

Congresso Construção 2007 - 3.º Congresso Nacional
17 a 19 de Dezembro, Coimbra, Portugal
Universidade de Coimbra

CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. O CASO DOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

F.PachecoTorgal, Said Jalali

Instituto Politécnico de Castelo Branco, Universidade do Minho
fernandotorgal@est.ipcb.pt, said@civil.uminho.pt

Resumo

A indústria da construção constitui um dos maiores e mais activos sectores em toda a Europa. Esta actividade consome mais matérias-primas do que qualquer outra actividade económica, consome também elevadas quantidades de energia e os resíduos de construção e demolição representam além disso a grande maioria dos resíduos produzidos em toda a Europa, sendo que grande parte desses resíduos 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.

Palavras-chave: construção, sustentável, materiais, resíduos, reciclagem.

1 Introdução

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. Pelo menos aqueles limitam-se a consumir recursos renováveis numa lógica igualitária. 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 [1 - 3]. 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 IPPC [4] 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 Brundtland, 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 5º 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 [5]. 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 [6]) que qualquer outra actividade económica. O aumento da população mundial, (até ao ano 2030 espera-se que aumente mais de 2000 milhões de pessoas) e as necessidades implícitas em termos de construção de edifícios e outras infraestruturas, agravará ainda mais o consumo de matérias-primas não renováveis, bem assim 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.

2 Materiais “amigos do ambiente”

2.1 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 [7]. De facto, as investigações neste domínio tem 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 (2000 Mt/ano), existe já um corpo de investigação bastante consistente em termos da utilização de resíduos em betões, a saber: com características pozolânicas, cinzas volantes [8-10], escórias de alto forno [11, 12], sílica de fumo [13], cinzas de resíduos vegetais [14, 18], cinzas de resíduos sólidos urbanos [19, 20], resíduos de vidro [21-25]. Existe igualmente investigação sobre a incorporação de resíduos em betões, como agregados ou filler, a saber: resíduos da industria automóvel [26,27], de plástico [28-30], têxteis [31], pó de pedra da industria das rochas ornamentais,

de extracção de agregados e da industria cerâmica [32-36] e os resíduos de construção e demolição (RC&D) [37-40], onde se destaca ultimamente o caso da utilização de resíduos cerâmicos como agregados [41-43]. 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.

2.2 Materiais 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 [44]. Infelizmente são inúmeros os casos de deterioração precoce de estruturas de betão armado. Mehta [45] refere 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. Gjorv [46] indica um estudo sobre pontes construídas na Noruega após 1970 em que 25% apresentavam deterioração por corrosão de armaduras. Ferreira [47] cita estudos que indicam que 40% das cerca de 600000 pontes existentes nos Estados Unidos estariam afectadas pela corrosão, com um custo de reparação de aproximadamente 50000 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 cimento portland em conseguir uma boa aderência aos agregados o que induz níveis de permeabilidade relativamente elevados, facilitando o ingresso de água, gases e substancias agressivas, que provocam fenómenos de carbonatação e de corrosão das armaduras. A utilização por isso de ligantes alternativos ao cimento portland com uma durabilidade superior a este material, como é o caso dos ligantes activados alcalinamente constitui assim um passo no sentido da sustentabilidade da construção.

2.2.1 Ligantes obtidos por activação alcalina

Os ligantes obtidos por activação alcalina são também usualmente conhecidos por ligantes geopoliméricos. Em termos históricos este tipo de ligante, foi objecto de intensas análises por parte de investigadores do Leste da Europa (Tabela 1), 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. Ao nível fenomenológico, alguns investigadores afirmam que existem dois modelos distintos de activação alcalina [49, 50]. As investigações sobre os ligantes activados alcalinamente demonstram que é possível sintetizar ligantes a partir de resíduos aluminossilicatados activados com soluções de elevada alcalinidade [51-53]. No primeiro modelo, um bom exemplo é o da activação de escórias de alto forno, um material com uma elevada percentagem de óxido de cálcio, que ao ser

activado com soluções alcalinas de baixa ou média concentração, origina produtos de reacção do tipo silicato de cálcio hidratado (C-S-H). No segundo modelo, o material composto quase exclusivamente por sílica e alumina, é activado por soluções alcalinas bastante concentradas originando-se uma reacção de polimerização.

Tabela 1- Resenha histórica sobre alguns acontecimentos importantes acerca de cimentos obtidos por activação alcalina e cimentos alcalinos [48]

Autor	Ano	Descrição
Feret	1939	Cimentos com escórias
Purdon	1940	Combinações alcalis-escórias
Glukhovsky	1959	Bases teóricas e desenvolvimento de cimentos alcalinos
Glukhovsky	1965	Primeiros cimentos alcalinos
Davidovits	1979	Termo “ Geopolimero”
Malinowski	1979	Caracterização de aquedutos milenares
Forss	1983	Cimento tipo F
Langton e Roy	1984	Caracterização de materiais em edifícios milenares
Davidovits e Sawyer	1985	Patente do cimento “ Pyrament “
Krivenko	1986	Sistemas $R_2O - RO - SiO_2 - H_2O$
Malolepsy e Petri	1986	Activação de escórias sintéticas
Malek. et al.	1986	Cimentos de escórias com resíduos radioactivos
Davidovits	1987	Comparação entre betões correntes e betões milenares
Deja e Malolepsy	1989	Resistência ao ataque de cloretos
Kaushal et al.	1989	Cura adiabatica de ligantes alcalinos com resíduos nucleares
Roy e Langton	1989	Analogias dos betões milenares
Majundar et al.	1989	Activação de escórias – $C_{12}A_7$
Talling e Brandstetr	1989	Activação alcalina de escórias
Wu et al.	1990	Activação de cimento de escórias
Roy et al.	1991	Presença rápida de cimentos activados alcalinamente
Roy e Silsbee	1992	Revisão sobre cimentos activados alcalinamente
Palomo e Glasser	1992	Metacaulino com CBC
Roy e Malek	1993	Cimento de escórias
Glukhovsky	1994	Betões milenares, modernos e futuros
Krivenko	1994	Cimentos alcalinos
Wang e Scrivener	1995	Microestrutura de escórias activadas alcalinamente

2.3 Materiais de obtidos a partir de fontes renováveis

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 [54,55].

2.4 Materiais recicláveis

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. Um produto que pode ser facilmente reciclado tem vantagens em relação a um produto que é

inicialmente ‘verde’, mas que não pode ser reciclado. 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 [56].

2.5 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 [5]. 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 [57]. 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”[55]. Outros autores apontam para reduções de quase 30% em termos de emissões de CO₂, devido a uma correcta escolha dos materiais de construção [59]. Já Esin [60] 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 [61-63].

3 Selecção de materiais

A escolha dos materiais a utilizar num contexto de construção sustentável não deve 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. 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 Assesment (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 [64]. Esta metodologia tem vindo a ser utilizada por diversos autores na selecção de materiais de construção [65-67]. Diversas ferramentas informáticas utilizam a ACV para o sector da construção como se apresenta na Tabela2.

Tabela 2 – Programas informáticos para ACV no sector da construção [68]

Aplicação	Programa informático	
	Denominação	Origem
Aplicação geral a estudos de ACV	SimapPro GaBi	Holanda Alemanha
Seleção 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

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 [68].

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 [69].

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 termoelétrica ou por uma central nuclear. Alguns autores apresentam uma análise mais aprofundada dessas limitações [70]. A aplicação generalizada de análises de ciclos de vida ao sector da construção, no caso particular dos materiais de construção, pressupõe antes de tudo o mais 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.

4 Conclusões

A indústria da construção constitui-se como um dos sectores mais devastadores em termos de impactos ambientais, o que torna urgente uma alteração do paradigma que caracteriza este sector e que seja capaz de fazer a transição de um sector poluente para um sector mais sustentável e amigo do ambiente. O presente artigo aborda o caso particular dos materiais de construção no contexto da construção sustentável. Neste artigo é feita uma retrospectiva de investigações recentes sobre as mudanças a levar a cabo no sentido de uma sustentabilidade crescente neste sector. Sendo uma indústria consumidora de vastas quantidades de materiais, apresenta uma vantagem muito significativa no sentido de ser capaz de escoar vastas quantidades de resíduos de outras indústrias. A utilização de materiais mais duráveis, com menor energia incorporada ou recicláveis constituem alternativas para uma maior sustentabilidade dos materiais de construção. Contudo, a escolha entre vários materiais não dispensa uma análise de ciclo de vida dos materiais, metodologia que embora padecendo de algumas limitações é ainda a melhor opção para o efeito.

Referências

- [1] Sampat & Gardner, *Mind over matter: Recasting the role of materials in our lives*, World Watch Institute 1998
- [2] Meadows, D.L.; Meadows, D.L.; Behrens, J.R.W., *The limit to growth*, MIT Press, 1972.
- [3] Stern, N., *The economics of climate change*, The Stern Review 2007
- [4] IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change, Climate Change 2007 4th Assessment report
- [5] Resolução de Conselho de Ministros nº 109/2007, Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável ENDS 2015 e Plano de implementação, Diário da república, 1^a série, nº 159, 20 de Agosto de 2007, pp.5404-5478
- [6] D.M. Roodman and N. Lenssen, *A Building Revolution: How Ecology and Health Concerns are Transforming Construction*, Worldwatch Paper 124, Worldwatch Institute, Washington, D.C., March 1995, p. 5.
- [7] Metha, P.K. Reducing the environment impact of concrete. Concrete can be durable and environmentally friendly. *Concrete International*, Vol.10, 2001
- [8] Bilodeau, A.; Malhotra, V. High volume fly ash system: The concrete solution for sustainable development. CANMET/ACI International Symposium on Sustainable Development of the Cement Industry, Canada, 1998, pp. 1-22.
- [9] Mehta, K. High-performance, high-volume fly ash concrete for sustainable development. International workshop on sustainable development and concrete technology, 2001, pp.4-14
- [10] Roskovic, R.; Bjegovic, D. Role of mineral additions in reducing CO2 emission. *Cement and Concrete Research*, Vol.35, 2005, pp.974-978.
- [11] Olorunsogo, F.; Wainwright, P. Effect of ggbfs particle size distribution on mortar compressive

- strength. *Journal of Materials in Civil Engineering ASCE*, Vol.10, 1998, pp.180-187
- [12] Ding, Z. Property improvement of Portland cement by incorporating with metakaolin and slag. *Cement and Concrete Research*, Vol. 33, 2002, pp.579-584
- [13] Khedr, A.; Abou-zeid, N. Characteristics of silica fume concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering ASCE*, Vol.6, 1994, pp.357-375
- [14] Elinwa, A.U.; Awari, A. Groundnut-husk ash concrete. *Nigerian Journal of Engineering Management*, Vol. 2, 2001, pp.8-15
- [15] Elinwa, A.U.; Ejeh, S.P. Ash from timber waste as cement replacement material. *Cement and Concrete Composites*, Vol.24, 2002, pp. 219-222
- [16] Ganesan, K.; Rajagopal, R.; Thangavel, K. Evaluation of bagasse ash as supplementary cementitious material. *Cement and Concrete Composites*, Vol. 29, pp. 515-524
- [17] Chindaprasirt, P.; Homwuttiwong, S.; Jaturapitakkul, C. Strength and water permeability of concrete containing palm oil fuel ash and rice husk-bark ash. *Construction and Building Materials*, Vol. 21, pp. 1492-1499
- [18] Tangchirapat, W.; Saeting, T.; Jaturapitakkul, C.; Kiattikomol, K.; Siripanichgorn, A. Use of waste ash from palm oil industry in concrete. *Waste Management*, Vol. 27, 2007, pp. 81-88
- [19] Redmond, S.; Bentz, D.; Pimienta, 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
- [20] Redmond, S.; Bentz, D.; Pimienta, P. Effects of the incorporation of municipal solid waste incineration fly ash in cement pastes and mortars II. Modeling. *Cement and Concrete Research*, Vol.32, 2001, pp. 365-576
- [21] 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,
- [22] Taha, B.; Nounu, G. Properties of concrete contains mixed colour waste recycled glass as sand and cement replacement. *Construction and Building Materials*, 21 March 2007,
- [23] Shayan, A.; Xu, A. Performance of glass powder as a pozzolanic material in concrete: A field trial on concrete slabs. *Cement and Concrete Research*, Vol. 36, pp. 457-468
- [24] Wang, L.; Seals, R.; Roy, A. Investigations of utilization of amorphous silica residues as supplementary cementing materials. *Advances in Cement Research*, Vol. 13, 2001, pp.85-89
- [25] Kim, W.; Soh, Y. Properties of unsaturated polyester mortars using crushed waste glass. *Journal of Asian Architecture and Building engineering*, Vol. 12, 2002, pp.7-12
- [26] Papakonstantinou, C.; Tobolski, M. Use of waste tire steel beads in Portland cement concrete. *Cement and Concrete Research*, Vol. 36, 2006, pp. 1686-1691
- [27] Bignozzi, M.; Sandrolini, F. Tyre rubber waste recycling in self-compacting concrete. *Cement and Concrete Research*, Vol. 36, 2006, pp.735-739
- [28] Marzouk, O.; Dheilily, R.; Queneudec, M. Valorization of post-consumer waste plastic in cementitious concrete composites. *Waste Management*, Vol.27,2007, pp. 310-318
- [29] Choi, Y.; Moon, D.; Chung, J.; Cho, S. Effects of waste PET bottles aggregate on the properties of concrete. *Cement and Concrete Research*, Vol. 35, 2005, pp. 776-781
- [30] Batayneh, M.; Marie, I.; Asi, I. Use of selected waste materials in concrete mixes. *Waste Management*, 2006,
- [31] Schmidt, H.; Cieślak, M. Concrete with carpet recyclates: Suitability assessment by surface energy evaluation. *Waste Management*, 2007,
- [32] Gonçalves, J. *A utilização de resíduos de corte de granito como adição para produção de concretos*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000
- [33] Almeida, Nuno G.C. M. *Reutilização de lamas de tratamento de rochas ornamentais em betões*. Dissertação de Mestrado. Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior Técnico. 2004.
- [34] 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
- [35] Felekoglu, B. Utilisation of high volumes of limestone quarry wastes in concrete industry (self-compacting concrete case). *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 51, 2007, pp.770-791
- [36] López, V.; Llamas, B.; Juan, A.; Morán, J. Guerra, I. Eco-efficient Concretes: Impact of the Use of White Ceramic Powder on the Mechanical Properties of Concrete. *Biosystems Engineering*, Vol. 96, 2007, pp. 559-564
- [37] Tam, V.; Tam, C. Economic comparison of recycling over-ordered fresh concrete: A case study approach. *Resources, Conservation and Recycling*, 2007,
- [38] González-Fontebo, B.; Martínez-Abella, F. Concrete with aggregates from demolition waste and sílica fume. Materials and mechanical properties. *Building and Environment*, Vol. , 2007, pp.
- [39] Evangelista, L.; Brito, J. Mechanical behaviour of concrete made with fine recycled concrete aggregates. *Cement & Concrete Composites*, Vol.29, 2007, pp.397-401.
- [40] Jurič, B.; Hanžič, L.; Ilić, R.; Samec, N. Utilization of municipal solid waste bottom ash and recycled aggregate in concrete. *Waste Management*, Vol. 26, 2006, pp. 1436-1442
- [41] Senthamarai, R.; Manoharan, P. Concrete with ceramic waste aggregate. *Cement and Concrete Composites*, Vol. 27,2005, pp. 910-913
- [42] Debieb, F.; Kenai, S. The use of coarse and fine crushed bricks as aggregate in concrete. *Construction and Building Materials*, 2007, pp.
- [43] 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
- [44] Mora, E. Life cycle, sustainability and the transcendent quality of building materials. *Building and Environment* Vol. 42, 2007, pp.1329-1334.
- [45] Mehta, P.K. *Concrete in marine environment*. Elsevier Science Publishers, 1991, New York USA
- [46] Gjorv, O.E. Steel corrosion in concrete structures exposed to Norwegian marine environment. *ACI Concrete International*, 1994, pp.35-39
- [47] Ferreira, R. *Avaliação de ensaios de durabilidade de betão*. Tese de Mestrado, 2000, Escola de Engenharia da Universidade do Minho.
- [48] Roy, Della M. Alkali – activated cements. Opportunities and challenges. *Cement and Concrete Research*, Vol. 29,1999, pp.249-254.
- [49] Palomo, A.; Grutze, M. W.; Blanco, M. T. Alkali – activated fly ashes. A cement for the future. *Cement and Concrete Research* Vol.29, 1999, pp.1323-1329.
- [50] Hardjito, D.; Wallah, S. E.; Sumajouw; Rangun, B. V. Fly ash based geopolymer concrete, Construction material for sustainable development. *Concrete World: Engineering & Materials*, American Concrete Institute 2004 India
- [51] Torgal, F. Pacheco, Castro-Gomes, J.P., Jalali, Said, Geopolymeric binder using tungsten mine waste, In *Proceedings of Geopolymer 2005 World Congress*, pp.93-98, S.Quentin, France
- [52] Torgal, F. Pacheco, Castro-Gomes, J.P., Jalali, Said, Materiais ligantes “amigos do ambiente” obtidos por activação alcalina de lamas residuais das Minas da Panasqueira, *Revista Engenharia e Vida*, nº 37, 2007, pp.24-30
- [53] Torgal, F. Pacheco, *Desenvolvimento de ligantes obtidos por activação alcalina de lamas residuais das Minas da Panasqueira*. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, Universidade da Beira Interior, Julho de 2007, Covilhã
- [54] Lugt, P.; Dobbelsteen, A.; Janssen, J. An environmental, economic and practical assessment of bamboo as a building material for supporting structures. *Construction and Building Materials* Vol. 20, 2006, pp.648-656
- [55] Gerilla, G.; Teknomo, K.; Hokao, K. An environment assessment of wood and steel reinforced concrete housing construction. *Building and Environment* Vol. 42, 2007, pp.2778-2784
- [56] Bjorn, B. *The ecology of building materials*. Reed educational and professional

- publishing, Wobun, 2000.
- [57] Thomark, C. Environmental analysis of a building with reused building materials. *International Journal of Low Energy & Sustainable Building* 2000
- [58] 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
- [59] González, M.; Navarro, J. Assesment of the decrease of CO₂ emissions in the construction field through the selection of materials: Pratical case study of three houses of low environment impact. *Building and Environment* Vol. 41, 2006, 902-909.
- [60] 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
- [61] Lourenço, P. *Construções em terra: Os materiais naturais como contributo à sustentabilidade na construção*. Dissertação de Mestrado em Construção. Instituto Superior Técnico, 2000, Lisboa.
- [62] Delgado, M.; Guerrero, I. Earthbuilding in Spain. *Construction and Building Materials*, Vol. 20, 2006, pp. 679-690
- [63] Jayasinghe, C.; Kamaladasa, N. Compressive strength characteristics of cement stabilized rammed earth walls. *Construction and Building Materials*, Vol. 21, 2007, pp. 1971-1976
- [64] Hunt, R.; Franklin, E. LCA-How it came about. Personal reflections on the origin and the development of LCA in the USA. *International Journal of LCA*, Vol. 1, 1996, pp. 4-7
- [65] Petersen, A.; Solberg, B. Greenhouse gas emissions, life-cycle inventory and cost-efficiency of using laminated wood instead of steel construction. *Environmental Science & Policy* Vol. 5, 2002, pp.169-182
- [66] Navia, R.; Rivela, B.; Lorber, K.; Méndez, R. Recycling contaminated soil as alternative raw material in cement facilities: Life cycle assessment. *Resources, Conservation and Recycling* Vol. 48, 2006, pp.39-356.
- [67] Gerilla, G.; Teknomo, K.; Hokao, K. An environment assessment of wood and steel reinforced concrete housing construction. *Building and Environment* Vol. 42, 2007, pp.2778-2784
- [68] Amoeda, Rogério P. *Ecologia dos Materiais de Construção. Linhas de orientação para o seu ensino*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade do Minho, 2003, Guimarães
- [69] <http://www.civil.uminho.pt/web/sustainable/index.php?navigate=ecobuild&lang=pt>
- [70] Ekvall, T.; Assefa, G.; Bjorklund, A.; Eriksson, O.; Finnveden, G. What life-cycle assessment does and does not in assessments of waste management. *Waste Management* Vol., 2007, pp.