

00-00



SUSTENTABILIDADE TENDÊNCIAS PARA A SUSTENTABILIDADE DOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

A INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CONSTITUI UM DOS MAIORES E MAIS ACTIVOS SECTORES EM TODA A EUROPA, CONSUMINDO MAIS MATÉRIAS-PRIMAS DO QUE QUALQUER OUTRA ACTIVIDADE ECONÓMICA. DA MESMA FORMA, CONSUME ELEVADAS QUANTIDADES DE ENERGIA E OS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO REPRESENTAM A GRANDE MAIORIA DOS RESÍDUOS PRODUZIDOS EM TODA A EUROPA, SENDO QUE GRANDE PARTE TEM A VANTAGEM DE PODER SER RECICLADA. ESTE ARTIGO APRESENTA UMA REVISÃO DA LITERATURA SOBRE O CONTRIBUTO DOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO PARA A SUSTENTABILIDADE DA INDÚSTRIA CONSTRUÇÃO. MATERIAIS PRODUZIDOS A PARTIR DE RESÍDUOS, COM ELEVADO NÍVEL DE RECICLAGEM, MAIS DURÁVEIS, QUE INCORPOREM MENOS ENERGIA OU QUE SEJAM ESCOLHIDOS MEDIANTE UMA ANÁLISE DO SEU CICLO DE VIDA, CONSTITUEM SOLUÇÕES INEQUÍVOCAS DE CONTRIBUTOS PARA UMA CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL.

TEXTO F. PACHECO TORRAL E SAID JALALI

ENQUADRAMENTO AMBIENTAL

O nosso planeta enfrenta hoje um desafio ambiental cuja falta de resolução ou adiamento, poderá vir a ditar o fim da civilização humana, tal como a conhecemos. Em termos ambientais, a acção do homem tem-se revelado muito pior que uma "praga de gafanhotos". A acção humana consome tudo e polui tudo numa lógica de devastação sem paralelo, agravada pelo facto de somente a alguns assistir o direito de consumir e poluir (com apenas 5% da população mundial, os Estados Unidos consomem cerca de um terço dos materiais do planeta). O resultado final é um planeta poluído quase até ao limite e que ironicamente parece caminhar no sentido de uma nova idade do gelo. Nunca como agora os efeitos imediatos dos padrões de consumo da civilização humana revelaram dimensões de natureza intergeracional e intergeográfica tão evidentes, produzindo consequências noutros países e afectando futuras gerações. Um relatório do International Plant Protection Convention (IPPC) refere qualquer coisa como 200 milhões de refugiados, em consequência da provável subida do nível da água do mar. Outros investigadores, acreditam mesmo que o ponto de não retorno foi já atingido, não sendo por isso já possível evitar um ciclo interminável de catástrofes naturais, que levará a que no prazo de 100 anos a humanidade possa ficar reduzida a aproximadamente 20% da população actual. As preocupações ambientais da sociedade actual começaram a ganhar maior relevo após a realização em 1972 da Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente em Estocolmo. Contudo somente em 1987 adquiriram uma perspectiva mais incisiva, a partir da publicação do Relatório "Our common future", mais mediatizado como relatório Bruntland, e onde pela primeira vez aparece consignada a expressão do desenvolvimento sustentável como aquele que "permite satisfazer as necessidades do presente sem comprometer as possibilidades das gerações futuras satisfazerem as suas". Posteriormente, em 1992, na Conferência do Rio, em que estiveram presentes 176 países e 102 Chefes de Estado e de Governo, foram aprovados por unanimidade a Declaração do Rio sobre o Ambiente e Desenvolvimento, a Declaração de Princípios sobre as Florestas e a Agenda 21, bem como a Convenção sobre as Alterações Climáticas e a Convenção sobre a Diversidade Biológica. Em 1993, a União Europeia desenvolveu o 5.º Programa para o Ambiente e Desenvolvimento, no qual se estabelece a necessidade de uma maior abrangência das políticas do ambiente. Na sequência dos compromissos assumidos por Portugal no âmbito da Agenda 21, foi elaborado em 2002 um documento intitulado Estratégia Nacional para o Desenvolvimento Sustentável (ENDS), o qual foi recentemente actualizado até ao ano 2015. Este consiste num conjunto coordenado de actuações nas dimensões Económica, Social e Ambiental, permitindo "assegurar um crescimento económico célere e vigoroso, uma maior coesão social e um elevado e crescente nível de protecção e valorização do ambiente". 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. Além disso a indústria da construção a nível mundial consome mais matérias-primas (aproximadamente 3000 Mt/ano, quase 50% em massa) que qualquer outra actividade económica. O aumento da população mundial, (até ao ano 2030 espera-se que aumente mais de 2000 milhões de pessoas – **figura 1**) e as necessidades implícitas em termos de construção de edifícios e outras infra-estruturas agravarão ainda mais o consumo de matérias-primas não renováveis, bem como a produção de resíduos. A sustentabilidade da indústria da construção e em particular o caso dos materiais de construção assume, desta forma, um papel primordial que importa aprofundar e divulgar. Nessa sequência apresenta-se neste artigo uma revisão da literatura sobre investigações no âmbito da sustentabilidade dos materiais de construção.

Materiais obtidos a partir de resíduos

De acordo com alguns investigadores, a forma mais eficiente para a indústria da construção se tornar uma actividade sustentável passa pela incorporação de resíduos de outras indústrias em materiais de construção. De facto, as investigações neste domínio têm vindo a merecer uma atenção especial por parte da comunidade científica. Sendo o betão o material mais utilizado na indústria da construção a nível mundial – aproximadamente 6000 Mt/ano – e com tendência para aumentar nos próximos anos (**figura 2**), existe já um corpo de investigação bastante consistente em termos da utilização de resíduos em betões, a saber: com características pozolânicas, cinzas volantes [1], escórias de alto forno [2], sílica de fumo [3], cinzas de resíduos vegetais [4], cinzas de resíduos sólidos urbanos [5], resíduos de vidro [6]. Existe igualmente investigação sobre a incorporação de resíduos em betões, como agregados ou *filler*, a saber: resíduos da indústria automóvel [7], de plástico [8], têxteis [9], pó de pedra da indústria das rochas ornamentais, de extracção de agregados e da indústria cerâmica [10] e os resíduos de construção e demolição (RCD) [11], onde se destaca ultimamente o caso da utilização de resíduos cerâmicos como agregados [12]. Convém aliás referir que os RCD, representam um terço dos resíduos produzidos no espaço Europeu, aproximadamente 500 Mt. Relativamente a Portugal, muito recentemente o Instituto Superior Técnico (Universidade Técnica de Lisboa) estimou em 4,4 Mt os resíduos de RCD 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 RCD na Europa é de 50%, já na Dinamarca 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 3.º objectivo do ENDS 2015 de reduzir em 12,1% o valor dos resíduos industriais relativamente aos valores do ano de 2001.

MATERIAIS DURÁVEIS

Quanto maior for a durabilidade de um material, maior será a sua vida útil e consequentemente 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. Aliás, são bem frequentes os casos de deterioração precoce de estruturas de betão armado (**figura 3 e 4**). É conhecido um caso de deterioração de estacas 12 anos após a sua construção e também um caso de um túnel no Dubai que concluído em 1975, teve de ser completamente reparado em 1986. Um estudo sobre pontes construídas na Noruega após 1970 em que 25% apresentavam deterioração por corrosão de armaduras. Outros estudos indicam que 40% das cerca de 600.000 pontes existentes nos Estados Unidos estariam afectadas pela corrosão, com um custo de reparação de aproximadamente 50.000 milhões de dólares. A vulnerabilidade deste material fica a dever muito ao material ligante (cimento *portland*), que apresenta uma elevada quantidade de cal, facilmente susceptível de ataque químico, situação agravada pela incapacidade do material em conseguir uma boa aderência aos agregados, o que induz níveis de permeabilidade relativamente elevados, facilitando o ingresso de água, gases e substâncias agressivas, que provocam fenómenos de carbonatação e de corrosão das armaduras.

Por isso, a utilização de ligantes alternativos ao cimento *portland* com uma durabilidade superior, como é o caso dos ligantes activados alcalinamente, constitui assim um passo no sentido da sustentabilidade da construção.

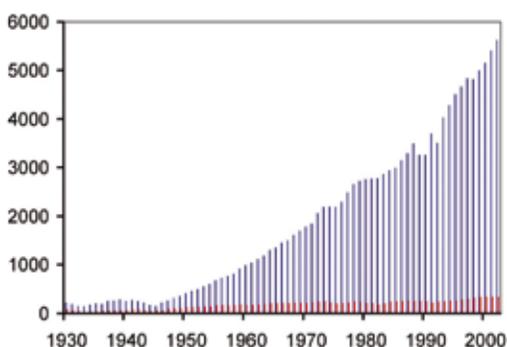
MATERIAIS REICLÁVEIS

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 do consumo de recursos fósseis não renováveis e das emissões das centrais termoeléctricas, já que 75,5% da energia consumida no nosso país é de origem térmica (**figura 4 e 5**). Alguns autores referem que os materiais de construção representam quase 15% da energia na construção de edifícios. A escolha adequada dos materiais de construção pode assim contribuir de forma decisiva para a redução da quantidade de energia necessária na construção de edifícios. Thomark refere poupanças de quase 17% em termos de "embodied energy"^[13]. Outros autores apontam para reduções de quase 30% em termos de emissões de CO₂, devido a uma correcta

1.



2.



3a.



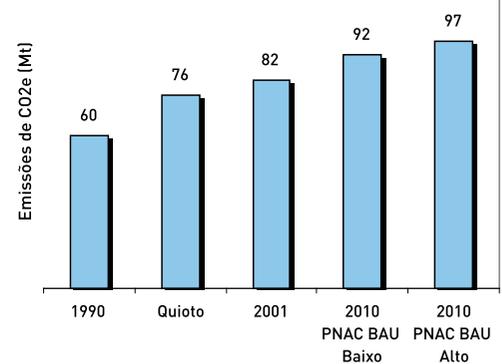
3b.



3c.



4.



5.



TABELA 1 – PROGRAMAS INFORMÁTICOS PARA ACV NO SECTOR DA CONSTRUÇÃO

Aplicação	Programa informático	
	Denominação	Origem
Aplicação geral a estudos de ACV	SimapPro GaBi	Holanda Alemanha
Seleccção de materiais	BEES	EUA
Concepção de edifícios	ATHENA EcoQuantum EnVest	Canadá Holanda Reino Unido
Sistemas completos de edifícios	LEED BREEM GBTool Ecoprofile Escale Ecoeffect	EUA Reino Unido Canadá Noruega França Suécia

escolha dos materiais de construção [14]. Já Esin [15] apresenta uma comparação interessante de vários materiais de construção. A energia gasta em transporte de materiais de construção implica necessariamente que se deva privilegiar a utilização de materiais locais. A construção em alvenaria de terra, é um material que tem vindo a ser objecto de atenção crescente quer pelo seu baixo custo, pelas suas características de isolamento térmico, quer mesmo pelo exíguo valor de energia que está associado à utilização deste excelente material de construção.

SELECÇÃO DE MATERIAIS

A escolha dos materiais a utilizar num contexto de construção sustentável não deve ser feita, contudo, 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. 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. Diversas ferramentas informáticas utilizam a ACV para o sector da construção como se apresenta na Tabela 1.

O programa destinado à tomada de decisão de materiais de construção é o programa BEES (*Building for environmental and economic sustainability*) produzido pela U.S. *Environmental Protection Agency*. 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. O programa apresenta no entanto uma limitação decorrente das bases de dados utilizarem valores relativos a produtos produzidos nos EUA, pelo que tal ferramenta é recomendável somente para o plano experimental e educacional. Na Universidade do Minho foi recentemente desenvolvido o programa EcoBuild. Este programa permite avaliar os impactos causados ao ambiente pela construção de um edifício com estrutura em betão armado e comparar os impactos caso a estrutura do edifício fosse em perfis metálicos. Para tal, basta ao utilizador inserir as quantidades de material utilizadas, caso a estrutura fosse em betão armado ou em perfis metálicos. A partir destes valores e dos dados obtidos da pesquisa realizada, o programa procederá ao cálculo, emitindo gráficos representativos das quantidades de produtos nocivos enviados ao ambiente pela realização da dita estrutura. Ao analisar os gráficos, o utilizador poderá tirar conclusões acerca de qual será a estrutura mais “amiga” do meio ambiente [16]. Finalmente, é preciso ainda ter em conta que as metodologias de análise de ciclo de vida não são muito objectivas e padecem de bastantes incertezas. De facto não possível saber se a emissão de 1 tonelada de dióxido de enxofre é mais poluente que a emissão de 3 toneladas dióxido de carbono, ou se poluição da água tem mais valor que a poluição do ar, ou mesmo se é possível quantificar qual é mais poluente, a electricidade produzida por uma central termoeléctrica ou por uma central nuclear. Alguns autores apresentam uma análise mais aprofundada dessas limitações. A aplicação generalizada de análises de ciclos de vida ao sector da construção, no caso particular dos materiais de construção, pressupõe antes de tudo 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.

F. Pacheco Torgal é Engenheiro Civil, Doutor em Materiais de Construção, Eq. a Assistente na Escola Superior de Tecnologia de Castelo Branco

Said Jalali é Engenheiro Civil, Professor Associado com Agregação na Universidade do Minho

REFERÊNCIAS

- [1] Roskovic, R.; Bjegovic, D. Role of mineral additions in reducing CO2 emission. *Cement and Concrete Research*, Vol.35, 2005, pp.974-978.
- [2] Ding, Z. Property improvement of Portland cement by incorporating with metakaolin and slag. *Cement and Concrete Research*, Vol. 33, 2002, pp.579-584.
- [3] Khedr, A.; Abou-zeid, N. Characteristics of silica fume concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering ASCE*, Vol.6, 1994, pp.357-375.
- [4] Tangchirapat, W.; Saeting, T.; Jaturapitakkul, C.; Kiattikomol, K.; Siripanchgorn, A. Use of waste ash from palm oil industry in concrete. *Waste Management*, Vol. 27, 2007, pp. 81-88.
- [5] Redmond, S.; Bentz, D.; Pimentia, P. Effects of the incorporation of municipal solid waste incineration fly ash in cement pastes and mortars I. Experimental. *Cement and Concrete Research*, Vol.32, 2001, pp. 303-311
- [6] Shi, C.; Zheng, K.A review on the use of waste glasses in the production of cement and concrete. *Resources, Conservation and Recycling*, May 2007.
- [7] Papakonstantinou, C.; Tobolski, M. Use of waste tire steel beads in Portland cement concrete. *Cement and Concrete Research*, Vol. 36, 2006, pp. 1686-1691
- [8] Marzouk, O.; Dheilily, R.; Queneudec, M. Valorization of post-consumer waste plastic in cementitious concrete composites. *Waste Management*, Vol.27, 2007, pp. 310-318
- [9] Schmidt, H.; CieBlak, M. Concrete with carpet recyclates: Suitability assessment by surface energy evaluation. *Waste Management*, 2007.
- [10] Almeida, N.; Branco, F.; Santos, J. Recycling of stone slurry in industrial activities: Application to concrete mixtures. *Building and Environment*, Vol. 42, 2007, pp. 810-819
- [11] Evangelista, L.; Brito, J. Mechanical behaviour of concrete made with fine recycled concrete aggregates. *Cement & Concrete Composites*, Vol.29, 2007, pp.397-401.
- [12] Brito, J.; Pereira, A.; Correia, J. Mechanical behaviour of non-structural concrete made with recycled ceramic aggregates. *Cement and Concrete Composites*, Vol. 27, 2005, pp. 429-433
- [13] Thomark, C. The effect of material choice on the total energy need and recycling potential of a building. *Building and Environment* Vol. 41, 2006, 1019-1026
- [14] González, M.; Navarro, J. 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, 2006, 902-909.
- [15] Esin, T. A study regarding the environmental impact analysis of the building materials production process (in Turkey). *Building and Environment* Vol.42, 2007, pp.3860-3871
- [16] <http://www.civil.uminho.pt/web/sustainable/index.php?navigate=ecobuild&lang=pt>