

Tendências na sustentabilidade de unidades para alvenarias

Future trends in the sustainability of masonry units

Fernando Pacheco Torgal¹, Said Jalali²

¹*Investigador na Secção de Construção Sustentável, Unidade C-TAC,
Escola de Engenharia, Universidade do Minho
torgal@civil.uminho.pt*

²*Professor Catedrático do Departamento de Engenharia Civil,
Escola de Engenharia, Universidade do Minho
said@civil.uminho.pt*

RESUMO: Em Portugal a construção de alvenarias em edifícios, tem-se pautado de há vários anos a esta parte por uma rigidez incompreensível, traduzida quase exclusivamente pela utilização de tijolos cerâmicos e blocos de betão (estes quase residualmente), apenas com funções divisórias e sem um desempenho de relevo nas vertentes térmica ou acústica. A utilização de unidades para alvenarias contendo resíduos industriais, com desempenhos físicos otimizados e permitindo ainda o aproveitamento de uma elevada capacidade resistente, constituem tendências para uma maior sustentabilidade, que se abordam no presente artigo.

ABSTRACT: In Portugal masonry construction has been characterized several years from now by a strange rigidity, almost exclusively by the use of clay bricks and concrete blocks (these with much lesser volume), as partitions only and without relevant thermal or acoustic behavior. The use of masonry units containing industrial wastes with optimized physical performance and with a high compressive strength represent trends for a higher sustainability, which are covered by this manuscript.

1. INTRODUÇÃO

Enquanto que as alvenarias em pedra existem quase desde o início da própria civilização humana, já os primeiros tijolos consistiam apenas em lama seca ao sol e pensa-se que tenham sido usados pela primeira vez em 8.000 A.C na Mesopotâmia, (terra entre rios), uma zona delimitada pelos rios Tigre e Eufrates que se estende do Sudeste da Turquia, e Norte da Síria e do Iraque até ao golfo Pérsico. Já os tijolos cozidos á base de argilas acredita-se que existem desde 3.000 A.C.[1].

Embora a civilização Romana tenha deixado um vasto conjunto de obras onde predomina a alvenaria de pedra, existem ainda assim vários edifícios construídos por estes, com tijolos cozidos, como por exemplo a livraria de Celso em Efeso construída em 117 D.C.

A partir do Séc. X, a construção em alvenaria de tijolo difundiu-se um pouco por todo o Planeta, sendo inúmeros os exemplos que o comprovam.

Em Portugal só a partir do Século XX, é que tem início um processo de construção com alvenarias de tijolo cozido, em substituição da até então predominante construção em alvenaria em pedra (Figura 1).

Neste país a construção de alvenarias em edifícios, tem-se pautado de há vários anos a esta parte, por uma rigidez incompreensível, pelo que não espanta por isso, que a caracterização feita há já alguns anos por Sousa [2] se mantenha actual, ou seja, a construção em Portugal está actualmente, como estava então, subordinada ao primado das estruturas em betão armado, em que as alvenarias têm somente um papel menor como função divisória, situação muito diferente daquilo que sucede nos outros países.

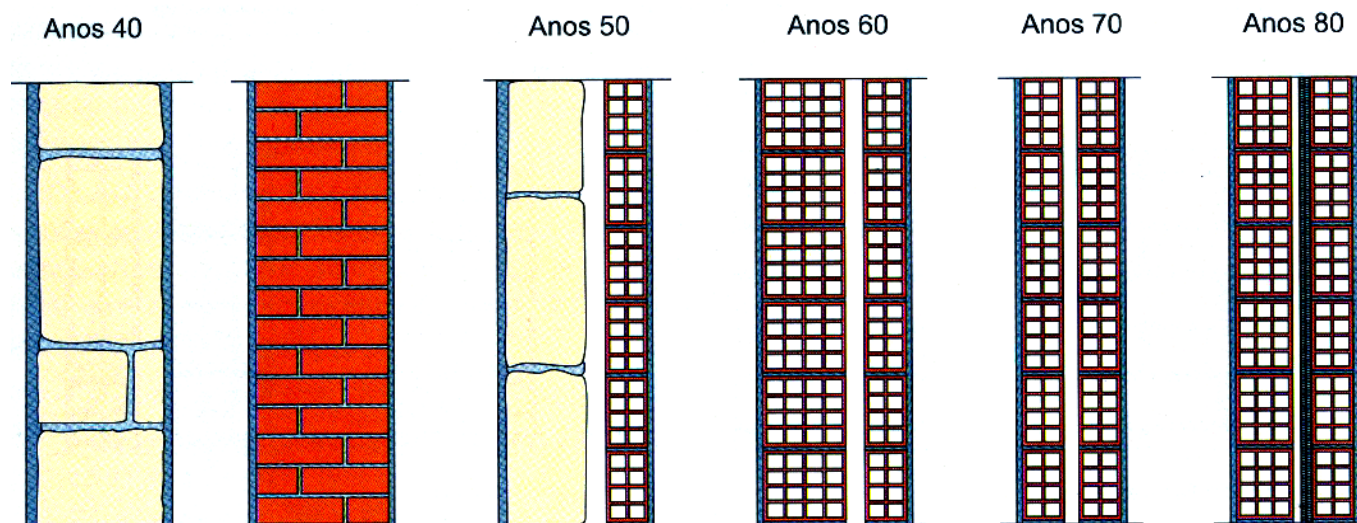


Figura 1 – Evolução das paredes de alvenaria em Portugal

Também na mesma altura, Dias [3], referia não ser facilmente compreensível que estando demonstrada a competitividade económica da utilização de alvenarias de tijolo, com capacidade resistente em edifícios de 2 e 3 pisos e estando publicada informação técnica suficiente, por via dos Eurocódigos 6 e 8, que as potencialidades das alvenarias de tijolo continuassem desaproveitadas.

Mais recentemente, Lourenço [4], descreve alguns casos relativos à utilização de alvenaria de tijolo com funções resistentes, mas o próprio admite que são casos isolados. Este autor sugere que uma explicação possível para a quase total ausência de construção em alvenaria resistente no nosso país, poderá estar relacionada com a falta de formação dos Técnicos, “a comunidade projectista, em geral, não esteja suficientemente capacitada para a elaboração de projectos de alvenaria estrutural, uma vez que esta temática não é habitualmente leccionada nas formações de 5 anos de Engenharia Civil”.

2. DESEMPENHO AMBIENTAL DAS INDUSTRIAS DE PRODUÇÃO DE MATERIAIS PARA ALVENARIAS

Relativamente à produção de blocos de betão, os impactos ambientais desta indústria, são menores do que os da indústria da produção de tijolos cerâmicos, sendo na sua maioria devidos à produção de cimento Portland. Quanto à indústria

de produção de tijolos cerâmicos, que em Portugal beneficia de uma situação geológica favorável do ponto de vista da disponibilidade de argilas, esta tem uma produção que oscila entre 4 a 5 milhões de ton./ano e encontra-se distribuída um pouco por todo o país, sendo evidente um aumento do volume de produção no Litoral. Relativamente aos impactos ambientais provocados pela mesma, podem os mesmos ser resumidos da seguinte forma [5]:

- Consumo de recursos não renováveis
- Consumo de energia
- Consumo de água
- Emissões de gases poluentes
- Produção de resíduos

Os impactos ambientais do consumo de recursos não renováveis necessários a esta indústria, não acontece tanto pelas disponibilidades de argilas, que são bastante vastas, quer a nível local, quer mesmo a nível mundial, mas antes pela redução da área de solo disponível para efeitos da preservação da biodiversidade.

Muito embora o actual quadro legal obrigue à existência de um Plano Ambiental de Recuperação Paisagística para pedreiras e outras explorações mineiras, nos termos do Decreto Lei N°270/2001 de 6 de Outubro, é evidente que em muitos casos será praticamente impossível restaurar o delicado equilíbrio ecológico existente, antes da abertura da exploração mineira.

A necessidade de cozedura dos tijolos cerâmicos a elevadas temperaturas, leva a que esta seja uma indústria de elevados consumos de energia.

Algumas estatísticas apontam para o facto do fabrico de tijolos cerâmicos implicar um consumo unitário de 45kg/ep/ton, sendo que a nível global se estime em aprox. 2 GJ/ano as necessidades energéticas da indústria de produção de tijolos cerâmicos. As fontes de energia utilizada são várias abrangendo fuel, gás natural e gás propano.

A utilização de equipamentos mais eficientes, o uso de biomassas ou a utilização de aditivos na composição dos tijolos, que actuem como fundentes, pode ainda assim contribuir para a minimização do consumo de combustíveis fósseis.

Esta indústria implica o consumo de água, em volumes que no entanto são bastante menores que os necessários a outras industria, não sendo esta uma variável ambiental decisiva,.

Quanto às emissões poluentes provocadas pela indústria da cerâmica estrutural, são constituídas por partículas, dióxido de enxofre (SO₂), óxido de azoto (NOx), monóxido de carbono (CO) e fluoreto de hidrogénio (HF) e dióxido de carbono. Relativamente a este último estima-se que a sua produção em Portugal ronde aprox. 400.000 ton/ano.

Já produção de resíduos desta indústria é composta na sua maioria por cacos crus e cozidos e dadas as suas características estes são na sua maioria, reaproveitados e incorporados novamente no processo produtivo.

3. TIJOLOS CERÂMICOS COM INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS

A produção de tijolos cerâmicos, com incorporação de resíduos de outras indústrias, constitui uma boa forma da indústria cerâmica contribuir para uma construção mais sustentável. Por um lado porque há redução da extracção de argilas e por outro porque se evita a deposição em aterro dos referidos resíduos.

Lingling et al. [6] estudaram a possibilidade de substituição de elevadas quantidades de argilas por cinzas volantes. Embora os tijolos com incorporação de cinzas necessitem de ser cozidos a aprox. 1050 °C, o que representa um acréscimo de 50 a 100 °C, comparativamente aos tijolos sem cinzas volantes, apresentam elevada resistência mecânica, baixa absorção de água e boa resistência ao gelo-degelo.

Além disso a utilização de elevadas percentagens de cinzas traduz-se numa redução da densidade dos tijolos cerâmicos (Tabela 1).

Tabela 1 - Propriedades de tijolos com diferentes volumes de cinzas [6]

Razão cinzas: argilas (volume)	Temperatura de cozedura (°C)	Porosidad e aparente (%)	Massa volúmica (kg/m ³)
50:50	1000	35,82	1610
	1050	30,37	1720
60:40	1000	39,83	1480
	1050	36,65	1550
70:30	1000	40,62	1440
	1050	39,76	1440
80:20	1000	42,12	1350
	1050	39,80	1430

Os mesmos autores referem que a utilização de elevados volumes de cinzas reduz a plasticidade da mistura (Figura 2), sendo que misturas com índices de plasticidade abaixo de 6 dificultam o processo de extrusão.

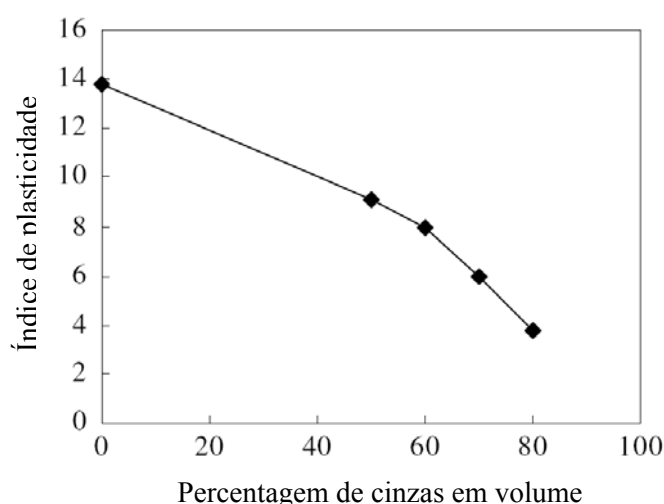


Figura 2 - Índice de plasticidade de mistura argila-cinzas volantes [6]

Outros autores [7] estudaram o desempenho de tijolos contendo cinzas volantes, comprovando que a sua incorporação contribui para diminuir a densidade da matriz. Os mesmos referem também que a utilização de uma percentagem de cinzas conduz à alteração da cor dos tijolos e que este facto pode obstar à sua utilização em determinadas aplicações de face à vista, onde os tijolos sejam provenientes de vários fabricantes.

Saboya et al. [8], analisaram a substituição de argila por um sub-produto da indústria de transformação de mármore, tendo obtido tijolos com elevadas resistências à compressão. Estes autores concluem no entanto, que a utilização de

uma percentagem de substituição de 15% e o uso de uma temperatura de cozedura de 850 °C é a mais aconselhável, devido à elevada absorção de água da mistura com 20% de substituição de argila pelo sub-produto de mármore.

El-Mahllawy et al. [9], analisou a viabilidade da utilização de alguns resíduos minerais (pó de granito e de caulino), conjuntamente com escórias de alto forno, no fabrico de tijolos cerâmicos com elevada resistência aos ácidos, concluindo pela eficácia de uma composição com 50% de pó de caulino, 20% de pó de granito e 30% de escórias de alto forno.

Ajam et al. [10] analisaram o desempenho de tijolos cerâmicos com substituição de argilas fosfogesso, constatando que a adição de fosfogesso não reduz a plasticidade da mistura e que a utilização de elevados volumes de fosfogesso permite a obtenção de um produto com suficiente resistência mecânica (Figura 3).

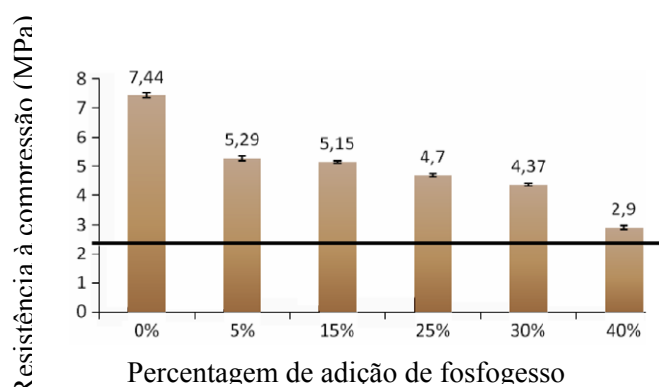


Figura 3 - Resistência mecânica para tijolos com diferentes adições de fosfogesso [10]

Os mesmos autores observam ainda que os tijolos à base de fosfogesso apresentam valores de absorção de água inferiores aos limites regulamentares e também que a utilização de percentagens de fosfogesso de 5 e 10% se traduzem numa redução da absorção de água, comparativamente aos tijolos sem fosfogesso. No entanto a retracção dos tijolos contendo 40% de fosfogesso é superior ao limite regulamentar, pelo que a percentagem de 30% surge como aquela que consegue um desempenho aceitável para as várias exigências físicas e mecânicas. Já os resultados dos ensaios de lexiviação permitem confirmar que os tijolos contendo fosfogesso podem ser considerados não perigosos.

Monteiro & Vieira [11] referem que a produção de tijolos cerâmicos pode contribuir para resolver o problema da deposição de resíduos provenientes

do processamento de petróleo, evitando assim a sua deposição actual com recurso a encapsulamento por bentonite. Os resíduos referidos contem água (12,7%), uma parte substancial de matéria orgânica (hidrocarbonetos – 33,1%) e a alguns metais pesados. Os resultados obtidos mostram que a utilização de resíduos de petróleo até 30% não alteram a densidade, a absorção de água e a retracção linear dos tijolos cerâmicos. Já a resistência à flexão começa por apresentar um ligeiro aumento, diminuindo com o aumento da percentagem destes resíduos

Monteiro et al. [12], analisaram o mesmo problema, mas recorrendo à produção de tijolos em contexto industrial, por oposição aos estudos de laboratório com pequenos provetes cuja reprodutibilidade é limitada. Estes autores, confirmam a possibilidade de produção de tijolos cerâmicos com resíduos de petróleo, mas aconselham a que se utilize uma percentagem de apenas 5%. Os mesmos referem que os ensaios de lexiviação mostram valores que respeitam normas Brasileiras, mas adiantam contudo para o facto do processo de cozedura gerar quantidade substanciais de gases poluentes.

Pinheiro & Holanda [13] confirmam o facto da incorporação de resíduos de petróleo até 30%, não comprometer as características físicas e mecânicas dos tijolos cerâmicos, omitem contudo qualquer observação relativa à emissão de gases durante o processo de cozedura dos tijolos, não deixando no entanto de salientar que diversos autores utilizaram diferentes tipos de resíduos de petróleo.

Mekki et al. [14] estudaram a possibilidade de incorporação de resíduos da indústria de produção de azeite em tijolos cerâmicos. Estes resíduos são usualmente designados por “águas ruças” e tem um teor orgânico muito elevado, especialmente polifenóis, que são compostos tóxicos e que por isso representam um problema ambiental. Estes autores comprovaram que a produção de tijolos cerâmicos, a partir da cozedura da mistura de argilas com “águas ruças”, permite um produto final com características mecânicas idênticas às de tijolos sem essa adição, embora com um ligeiro aumento da retracção de 10% e da absorção de água de 12%. Os mesmos autores comprovaram ainda que a cozedura dos novos tijolos pode ser feita a 880 °C em vez dos tradicionais 920 °C, o que permite redução do consumo energético.

Resultados idênticos foram obtidos por outros [15], comprovando que o reaproveitamento de

“águas ruças” permite produzir tijolos cerâmicos com características físicas e mecânicas idênticas às dos tijolos correntes, com a vantagem de esta opção permitir poupanças energéticas entre 2,4 a 7,3%.

Em Portugal Cruz [16] analisou o desempenho de blocos cerâmicos contendo resíduos de serradura, de poliestireno e de perlite concluindo pelo seu elevado potencial, no aumento do desempenho tanto térmico como acústico, dos tijolos cerâmicos contendo os referidos aditivos.

Aliás a técnica da redução da densidade de tijolos cerâmicos contendo aditivos orgânicos, aproveita o facto de durante a fase de cozedura a combustão da matéria orgânica presente na mistura levar à formação de micro-poros, tendo também sido objecto de investigação no trabalho de outros autores [17-20].

Mais recentemente Demir [21] estudou a viabilidade da utilização de vários resíduos orgânicos (serradura, resíduos de tabaco, resíduos vegetais), como potenciadores da formação de micro-poros em tijolos cerâmicos. Este autor, refere que a utilização dos referidos resíduos, em substituição de argilas não gera problemas de moldagem até uma percentagem de 10% (em massa). Percentagens superiores necessitam de uma maior quantidade de água, além do que dificultam o processo de extrusão.

Suctu & Akkurt [22] utilizaram resíduos provenientes da indústria de reciclagem do papel, compostos por uma elevada quantidade de matéria orgânica (40% de celulose) e 60% de calcite e outros minerais argilosos, no fabrico de tijolos cerâmicos. Os mesmos referem ter obtido tijolos com uma redução de 50% da sua condutibilidade térmica (de 0.83W/m.K para 0.42W/m.K) mas ainda assim com suficiente resistência mecânica.

Samara et al. [23], estudaram a utilização de resíduos provenientes da dragagem de leitos de rios, que recebem efluentes de indústrias bastante poluentes (carvão, ferro, aço, vidro, química), circunstância que explica o seu elevado teor em substâncias tóxicas. Os resíduos, são previamente tratados pelo processo NOVOSOL®, que utiliza uma fase de calcinação a 650 °C para destruição da matéria orgânica e também ácido fosfórico e cal para gerar compostos de fosfato de cálcio, de baixa solubilidade. Os sedimentos tratados são constituídos por um pó muito fino, sem cheiro e com uma densidade semelhante à de uma argila. Os resíduos fluviais referidos foram utilizados na

substituição de 15% da areia necessária ao fabrico de tijolos em contexto industrial (Figura 4).



Figura 4 - Tijolo cerâmico contendo resíduos de dragagem fluvial [23]

Os resultados obtidos apontam para um aumento de 63% da resistência à compressão, uma redução de 10% na porosidade e 13% na absorção de água. Relativamente aos ensaios de lixiviação, quer utilizando água destilada ou ácido acético, os resultados confirmam que a concentração de metais pesados lixiviados respeita limites regulamentares.

Chiang et al.[24] estudaram o reaproveitamento cinzas de casca de arroz e de lamas provenientes de estações de tratamento de água na produção de tijolos leves. Os resultados obtidos mostram que a obtenção de tijolos com a resistência regulamentar mínima de 10MPa, implica uma temperatura de cozedura de 1100 °C e percentagens de cinzas não superiores a 15%. No que se refere à absorção de água dos tijolos referidos, o aumento da percentagem de cinzas de casca de arroz traduz-se em elevados valores de absorção, que só se tornam aceitáveis com temperaturas de cozedura próximas dos 1100 °C. Estes resultados podem ser explicados pela porosidade dos tijolos cujo comportamento é de alguma forma similar para as diferentes percentagens de cinzas de casca de arroz e para as diferentes temperaturas de cozedura. Os resultados obtidos em termos de microestrutura, confirmam que os tijolos à base de lamas sem cinzas são bastante densos e logo é sem surpresa que tenham baixa absorção de água e elevada resistência à compressão. À medida que se aumenta a percentagem de cinzas é visível que a

microestrutura se apresente menos compacta e mais porosa.

Lin [25] estudou a inertização de resíduos provenientes de ecrãs de LCD (televisões e computadores) em tijolos cerâmicos. Estes resíduos são constituídos na sua maioria por vidro e ainda alguns metais pesados. O comportamento ambiental dos tijolos, foi analisado através de ensaios de lexiviação com a Norma TLCP-EPA, sendo que todas as composições ensaiadas, inclusive aquelas contendo 40% de resíduos, verificavam os limites relativos à concentração de metais dos lexiviados. Relativamente ao desempenho físico e mecânico, os resultados obtidos revelaram que os tijolos com este tipo de resíduos apresentavam menor absorção e ganho na resistência mecânica, sendo que a utilização de 30% de resíduos de ecrãs de LCD, mostrou ser aquela que permitia obter a resistência máxima.

Também Dondi et al. [26] estudaram a possibilidade de inertização deste tipo de resíduos em tijolos cerâmicos, sugerindo no entanto apenas uma percentagem de 2%, já que percentagens superiores, podem implicar não só redução da plasticidade da mistura, mas também reduções de resistência, o que no entanto está dependente quer das características dos resíduos, quer mesmo das argilas utilizadas. Estes autores analisaram o comportamento ambiental dos resíduos através de ensaios de lexiviação de acordo com a norma DIN 38414-S4, observando que a concentração de metais pesados lexiviados não é significativa.

Os mesmos autores referem estimativas, segundo as quais a produção destes resíduos nos países Europeus, se estima em 25.000m³/ano por milhão de habitantes [27].

4. BLOCOS NÃO COZIDOS

A produção de elementos para alvenarias sem utilização da fase de cozimento, pelo recurso a materiais ligantes e subprodutos com características pozolânicas e ou hidráulicas, constitui uma forma de se diminuir o consumo de energia associada ao fabrico dos tijolos cerâmicos. Só no Reino Unido estima-se que as poupanças energéticas associadas à substituição de apenas 1% de tijolo cerâmico por blocos não cozidos, permite poupanças de energia equivalentes às de 20.000 habitações [28].

Kumar [29,30] refere o desenvolvimento de blocos à base de (cinzas+cal+fósforo), com a

obtenção de um produto final com uma resistência à compressão no intervalo 4-12MPa, suficiente para construção de alvenarias e elevada resistência quando expostos em meio ácido agressivos. A mistura reproduz as características de um ligante hidráulico, sendo que a sílica presente nas cinzas volantes reage com o hidróxido de cálcio para gerar silicatos de cálcio hidratado. Por sua vez a alumina, conjuntamente com o hidróxido de cálcio reage com o gesso formando trissulfoaluminato de cálcio hidratado.

Algin & Turgut [31], estudaram a utilização de resíduos de pó de calcário e uma quantidade variável de resíduos de madeira (10,20 e 30%) e, conjuntamente com pequenas quantidades de cimento (aprox. 10% em massa), no fabrico de blocos (sob pressão) para alvenaria. Os resultados obtidos em termos de resistência à compressão, mostram que a utilização de uma percentagem de 30% de resíduos de madeira, é responsável por uma redução bastante significativa da resistência, mas que permite ainda assim respeitar requisitos mínimos regulamentares para materiais com aplicações estruturais, conforme definidos na BS 6073-1: 1981(Precast concrete masonry units).

Os mesmos autores [32] analisaram também a possibilidade de reaproveitamento de resíduos de pó de calcário e uma quantidade variável de resíduos de algodão, com cimento Portland (A/C=0,5), no fabrico de blocos (sob pressão) para alvenarias, obtendo um material leve, económico, resistente e que pode facilmente ser cortado com uma serra manual (Figura 5).

Turgut [33] estudou o desempenho de blocos para alvenaria à base de resíduos de pó de calcário e com uma quantidade variável de resíduos de vidro em pó (10,20 e 30%), utilizando cimento Portland (A/C=0,3) e uma determinada pressão de compactação. Os resultados mostram que à medida que se aumenta o volume de vidro em pó, a resistência à compressão sobe ligeiramente de 27,5 para 30,1 MPa, já a resistência à flexão sobe de 4,15 para 7,76MPa. Sendo que o módulo de elasticidade sobe de 12 para 19GPa.

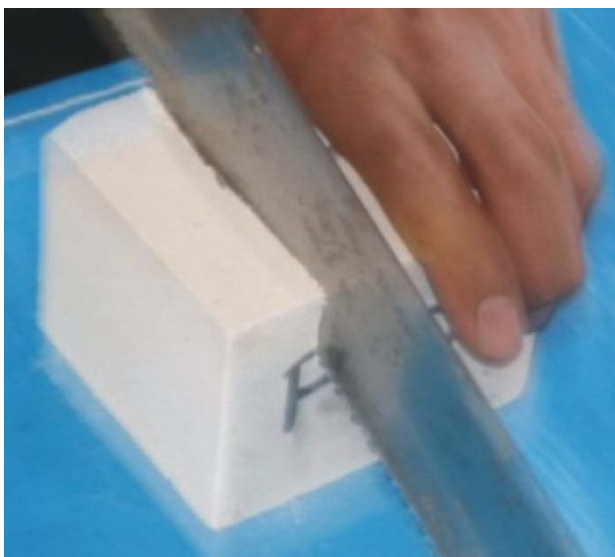


Figura 5 - Corte com serra manual de bloco à base de algodão e pó de calcário [32]

Curiosamente a absorção de água mantém-se praticamente inalterada, aprox.12%. Os resultados mostram ainda que o aumento da adição de resíduos de vidro leva a um aumento considerável da resistência ao ensaio gelo-degelo.

Chindapasirt & Pimraksa [34] estudaram o fabrico de blocos à base de cal e cinzas volantes (10%+90%) com recurso a um processo de auto-clave (130 °C e 0,14MPa) durante 4 horas. Estes autores utilizaram cinzas volantes granuladas, obtidas pela indução da formação de um filme de água em torno das mesmas, tendo observado que o processo de granulação, contribui para um aumento substancial da reactividade pozolânica, já que contribui para o aumento do contacto interpartículas. Os mesmos referem resistências à compressão entre 47-62MPa e valores de absorção de água entre 16-19%. Os mesmos autores [35] mostraram que utilizando as mesmas condições de auto-clave, em tijolos com uma composição à base de diatomite, cal e gesso (80+15+5 %), é possível obter blocos com elevada resistência mecânica (14,5MPa) e baixa massa volúmica (880 kg/m³). Já os blocos contendo diatomite, que foi previamente cozida a 500 °C, apresentam um aumento de resistência (17,5MPa) e uma diminuição da sua massa volúmica (730 kg/m³) e baixa condutibilidade térmica.

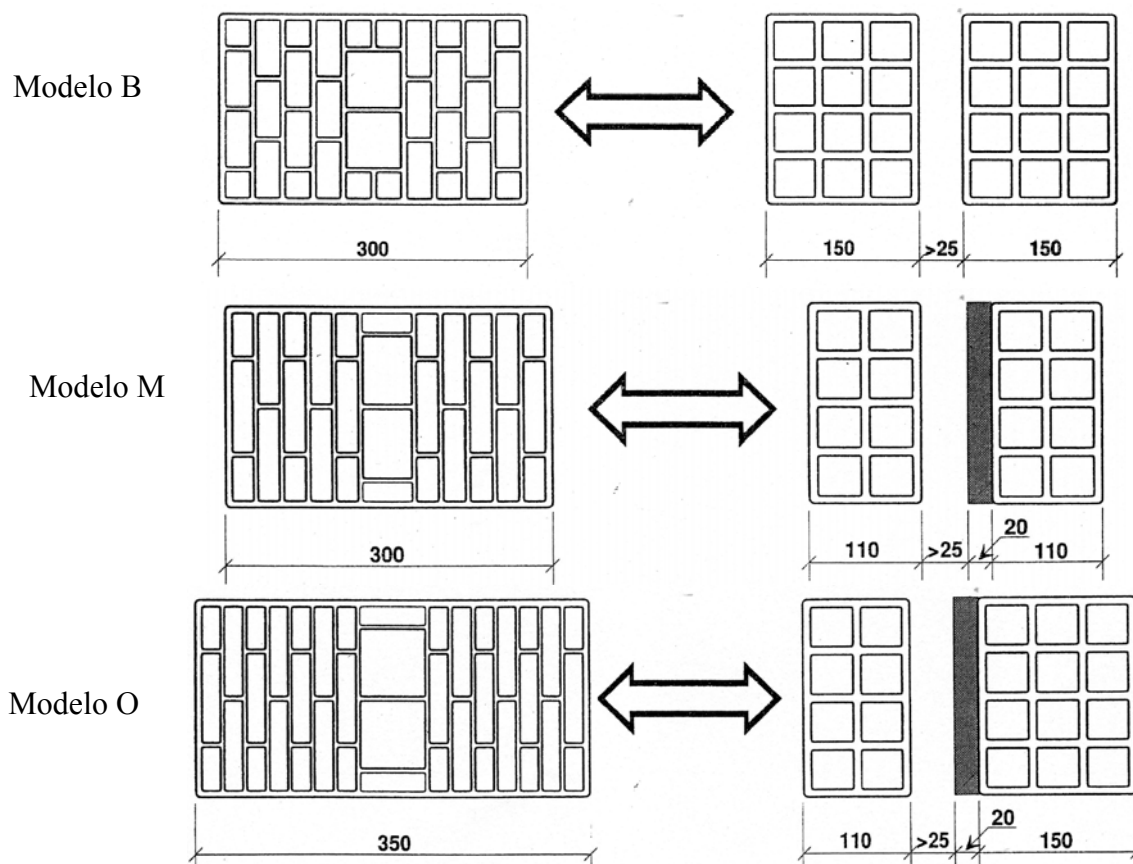


Figura 6 - Comparação entre o desempenho térmico de novos tijolos cerâmicos com o desempenho de paredes tradicionais: a) Modelo B comparado com parede dupla de tijolo de 15; b) Modelo M comparado com parede dupla de tijolo de 11 com placa de cortiça de 20mm na caixa de ar; c) Modelo O comparado com parede dupla de tijolos de 11 e de 15 com placa de cortiça de 20mm na caixa de ar [37]

Yilmaz & Degimerci [36] analisaram o desempenho de argamassas à base de cimento e cinzas volantes, com 3 faixas de dimensões de resíduos de borracha de pneus reciclados. Os mesmos referem que a utilização destes resíduos provoca uma ligeira redução da resistência à compressão comparativamente à argamassa de referência (7,11MPa aos 20 dias), sendo que a mesma não está dependente do volume de resíduos (20 ou 30%), isto se a dimensão destes estiver entre 0,5 e 1mm. Referem ainda que as resistências obtidas respeitam os limites definidos na EN 771-1:2003, para blocos cerâmicos destinados a alvenarias.

5. UNIDADES COM NOVOS FORMATOS

Dias [37] e Dias et al. [38] estudaram a concepção de novas geometrias e formatos de tijolos de furação horizontal, capazes de permitirem a execução de panos de alvenaria simples, com desempenho equivalente ao das paredes duplas (Figura 6 e Tabela 2).

Tabela 2 - Características térmicas de alguns dos novos modelos de tijolos cerâmicos e de paredes com eles construídas (Dias et al., 1993) [37]

Modelo de tijolo ou parede	Condutância térmica dos tijolos ($W/m^2\text{°C}$)	Coefficiente de transmissão térmica da parede ($W/m^2\text{°C}$)
B	1,0	1,0
M	0,85	0,90
O	0,7	0,75

Contudo e atendendo a que passadas que estão quase duas décadas, se continua a assistir a um predomínio da execução de alvenarias exteriores em pano duplo com tijolos de formatos tradicionais, isso significa que as vantagens dos novos formatos não foram suficientes para vencer algum do conservadorismo dos agentes que actuam no mercado da construção.

Sousa [39] estudou a optimização térmica e mecânica de blocos de betão de argila expandida com $50 \times 20 \times 25 \text{ cm}^3$, por alteração da sua geometria. Este autor analisou o desempenho de alvenarias executadas com o referido bloco tendo obtido um coeficiente de transmissão térmica de aprox. $1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{°C})$, o que correspondia a uma

redução de aprox. 30% relativamente aos blocos de betão leve disponíveis comercialmente à data.

Dias et al. [40] apresentam resultados relativos ao projecto cBloco, no qual se pretendeu desenvolver um novo bloco cerâmico, conciliando as potencialidades mecânicas dos tijolos de furação vertical em alvenaria confinada, com a optimização do desempenho térmico por via da utilização de novas geometrias, quer também pela incorporação de resíduos provenientes da indústria da madeira e papel, como indutores de porosidade (Figura 7).

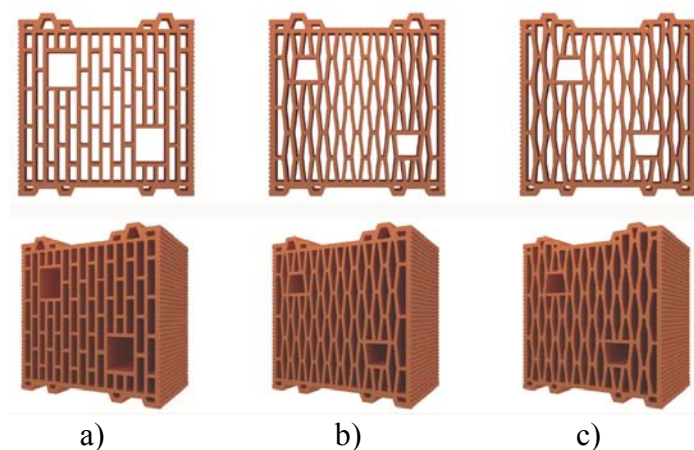


Figura 7 - Tijolo cBloco $30 \times 30 \times 19$: a) Rectângulos; b) Losangos; c) Bago de arroz [40]

Os novos tijolos apresentam elevada resistência mecânica, e elevado desempenho acústico e térmico (Tabela 3).

Tabela 3 - Algumas características do tijolo cBloco [40]

Características do material cerâmico	Valor
Dimensões (mm)	$300 \times 300 \times 200$
Resistência mecânica (MPa)	13
Furação (%)	55
Massa (kg)	14
Massa volúmica real (kg/m^3)	1850
Massa volúmica aparente (kg/m^3)	750
Cerâmica λ (W/mK)	0,50
U elemento (W/m^2K)	0,60
Resistência acústica R_w (dB)	44

6. CONCLUSÕES

A produção e utilização de unidades para alvenarias (tijolos cerâmicos ou blocos de betão) como tradicionalmente a conhecemos, de elementos simples sem um desempenho de relevo nas vertentes térmicas ou acústicas, representa um resquício de um passado caracterizado por baixa tecnologia e que muito dificilmente se poderá enquadrar num contexto de materiais mais sustentáveis.

As melhores soluções disponíveis comercialmente, quer para tijolos cerâmicos quer para blocos de betão leve, permitem a execução de paredes exteriores em pano único, com elevados desempenhos térmicos (U inferior a $0,6 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) e também acústicos (R_w de aprox. 50 db) de alvenaria resistente, pelo que a competitividade entre ambos se fará no futuro em termos do impacto ambiental de cada uma das soluções.

No entanto e tendo em conta a sua baixa energia incorporada, é expectável que os blocos de betão à base de ligantes hidráulicos venham no futuro a conquistar uma maior quota de mercado.

O futuro passará assim pela utilização de unidades de alvenaria capazes de cumprir simultaneamente vários requisitos, e que possam ainda incorporar resíduos de outras indústrias.

REFERÊNCIAS

1. Lynch, G. - *Brickwork: History, Technology and Practice*. Donhead, Londres, 1994.
2. Sousa, H. - *Alvenarias em Portugal situação actual e perspectivas futuras*. Seminário Paredes de Alvenaria, Ed. P.B. Lourenço & H.Sousa, Porto, p.17-40, 2002.
3. Dias, A. - *Construção em tijolo cerâmico: das exigências normativas do produto à prática de aplicação*. Seminário Paredes de Alvenaria, Ed. P.B. Lourenço & H.Sousa, Porto, p.41-64, 2002.
4. Lourenço, P.B. - *Possibilidades actuais na utilização da alvenaria estrutural*. Seminário Paredes de Alvenaria – Inovação e Possibilidades Actuais. Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, p.129-144, 2007.
5. Fernandes, M.; SOUSA, A; DIAS, A. - *Impactes Ambientais e comercio de emissões. Industria cerâmica: Um caso de estudo*. Associação Portuguesa da Industria Cerâmica APICER. ISBN 972-99478-0-5, 2004.
6. Lingling, X.; Wei, G.; Tao, W.; Nanru, Y. - *Study on fired bricks with replacing clay by fly ash in high volume ratio*. Construction and Building Materials Vol. 19, p.243-247, 2005.
7. Cultrone, G.; Sebastián, E. - *Fly ash addition in clayey materials to improve the quality of solid bricks*. Construction and Building Materials, Vol.23, p.1178-1184, 2009.
8. Saboya, F.; Xavier, G.; Alexandre, J. - *The use of the powder marble by-product to enhance the properties of brick ceramic*. Construction and Building Materials Vol. 21, p.1950-1960, 2007.
9. El-Mahllawy, M. - *Characteristics of acid resisting bricks made from quarry residues and waste steel slag*. Construction and Building Materials, Vol.22, p.1887-1896, 2008.
10. Ajam, L.; Ouezdou, M.; Felfoul, H.; Mensi, R. - *Characterization of tunisian phosphogypsum and its valorization in clay bricks*. Construction and Building Materials Vol. 23, p. 3240-3247, 2009.
11. Monteiro, S.; Vieira, C. - *Effect of oily waste addition to clay ceramic*. Ceramics International, Vol.31, p.353-358, 2005.
12. Monteiro, S.; Vieira, C.; Ribeiro, M.; Silva, F. - *Red ceramic industrial products incorporated with oily wastes*. Construction and Building Materials Vol. 21, p.2007-2011, 2007.
13. Pinheiro, B.; Holanda, J. - *Processing of red ceramics incorporated with encapsulated petroleum waste*. Journal of Materials Processing Technology Vol.209, p.5606-5610, 2009.
14. Mekki, H.; Anderson, M.; Benzina, M.; Ammar, E. - *Valorization of olive mill wastewater by its incorporation in building bricks*. Journal of Hazardous Materials Vol. 158, p.308-315, 2008.
15. Casa, J. De La; Lorite, M.; Jiménez, J.; Castro, E. - *Valorisation of waste water from two-phase olive oil extraction in fired clay brick production*. Journal of Hazardous Materials Vol. 169, pp.271-278, 2009.
16. Cruz, J. - *Estudo de blocos cerâmicos aditivados para melhoria do desempenho térmico*. Tese de Mestrado, Protocolo LNEC-IST, 2000.
17. Kohler, R. - *Use of Leather Residues as pore-forming agents for masonry bricks*.

- Ziegelindustrie International Vol. 58, p.30-38, 2002.
18. Demir, I.; Baspinar, M.; Orhan, M. - *Utilization of kraft pulp production residues in clay brick production*. Building and Environment Vol.40, p.1533-1537, 2005.
 19. Demir, I. - *An investigation on the production of construction brick with processed waste tea*. Building and Environment, Vol. 41, p. 1274-1278, 2006.
 20. Ducman, V.; Kopar, T. - *The influence of different waste additions to clay-product mixtures*. Materials and Technology Vol.41, p.289-293, 2007.
 21. Demir, I. - *Effect of organic residues addition on the technological properties of clay bricks*. Waste Management, Vol.28, p.622-627, 2008.
 22. Sutcu, M.; Akkurt - *The use of recycled paper processing residues in making porous brick with reduced thermal conductivity*. Ceramics International Vol. 35, p.2625-2631, 2009.
 23. Samara, M.; Lafhaj, Z.; Chapiseau, C. - *Valorization of stabilized river sediments in fired clay bricks: Factory scale experiment*. Journal of Hazardous Materials, Vol.163,p. 701-710, 2009.
 24. Chiang, K.; Chou, P.; Hua, C.; Chien, K.; Cheeseman, C. - *Lightweight Bricks Manufactured from Water Treatment Sludge and Rice Husks*. Journal of Hazardous Materials Vol. 171, p.76-82, 2009.
 25. Lin, K. - *The effect of heating temperature of thin film transistor-liquid crystal display (TFT-LCD) optical waste glass as a partial substitute partial for clay in eco-brick*. Journal of Cleaner Production, Vol.15, p.1755-1759, 2007.
 26. Dondi, M.; Guarini, G.; Raimondo, M.; Zanelli, C. - *Recycling pc and tv waste glass in clay bricks and roof tiles*. Waste Management Vol. 29, p.1945-1951, 2009.
 27. Hermans, J.; Peelen, J.; Bei, J. - *Recycling of the TV glass: profit or doom?* American Ceramic Society Bulletin, Vol.80, p.51-56, 2001.
 28. BGS - *Brick Clay* - Mineral Planning Factsheet. British Geological Survey, Office of the Deputy Prime Minister, UK, 12 pp., 2005.
 29. Kumar, S. - *Fly-ash-lime phosphogypsum cementitious binder: a new trend in bricks*. Materials and Structures Vol. 33, p.59-64, 2000.
 30. Kumar, S. - *A perspective study on fly ash-lime-gypsum bricks and hollow blocks for low cost housing development*. Construction and Building Materials Vol. 16, p.519-525, 2002.
 31. Algin, H.; Turgut, P. - *Cotton and limestone powder wastes as brick material*. Construction and Building Materials, Vol.22, p.1074-1080, 2008.
 32. Turgut, P.; Algin, H. - *Limestone dust and wood sawdust as brick material*. Construction and Building Materials, Vol.42, p.3399-3403, 2007.
 33. TURGUT, P. (2008) *Limestone dust and glass powder wastes as new brick material*. Materials and Structures Vol. 41, p.805-813, 2008.
 34. Chindaprasirt, P.; Pimraksa, K. - *A study of fly ash-lime granule unfired brick*. Powder Technology Vol. 182, p.33-41, 2008.
 35. Pimraksa, K.; Chindaprasirt, P. - *Lightweight bricks made of diatomaceous earth, lime and gypsum*. Ceramics International Vol. 35, p.471-478, 2009.
 36. Yilmaz, A.; Degirmenci, N. - *Possibility of using waste tire rubber and fly ash with Portland cement as construction materials*. Waste Management, Vol.29, p.1541-1546, 2009.
 37. Dias, A. - *Da caracterização do comportamento mecânico e térmico do tijolo ao redesenho da sua geometria*. Tese de Mestrado, FCTUC, Coimbra, 1993.
 38. Dias, A.; Sousa, H.; Lucas, J. - *Estudo do redesenho do tijolo*. Associação Portuguesa de Industriais de Cerâmica de Construção-APICC, 1993.
 39. Sousa, H. - *Melhoria do comportamento térmico e mecânico das alvenarias por actuação na geometria dos elementos. Aplicação a blocos de betão de argila expandida*. Tese de Doutoramento, Porto, FEUP, 1996.
 40. Dias, A.; Sousa, H.; Lourenço, P.; Ferraz, E.; Sousa, L.; Sousa, R.; Vasconcelos, G.; Medeiros, P. - *Desenvolvimento de um bloco cerâmico para a construção sustentável*. Congresso de Inovação na Construção Sustentável CINCOS'08. ISBN 978-989-95978-0-8, Centro Habitat, Cúria, Portugal, p.165-172, 2008.