade relativamente elevada, que permite o ingresso de água, gases e substâncias agressivas, que provocam fenómenos de carbonatação e de corrosão das armaduras (Figura 2).



Merece a este respeito, particular destaque, a comparação do desempenho de betões (correntes e geopoliméricos) num ensaio cíclico de imersão em ácido sulfúrico (pH=1), conhecido como ensaio de Mississipi e no qual um betão corrente à base de cimento Portland com uma vida útil de 50 anos, perde 25% da sua massa ao fim de 80 ciclos, enquanto um betão geopolimérico necessitou de 1400 ciclos para perder a mesma massa, o que significa que terá uma vida útil de 900 anos [10]. A utilização de ligantes com uma durabilidade superior ao cimento portland, como é o caso dos ligantes geopoliméricos, constitui assim um passo no sentido da eco-ficiência dos materiais de construção.

MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO OBTIDOS A PARTIR DE RESÍDUOS

Uma das formas para atingir a eco-eficiência dos materiais de construção, passa pela incorporação de resíduos de outras indústrias em materiais de construção. As investigações neste domínio tem vindo a merecer uma atenção especial por parte da comunidade científica. Existe já um corpo de investigação bastante consistente em termos da utilização de resíduos em betões, a saber: com características pozolânicas, cinzas volantes [11], escórias de alto forno [12], sílica de fumo [13], cinzas de resíduos vegetais [14], cinzas de resíduos sólidos urbanos [15], resíduos de vidro [16].



Existe igualmente investigação sobre a incorporação de resíduos em betões, como agregados ou filler, a saber: resíduos da indústria automóvel [17], de plástico [18], têxteis [19], pó de pedra da indústria das rochas ornamentais, de extracção de agregados e da indústria cerâmica [20] e os resíduos de construção e demolição (RC&D) [21], onde se destaca ultimamente o caso da utilização de resíduos cerâmicos como agregados [22].

Convém aliás referir que os RC&D, representam 1/3 dos resíduos produzidos no espaço Europeu, aproximadamente 500 Mt. Relativamente a Portugal, muito recentemente o IST estimou em 4,4 Mt os resíduos de RC&D produzidos durante 2004, os quais podiam ser reaproveitados e dos quais 95% tiveram como destino a deposição em aterro.

A título de exemplo a taxa média de reciclagem de RC&D na Europa é de 50%, já na Dinamarca em a taxa de reciclagem de resíduos é de cerca de 89%, muito por força das taxas de deposição e de extracção de recursos não renováveis. A incorporação de resíduos industriais em betões constitui assim e no caso concreto de Portugal, uma maneira eficaz para se alcançar a meta prevista no âmbito do 3º objectivo do ENDS 2015 de reduzir em 12,1% o valor dos resíduos industriais relativamente aos valores do ano de 2001.

MATERIAIS OBTIDOS DE FONTES RENOVÁVEIS E MATERIAIS RECICLÁVEIS

A utilização de materiais provenientes de fontes renováveis contribui inequivocamente para a sustentabilidade da indústria da construção. Neste grupo podem incluir-se materiais como a madeira, ou o bambu, desde que o ritmo de renovação destas espécies seja superior ao ritmo do seu consumo pela indústria da construção [23].

Os materiais recicláveis apresentam vantagens ambientais óbvias, pelo facto de esgotada a sua vida útil poderem vir a gerar outros materiais. Incluem-se nestes quase todos os materiais metálicos. Bem assim como os materiais de origem geológica. Se se optar pela reciclagem de produtos, em vez do fabrico de materiais a partir de novas matérias-primas, pode-se reduzir o impacto negativo ambiental.

Na indústria de construção, grande parte dos produtos ou materiais têm baixo potencial de reciclagem. No entanto, há produtos que podem ser reciclados várias vezes mas, hoje em dia, este potencial raramente é usado. Na Suécia, em 1992, o nível de produtos reciclados era de 5% e na Alemanha, em 1990, foram reciclados 29% dos produtos.



Para o ano 2000, ambos países têm o objectivo de atingir os 60%. Na Holanda, as empresas de demolição, na fase de concurso, têm que declarar a quantidade de material que será vendido para reciclagem, juntamente com uma apresentação de como irão publicitar esta situação [24].

MATERIAIS DE BAIXA ENERGIA

A redução dos padrões energéticos actuais é uma prioridade fundamental para a construção sustentável. Para lá do facto que se prende com a situação energética deficitária da realidade Portuguesa e que implica a importação desta, já que Portugal depende em mais de 85% de fontes exteriores de energia primária. A sua redução resolve quer um problema económico, quer um problema ambiental decorrente das emissões de carbono das centrais termoeléctricas.

Alguns autores referem que os materiais de construção representam quase 15% da energia na construção de edifícios [25], enquanto que outros apontam para reduções de quase 30% em termos de emissões de CO₂, devido a uma correcta escolha dos materiais de construção [26]. A necessidade de minimização da energia, gasta em transporte de materiais de construção, implica por isso necessariamente que se deva privilegiar a utilização de materiais locais.

MATERIAIS NÃO TÓXICOS E NÃO CONTAMINANTES DO AR INTERIOR

Enquanto que as construções dos nossos antepassados eram feitas de materiais naturais, as construções correntes podem incluir quase 70.000 combinações de químicos, libertando para o ar interior quase 1000 produtos químicos.

A título de exemplo, as tintas à base de solventes orgânicos libertam uma elevada quantidade de compostos orgânicos voláteis (VOCs) [27], sendo que estes compostos podem provocar vários problemas de saúde.

Além disso, uma escolha errada de materiais de construção, aliada a uma ventilação insuficiente, pode contribuir para ambientes com humidades relativas muitas vezes abaixo de 40%, que estão ligados ao síndrome dos “edifícios doentes” típico de ambientes muito secos.

Nestes ambientes há lugar a uma secagem da mucosa respiratória, propiciando o aparecimento de doenças do foro respiratório como as amigdalites, faringites ou bronquites.

Entende-se por isso facilmente, que as estatísticas sobre saúde pública, refiram que das últimas décadas a esta parte, se registou um aumento de quase 50%, na ocorrência de problemas de saúde do foro respiratório, como a asma.

Nos Estados Unidos estimam-se em 60 biliões de dólares os custos anuais relacionados com o problema dos “edifícios doentes”. Por outro lado levados níveis de humidade relativa no interior das habitações acima de 70%, são responsáveis pelo aparecimento de bolores os quais podem desencadear reacções alérgicas [28].

No entanto a escolha de materiais de construção com um adequado nível higroscopicidade, consegue por vezes ser mais efectiva na redução da humidade do ar interior do que a utilização de ventilação [29]. Este autor refere um estudo realizado na Grã-Bretanha, onde se constatou que a construção em terra conseguia manter os níveis de humidade interior entre 40 a 60%.

Sendo que este intervalo de humidade é o mais indicado para efeitos de saúde humana. A escolha de materiais eco-eficientes deve atender por isso à necessidade de se evitarem materiais não tóxicos, materiais que não emitam substâncias químicas que possam originar problemas para a saúde humana e que possam contribuir para a regulação da humidade do ar do interior das habitações.

SELECÇÃO DE MATERIAIS ECO-EFICIENTES

A escolha dos materiais de construção a utilizar num contexto de eco-eficiência, não pode contudo ser feita, numa base casuística e dispensando uma abordagem global de todos os impactos ambientais causados pelo material. De facto não é possível sabermos à partida se o material betão é mais amigo do ambiente do que o aço.



Pois se o primeiro utiliza materiais locais, e pode utilizar vários resíduos industriais produz no entanto uma elevada quantidade de dióxido de carbono. Já o segundo, apresenta a vantagem de poder ser reciclado indefinidamente, contudo a sua produção envolve elevado consumo energético e é susceptível a degradação por corrosão.

Uma tal metodologia correntemente designada por análise do ciclo de vida (ACV) ou Life Cycle Assessment (LCA) foi primeiramente utilizada nos Estados Unidos em 1990 e é definida como o processo de avaliação dos impactos que um determinado material ou produto têm no ambiente ao longo do seu ciclo de vida.

Um dos primeiros estudos precursores desta metodologia, quantificou as necessidades de recursos, emissões e resíduos originado por diferentes embalagens de bebidas foi conduzido Midwest Research Institute para a empresa Coca-Cola em 1969.

Esta metodologia tem vindo a ser utilizada por diversos autores na selecção de materiais de construção. Nos Estados Unidos a U.S. Environmental Protection Agency desenvolveu um programa destinado à tomada de decisão de materiais de construção que tem a designação BEES (Building for environmental and economic sustainability).

O programa BEES apresenta as seguintes categorias de impacto:

- Potencial de aquecimento global;
- Potencial de acidificação
- Potencial de eutrofização
- Consumo de combustíveis fósseis
- Qualidade do ar
- Alteração de habitat
- Consumo de água
- Poluição do ar
- Saúde pública
- Potencial de formação de smog
- Potencial de degradação da camada de ozono
- Toxicidade ecológica

Sendo o desempenho medido em unidades mensuráveis, como unidades de dióxido de carbono para o impacto de aquecimento global. Este programa apresenta no entanto uma limitação decorrente das suas bases de dados utilizarem valores relativos a produtos produzidos nos EUA, pelo que tal ferramenta é recomendável somente para o plano experimental e educacional.

Mais recentemente várias associações europeias ligas à indústria do betão (BIBM, ERMCO, UEPG, EUROFER, EFCA e CEMBUREAU) em colaboração com a consultora ambiental holandesa INTRON B.V. estudaram a possibilidade de minimização dos impactos ambientais da produção de produtos de betão.

Um dos objectivos do referido estudo passou pelo desenvolvimento de uma ferramenta informática designada por EcoConcrete, a qual permite avaliar o impacto ambiental associado a um determinado elemento de betão armado [30]. Infelizmente e como reconhecem alguns autores [31] este programa ainda se encontra numa fase em que necessita de alguns aperfeiçoamentos.

A aplicação generalizada de análises de ciclos de vida dos materiais de construção, pressupõe a existência de levantamentos exaustivos sobre os impactos ambientais desses materiais ao longo da sua vida útil, algo que dificilmente pode ser extrapolado a partir de estudos realizados noutros países, devido a diferenças óbvias que se prendem com diferentes contextos tecnológicos e económicos.



REFERÊNCIAS

[1] TORGAL, F. P.; JALALI, S. (2010) A sustentabilidade dos materiais de construção. Edição TecMinho, Guimarães, Portugal (em preparação)

[2] DAVIDOVITS, J. (1999) Geopolymeric reactions in the economic future of cements and concretes: World-wide mitigation of carbon dioxide emission. Proceedings of 1999 Geopolymer Conference, pp. 111- 121.

[3] Duxson, P.; Provis, J.; Luckey, G.; Van Deventer, J. (2007) The role of inorganic polymer technology in the development of "Green Concrete". Cement and Concrete Research Vol.37, pp.1590-1597.

[4] TORGAL, F. P.; GOMES, J. P.; JALALI, S. (2009) Utilization of mining wastes to produce geopolymers. In Geopolymers, Structure, Processing, Properties and Applications, ISBN -13: 978 1 84569 449 4, Ed. J. Provis & J. Van Deventer, Woodhead Publishing Limited Abington Hall, Cambridge, UK, pp.267-293.

[5] TORGAL, F. P.; GOMES, J. P.; JALALI, S. (2007) Investigations about the effect of aggregates on strength and microstructure of geopolymeric mine waste mud binders. Cement and Concrete Research Vol. 37, pp.933-941.

[6] TORGAL, F. P.; GOMES, J. P.; JALALI, S. (2008) Properties of tungsten mine waste geopolymeric binder. Construction and Building Materials Vol.22, pp.1201-1211.

[7] TORGAL, F. PACHECO (2007) Desenvolvimento de ligantes obtidos por activação alcalina de lamas residuais das Minas da Panasqueira. Tese de Doutoramento, Universidade da Beira Interior, 433 pp.

[8] GJORV, O.E. (1994) Steel corrosion in concrete structures exposed to Norwegian marine environment. ACI Concrete International Vol.16, pp.35-39

[9] FERREIRA, R. M. (2009) Service-life Design of Concrete Structures in Marine Environments: A probabilistic based approach. ISBN-13: 978-3639167108, VDM Verlag Dr. Muller Aktiengesellschaft & Co. KG.

[10] GOURLEY, J.T.; JOHNSON, G.B. (2005) Developments in geopolymer precast concrete. In Proceedings of Geopolymer 2005 World Congress, Geopolymer Green Chemistry and Sustainable Development Solutions, pp.139-143. S. Quentin, France

[11] ROSKOVIC, R.; BJEGOVIC, D. (2005) Role of mineral additions in reducing CO2 emission. Cement and Concrete Research, Vol.35, pp.974-978.

[12] DING, Z. (2002) Property improvement of Portland cement by incorporating with metakaolin and slag. Cement and Concrete Research, Vol. 33, pp.579-584.

[13] KHEDR, A.; ABOU-ZEID, N. (1994) Characteristics of silica fume concrete. Journal of Materials in Civil Engineering ASCE, Vol.6, pp.357-375.

[14] TANGCHIRAPAT, W.; SAETING, T.; JATURAPITAKKUL, C.; KIATTIKOMOL, K.; SIRIPANICHGORN, A. (2007) Use of waste ash from palm oil industry in concrete. Waste Management, Vol. 27, pp. 81-88

[15] REDMOND, S.; BENTZ, D.; PIMIENTA, P. (2001) Effects of the incorporation of municipal solid waste incineration fly ash in cement pastes and mortars I. Experimental. Cement and Concrete Research, Vol.32, pp. 303-311

[16] SHI, C.; ZHENG, K. (2007) A review on the use of waste glasses in the production of cement and concrete Resources, Conservation and Recycling, May 2007, Vol.52, pp.234-247.

[17] PAPAKONSTANTINO, C.; TOBOLSKI, M. (2006) Use of waste tire steel beads in Portland cement concrete. Cement and Concrete Research, Vol. 36, pp. 1686-1691

[18] MARZOUK, O.; DHEILLY, R.; QUENEUDEC, M. (2007) Valorization of post-consumer waste plastic in cementitious concrete composites. Waste Management, Vol.27, pp. 310-318

[19] SCHMIDT, H.; CIEŚLAK, M. (2007) Concrete with carpet recycles: Suitability assessment by surface energy evaluation. Waste Management, pp.234-247.

[20] ALMEIDA, N.; BRANCO, F.; SANTOS, (2007) J.Recycling of stone slurry in industrial activities: Application to concrete mixtures. Building and Environment, Vol. 42, pp. 810-819.

[21] EVANGELISTA, L.; BRITO, J. (2007) Mechanical behaviour of concrete made with fine recycled concrete aggregates. Cement & Concrete Composites, Vol.29, pp.397-401.



[22] TORGAL, F. M. ALVES S. P.; JALALI, SAID (2010) Reusing ceramic wastes in concrete. Construction and Building Materials (in press)

[23] LUGT, P.; DOBBELSTEEN, A.; JANSSEN, J. (2006) An environmental, economic and practical assessment of bamboo as a building material for supporting structures. Construction and Building Materials Vol. 20, pp.648-656

[24] BJORN, B. (2007) The ecology of building materials. Elsevier.

[25] THOMARK, C. (2000) Environmental analysis of a building with reused building materials. International Journal of Low Energy & Sustainable Building, Vol.1

[26] GONZÁLEZ, M.; NAVARRO, J. (2006) Assessment of the decrease of CO2 emissions in the construction field through the selection of materials: Practical case study of three houses of low environment impact. Building and Environment Vol. 41, pp.902-909.

[27] SALASAR, C. (2007) Estudo sobre Emissão de Compostos Orgânicos Voláteis COVS em Tintas Imobiliárias à Base de Solvente e Água. Dissertação de Mestrado em Química, Universidade Estadual de Londrina.

[28] ARUNDEL, A.; STERLING, E.; BIGGIN, J.; STERLING, T. (1986) Indirect health effects of relative humidity in indoor environments. Environmental Health Perspectives, Vol. 65, pp.351-361.

[29] MORTON, T. (2008) Earth Masonry – Design and Construction Guidelines. ISBN 978-1-86081-978-0. HIS BRE Press.

[30] SCHWARTZENTRUBER, A. (2005) EcoConcrete: A tool to promote life cycle thinking for concrete applications. Orgagec Symposium, pp.2-10.

[31] EVANGELISTA, L.; DE BRITO, J. (2007) Environmental life cycle assessment of concrete made with fine recycled concrete aggregates. International Congress Sustainable Construction, Materials and Practices - Challenge of the Industry for the New Millennium: Edited by Luis Bragança, Manuel Pinheiro, Said Jalali, Ricardo Mateus, Rogério Amoêda, Manuel Correia Guedes, ISBN 978-1- 58603-785-7, pp. 789-794, Portugal SB07, Lisboa