



BLOCOS TÉRMICOS COM BOA INÉRCIA TÉRMICA

Projeto, desenvolvimento e ensaios do produto

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre
em Engenharia Civil – Perfil de Edificações

DINO MANUEL DINIS SZAPLONCZAY RODRIGUES FERREIRA

(Licenciado em Engenharia Civil)

Orientadora:

Prof. Doutora Maria Idália da Silva Gomes, Engenheira Civil, Prof.^a Adjunta

Co-orientadora:

Prof. Licenciada Maria Alexandra Cardoso da Costa, Engenheira Civil, Prof.^a Adjunta

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Pedro Miguel Soares Raposeiro da Silva

Vogais: Prof. Mestre João Manuel Barrento da Costa

Prof. Doutora Maria Idália da Silva Gomes

Dezembro de 2016

AGRADECIMENTOS

Os meus agradecimentos estendem-se de uma forma muito particular à minha família, mais precisamente à minha mulher, aos meus filhos e aos meus pais, por todo o apoio e incentivo na execução deste trabalho. São igualmente extensíveis à minha orientadora Dra. Maria Idália da Silva Gomes, que se esforçou imenso para que a minha tese chegasse ao fim, com palavras de encorajamento, compreensão e acompanhamento permanente.

Palavras de agradecimento igualmente para a minha co-orientadora Eng.^a Maria Alexandra Cardoso da Costa pela sua transmissão de conhecimentos, orientação e rigor. Ao Dr. Pedro Miguel Soares Raposeiro da Silva pelas ideias que foi prestando no desenvolvimento dos blocos. Para o Sr. Paulo José Correia D'Albergaria Martins, técnico do laboratório de Engenharia Civil do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, cuja assistência foi fundamental para a elaboração dos blocos deste trabalho e respetivos ensaios. Para o Sr. Eng.º Victor Silva, da Universidade Nova, na prestação que deu para a execução de ensaios de térmica e por fim, mas não menos importante, para todos os meus colegas de curso, muito particularmente ao Sr. Eng.º Daniel Rodrigues Bravo que acompanhou de perto o desenvolvimento deste trabalho e cuja disponibilidade para ajudar esteve sempre presente.

RESUMO

A evolução dos processos construtivos é uma consequência natural do avanço das civilizações. O desafio permanente ao qual o Homem se impõe a si próprio, fruto da sua insatisfação constante, torna a permanente evolução dos materiais o desfecho evidente desta sua característica própria. Curiosamente, a evolução dos materiais constituintes das alvenarias, exteriores ou interiores, não tem sofrido grandes alterações, quanto à forma e natureza monolítica da sua constituição, sabendo-se que o recurso ao tijolo ou ao bloco, independentemente da sua natureza constituinte, reporta a construções milenares.

A forma paralelepípedica dos elementos também não sofreu grandes alterações ao longo do tempo, senão mesmo nenhuma. Ainda que em Portugal, como noutros países, até ao início do séc. XX, a construção de edifícios recorresse aos materiais mais abundantes de cada região, a partir do momento em que as estruturas reticuladas de betão se assumem como solução primeira do edificado, a utilização generalizada do tijolo ou do bloco instalou-se definitivamente, quanto mais não seja, como elemento de eleição na execução de paredes.

Noutra perspetiva, as exigências de conforto térmico e de eficiência energética a que os edifícios estão obrigados hoje em dia, levam à aplicação de materiais com elevada resistência térmica, nos panos de alvenaria em contacto com as envolventes exteriores e com espaços não aquecidos. As soluções que atualmente se encontram com forte implementação no mercado da construção civil em Portugal são os sistemas de isolamento térmico pelo exterior, bem como outras soluções como paredes com caixa de ar preenchida com material isolante térmico ou até mesmo soluções de isolamento térmico pela face interior das paredes exteriores. Por fim, olhando para as soluções arquitetónicas, estas recorrem cada vez mais ao uso do vidro de grandes dimensões nos alçados das habitações e, ao mesmo tempo, na utilização de materiais de construção com pesos próprios cada vez mais aligeirados, logo, menos densos. Ainda que, em termos resistentes, contribua para estruturas menos solicitadas a forças atuantes, penaliza as inércias térmicas dos edifícios, no computo geral.

O propósito deste trabalho é o de otimizar o processo construtivo e o comportamento do edifício em fase de utilização, conjugando o material que formaliza a envolvente das paredes exteriores e o isolamento térmico num só produto. Este novo produto, que resulta da combinação de produtos distintos já existentes no mercado, e que se designou por bloco bicomponente, pretende reduzir os tempos de execução da obra, eliminando o trabalho posterior de execução individual do isolamento térmico, e ao mesmo tempo garantir resistência mecânica à parede e melhor inércia térmica ao edifício, considerada uma vantagem construtiva para o nosso clima mediterrânico.

Palavras-chave: Blocos térmicos com boa inércia térmica, transmissão térmica, tijolos térmicos, inércia térmica, blocos de terra.

ABSTRACT

The evolution of the building process is a natural consequence in the development of all civilizations. The constant challenge that Man imposes to himself, as a consequence of his continuous dissatisfaction, turns out so that the evolution of the materials become a dynamic consequence of such a characteristic. What becomes curious is that the evolution in what concerns the bricklaying or blocks materials, either exterior or interior, has not suffered considerable changes, regarding their shape or monolithic structure leading us to the conclusion that it has, long ago, been found the best solutions in what concerns to build bricklaying cloths. The use of brick, as a resource, apart from its constant nature, reports to milinary constructions "

The parallelepiped shape has not suffered great, or any changes throughout the times. In Portugal and until the beginning of the XXth century, the building construction was based to the materials that were most abundant in each region, as from the moment that the portico concrete structures assume to be the first solution of the building, it has definitely been taken for granted the use of brick.

On the other hand, the demand of thermal confort and energetic efficiency in wich the buildings are imposed, leads to the use of materials of low thermal condutivity, in the bricklaying cloths that are in contact with the exterior. The solutions that are now found and strongly implemented in what concerns the civil construction market, are the exterior thermic isolation compound system. Even so, considering several reasons, those solutions are also applied from the inside. At last, looking thru the architectonic solutions, the reality shows that big glass surfaces are increasing, hand to hand with lighweight materials, good for low mechanical efforts, but not so good for the thermic passivity.

The reason of this work is to eliminate the subsequent timing of the thermic isolation work and, at the same time, guarantee more mechanic resistance to the wall as well as better thermal stability to the building. Its ashievement is made by gathering both products into only one.

This new product, that results from the combination of different products already placed on the market, that could be called to be a bicomponent brick, has the prupose to reduce the work execution time, eliminating the subsequent working thermal isolation, while guaranteeing more mechanical strength to the wall and better thermal passivity of the building, considered a constructive advantage to our Mediterranean climate.

Keywords: Thermal blocks with good thermal inertia, thermal transfer, thermal bricks, thermal passivity, soil blocks.

ÍNDICE DE TEXTO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Enquadramento geral.....	1
1.2. Objetivos e metodologia.....	3
1.3. Estrutura do trabalho	5
2. CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	7
2.1. Eficiência Energética dos Edifícios - Parâmetros de Influência.....	7
2.1.1. Inércia Térmica	7
2.1.2. Transferência de calor	9
2.1.3. Arquitetura do Edifício - Geometria e orientação do edifício	11
2.1.4. Isolamento térmico.....	12
2.2. Enquadramento histórico.....	15
2.3. Oferta do mercado	17
3. DESENVOLVIMENTO DOS BLOCOS EM ESTUDO	21
3.1. Fabrico dos blocos.....	21
3.1.1. Dimensões	21
3.1.2. Fabrico dos moldes.....	22
3.2. Argamassas.....	26
3.2.1. Terra	30
3.2.2. Areia.....	31
3.2.3. Cimento	31
3.2.4. Cal hidráulica	32
3.2.5. Filler	32
3.2.6. Argamassa de reboco térmico	33
3.2.7. Argila expandida	33
3.2.8. Regranulado de cortiça.....	33
3.3. Execução das argamassas	34
3.4. Resultados escolhidos.....	40

4.	ENSAIOS EXPERIMENTAIS	43
4.1.	Ensaio de resistência à compressão	45
4.2.	Ensaio de resistência à flexão simples.....	48
4.3.	Ensaio de caracterização térmica.....	49
4.4.	Ensaio de determinação da baridade	51
4.5.	Ensaio de taxa inicial de absorção de água.....	52
4.6.	Ensaio de secagem.....	55
5.	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	61
6.	DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	65
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	67

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Nomenclatura de identificação dos blocos.....	30
Quadro 2 - Dosagens para argamassa de areia e cimento Família 1.	35
Quadro 3 - Dosagens para argamassa de areia e cimento Família 2.	35
Quadro 4 - Dosagens para argamassa de areia e cimento Famílias 5 e 6.....	35
Quadro 5 - Quantidade de mistura dos compostos da argamassa de argila expandida das Famílias 2 e 5.....	37
Quadro 6 - Quantidade de mistura dos compostos da argamassa de regranulado de cortiça das Famílias 3 e 4.....	39
Quadro 7 - Massa e datas de fabrico dos blocos.	39
Quadro 8 - Normas de ensaios em elementos cerâmicos.	43
Quadro 9 - Classificação dos teores de sais solúveis.	44
Quadro 10 - Resultados do ensaio à compressão.	45
Quadro 11 - Classes de resistência mecânica segundo a NP80.....	47
Quadro 12 - Ensaio de flexão.....	48
Quadro 13 - Valores do coeficiente de condutibilidade térmica λ	50
Quadro 14 - Valores do coeficiente de transmissão térmica U.	51
Quadro 15 - Baridade dos materiais.....	52
Quadro 16 - Valores para determinação do coeficiente de capilaridade.....	54
Quadro 17 - Valores para o coeficiente de capilaridade.....	55
Quadro 18 - Valores obtidos no ensaio de secagem.....	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Isolamento térmico pelo exterior com acabamento cerâmico ou acabamento delgado à cor.....	14
Figura 2 - Ruínas de Buhen (a); Mohenjo-daro (b); Harappa (c).....	15
Figura 3 - Palácio de Khorsabad (a); Palácio de Sargão (b)	16
Figura 4 - Parede de tijolo romano.....	16
Figura 5 - Porta de Holsten, monumento emblemático do gótico de tijolos em Lübeck, Alemanha.	16
Figura 6 - Tijolo ecológico produzido a partir de resíduos de couro	18
Figura 7 - Blocos térmicos de terracota – Itália	18
Figura 8 - Bloco de Terracota Alemanha (a); Blocos térmicos com XPS (b); Bloco térmico com XPS (c).....	18
Figura 9 - Bloco de Espuma (a); Bloco de Espuma (b).....	19
Figura 10 - Blocos 400x400x200(mm) (a); Blocos 400x400x200(mm) (b); Bloco 400x400x190(mm) (c)	19
Figura 11 - Esquema de blocos com encaixe (a); Esquema de blocos com armadura (b)	21
Figura 12 - Dimensões dos blocos grande e pequeno	23
Figura 13 - Esquema de montagem dos blocos.....	23
Figura 14 - Dimensões finais dos moldes	23
Figura 15 - Peças e sequência de montagem do bloco	24
Figura 16 - Armadura C1, simples e com rede de fibra de vidro 10 x10 (mm) incorporada	24
Figura 17 - Suporte para a armadura do bloco (exterior e interior).....	25
Figura 18 - Armadura no interior do molde, devidamente espaçada.	25
Figura 19 - Moldes para manusear o bloco (a); Molde completo (b).....	26
Figura 20 - Família 1 Argamassa de reboco termoisolante/cimento e areia.	27
Figura 21 - Família 2 Argila expandida/cimento e areia.....	28
Figura 22 - Família 3 Bloco de terra/regranulado de cortiça.....	28
Figura 23 - Família 4: Terra com traço de areia/Regranulado de cortiça.....	29
Figura 24 - Família 5 Argila expandida/argamassa de cimento e areia.	29
Figura 25 - Família 6 Argamassa de reboco termoisolante/cimento e areia.	29
Figura 26 - Curva granulométrica das areias.....	31
Figura 27 - Blocos de terra CRK120Tr90_Gd#F3 e CRK120Tr90_Pq#F3.....	36
Figura 28 - Blocos de terra da Família 4 (traço 1:3 e traço 1:2).	36
Figura 29 - Execução da mistura de terra.....	37
Figura 30 - Enchimento dos moldes dos blocos com argamassa de reboco termoisolante.	37

Figura 31 - Enchimento dos moldes dos blocos da Família 5 com argamassa de argila expandida.	38
Figura 32 - Enchimento dos moldes da Família 3.....	39
Figura 33- Bloco 350x210x190 Argamassa termoisolante e argamassa de cimento e areia.....	40
Figura 34-Bloco 350x210x190 argamassa com argila expandida e argamassa de cimento e areia	41
Figura 35-Bloco 350x210x190 de terra e regranulado de cortiça	41
Figura 36 - Ensaio de resistência à compressão.	45
Figura 37 - Valores obtidos no ensaio de resistência à compressão para a Família 5.....	46
Figura 38 - Valores obtidos no ensaio de resistência à compressão para a Família 6.....	46
Figura 39 - Ensaio de flexão aos blocos.....	48
Figura 40 - Rotura por flexão.	49
Figura 41 - Medição com aparelho térmico Isomet 2014.	49
Figura 42 - Determinação do coeficiente de condutibilidade térmica nos dois componentes do bloco.....	50
Figura 43 - Ensaio de absorção de água.....	53
Figura 44 – Curvas de absorção de água por capilaridade.	54
Figura 45 – Secagem dos blocos.....	56
Figura 46 - Curvas de evaporação dos blocos.....	57
Figura 47 - Índice de secagem dos blocos designados.....	58
Figura 48 - Taxa de secagem às 24 horas.....	59
Figura 49 - Barramento delgado armado.....	64
Figura 50 - Blocos agrupados em alvenaria.....	64

ÍNDICE DE EXPRESSÕES NUMÉRICAS

Expressão 1 - Inércia térmica interior	8
Expressão 2 - Transferência de calor	9
Expressão 3 - Expressão fundamental da condução de calor	9
Expressão 4 - Lei de Stefan-Boltzmann	10
Expressão 5 - Baridade.....	52
Expressão 6 - Quantidade de água absorvida.....	53
Expressão 7 - Teor de água (%).	56
Expressão 8 - Índice de secagem.....	58

Siglas:

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios.

SCE - Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior dos Edifícios.

REH - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação.

RECS - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços.

EPS – Poliestireno expandido moldado.

XPS – Poliestireno expandido extrudido.

ICB – Aglomerado de cortiça expandida.

PIR – Placas de Poliisocianurato.

RGR – Regranulado de cortiça expandida.

NUTS - Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos.

Simbologia:

M_{Si} – Massa superficial útil do elemento i .

S_i – Área da superfície interior do elemento i .

A_p – Área útil do pavimento interior.

r_i - Coeficiente de redução para ter em conta a resistência térmica do revestimento.

I_t – Inércia térmica.

C_p – Calor específico.

λ - Coeficiente de condutibilidade térmica.

ρ - Densidade.

P_{rad} - Potência radiativa.

σ - Constante de Stefan-Boltzmann.

CC – Coeficiente de capilaridade.

I_s – Índice de secagem.

w_i – Teor de água.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento geral

O panorama mundial na perspetiva do sector energético está em constante mudança, quer por força da economia, diretamente ligada à procura incessante das atuais fontes de energia como de alternativas viáveis de novas fontes de produção, quer por força das alterações climáticas que obrigam a uma ação imediata e concertada para travar o aumento das emissões de gases com efeito de estufa.

Com base nesta realidade, ficou estabelecida pela Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de Maio de 2010 relativa ao desempenho energético dos edifícios, assente no deliberado pelo Conselho Europeu de Março de 2007, a necessidade de aumentar a eficiência energética na União a fim de alcançar o objetivo de redução de 20 % do consumo de energia até 2020, apelando a uma aplicação rápida e completa das prioridades estabelecidas na Comunicação da Comissão intitulada «Plano de Ação para a Eficiência Energética: Concretizar o Potencial». Este Plano de Ação identificou o potencial significativo de poupança de energia em condições economicamente rentáveis no sector dos edifícios, até se atingirem os chamados edifícios NZEB – *Nearly Zero Energy Buildings*.

Os edifícios representam cerca de 40 % do consumo total de energia na União Europeia. O desempenho energético dos edifícios deverá ser calculado com base numa metodologia que poderá ser diferenciada a nível nacional e regional. Esta metodologia abrange, para além das características térmicas, outros fatores com influência crescente, como as instalações de aquecimento e ar condicionado, a aplicação de energia proveniente de fontes renováveis, os sistemas de aquecimento e arrefecimento passivo, os sombreamentos, a qualidade do ar interior, a luz natural adequada e a conceção dos próprios edifícios (fonte: www.academia.edu)

Segundo a mesma Diretiva, é da exclusiva responsabilidade dos Estados-Membros estabelecer requisitos mínimos para o desempenho energético dos edifícios e dos elementos construtivos. Deverá prever-se a possibilidade de os Estados-Membros procederem periodicamente à revisão dos seus requisitos mínimos de desempenho energético em função do progresso técnico.

Em retrospectiva, para clarificar a resolução do problema da térmica em Portugal, surge em 1990 o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 40/1990, de 6 de fevereiro.

Este regulamento foi redigido para ser o primeiro instrumento legal em Portugal com o intuito de impor requisitos construtivos mínimos ao projeto de novos edifícios por forma a salvaguardar a

satisfação das condições de conforto térmico e ao mesmo tempo garantir o controlo de necessidades excessivas de energia, quer no Inverno, quer no Verão.

O RCCTE visava também garantir a minimização de efeitos patológicos na construção, derivados das condensações superficiais interiores dos elementos da envolvente. Contudo, por ser pouco exigente face às expectativas mais recentes, houve necessidade de se proceder a uma revisão no Regulamento.

A 4 de Abril de 2006 surge um "novo" Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), de acordo com o Decreto-Lei nº 80/2006. Este documento estabelece requisitos de qualidade para os novos edifícios de habitação e de pequenos edifícios de serviços sem sistemas de climatização, nomeadamente ao nível das características da envolvente, limitando as perdas térmicas e controlando os ganhos solares excessivos.

No final de 2013 foi transposta para o direito nacional a diretiva nº 2010/31/EU dando origem ao Decreto-Lei 118/2013 que inclui num único diploma o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS).

Atualmente os valores dos coeficientes de transmissão térmica máximos são mais exigentes, implicando melhores soluções construtivas. A inércia térmica elevada continua a ser uma vantagem no cálculo regulamentar para Portugal.

Este novo regulamento que transita do RCCTE assenta, portanto, no pressuposto de que uma parte significativa dos edifícios virão a ter meios de promoção das condições ambientais nos espaços interiores, quer no Inverno, quer no Verão, e impõe limites aos consumos que decorrerão dos seus potenciais de uso. Neste contexto, são claramente fixadas as condições ambientais de referência para cálculo dos consumos energéticos nominais, quer em termos de temperatura ambiente, quer em termos de ventilação para renovação do ar e garantia de uma qualidade do ar interior aceitável, que se tem vindo a degradar com a maior estanquidade das envolventes e o uso de novos materiais e tecnologias na construção que libertam importantes poluentes. Este regulamento alarga, assim, as suas exigências, ao definir claramente objetivos de provisão de taxas de renovação do ar adequadas que os projetistas deverão obrigatoriamente satisfazer. No contexto internacional, também há um consenso de que é necessário melhorar a qualidade dos edifícios e reduzir os seus consumos de energia e as correspondentes emissões de gases que contribuem para o aquecimento global, ou efeito de estufa. Portugal obrigou-se a satisfazer compromissos neste sentido quando subscreveu o acordo de Quioto, tendo o correspondente esforço de redução das emissões de ser feito por todos os sectores consumidores de energia, nomeadamente, pelo dos edifícios.

Com base nas avaliações referidas no ponto anterior, é objetivo deste trabalho desenvolver um produto para execução de paredes exteriores que vá ao encontro dos requisitos necessários de

conforto térmico, enquadrado nos atuais sistemas construtivos e na cada vez maior consciencialização da indústria da construção civil, dos projetistas e arquitetos relativamente à questão da eficiência energética dos edifícios, de um modo geral, assim como reduzir os tempos de execução das atividades e eliminar desperdícios e consumos, numa perspetiva ambiental e económica.

1.2. Objetivos e metodologia

Para enquadrar este projeto aos nossos dias, é necessário recuar à evolução dos processos construtivos em Portugal a partir do início do séc. XX.

Esta evolução traduziu-se na introdução do betão armado a partir da década de 30 como elemento estrutural, primeiro em lajes de pavimento de zonas específicas das habitações, mais propensas à ocorrência de humidades e mais tarde, a partir sensivelmente de 1960, como elemento integrante de todos os elementos resistentes da estrutura dos edifícios.

A nova metodologia de construção potenciou o aligeiramento das espessuras das paredes exteriores, consequência direta da substituição da matéria-prima utilizada, nomeadamente a introdução do tijolo cerâmico furado em detrimento da pedra natural argamassada, que compunha as paredes resistentes.

A forma de aplicação dos tijolos a $\frac{1}{4}$ de vez, ao alto (ou ao cutelo), abandonando a execução de espessuras de parede com variações dos 0.90 m a 0.50 m, habituais em edifícios gaioleiros e edifícios mistos, torna-se prática corrente. Este método de execução das alvenarias exteriores acaba por ter vantagens mecânicas para as estruturas reticuladas em betão armado, nomeadamente na transmissão de cargas mais leves.

Na sua evolução, é adotado um método de estanquidade à água que passa pela execução de dois paramentos separados por uma caixa-de-ar intermédia, devidamente executada para possibilitar o escoamento das águas da chuva ou de condensação.

Apresenta, igualmente, vantagens económicas que são inerentes aos custos com materiais e enquadra-se nas novas soluções arquitetónicas que surgem associadas à evolução dos materiais empregues e às novas exigências da sociedade.

A redução das espessuras da envolvente exterior dos edifícios e a diminuição de peso dos materiais usados expressa, contudo, uma diminuição da inércia e resistência térmicas das habitações e conseqüentemente um problema de conforto térmico no interior das mesmas.

Como já se mencionou, a inércia térmica de uma parede é um fator bastante valorizado em países com climas temperados mediterrânicos, como é o caso de Portugal, dadas as amplitudes térmicas elevadas existentes entre períodos diurno e noturno, que permitem manter temperaturas de conforto no interior das habitações, através das transferências de calor entre os elementos mássicos e o meio ambiente interior.

Em Portugal, a influência da latitude, do oceano Atlântico, da massa continental da Península Ibérica e da altitude faz com que exista alguma diversidade climática:

- No Norte Litoral e na Região Autónoma dos Açores predomina o clima temperado mediterrânico de influência atlântica, com maior quantidade de precipitação e menor duração da estação seca;
- No Interior, predomina o clima temperado mediterrânico de influência continental, com menor quantidade de precipitação e maior amplitude térmica anual;
- No Sul de Portugal Continental e na Região Autónoma da Madeira, as características do clima temperado mediterrânico são mais acentuadas;
- Nas áreas de montanha mais elevadas, como a Serra da Estrela, a altitude faz com que se registem temperaturas mais baixas e precipitações mais abundantes, por vezes, com queda de neve, no Inverno.

Atualmente, além da diminuição que se verifica na inércia térmica das paredes exteriores, principalmente com a introdução de blocos térmicos, com menor densidade, verifica-se igualmente uma diminuição do real potencial da inércia térmica existente nos elementos construtivos do interior das habitações.

- Lajes de pavimento e tetos - Executadas com materiais maciços e pesados, capazes de interagir lentamente com as temperaturas do meio existente e armazenar o calor produzido ao longo de um dia, quando revestidas com produtos laminados de baixa densidade veem a sua inércia térmica diminuída. Nos tetos, quando encobertas por tetos falsos com caixa-de-ar, à base de materiais leves como o gesso cartonado de pouca espessura, verifica-se o mesmo fenómeno.
- Paredes divisórias - Quando se apresentam com espessuras reduzidas e à base de materiais vazados, idem.
- Envidraçados - O aumento das áreas de envidraçados, com maior evidência na envolvente exterior, é outro fator potenciador da redução da inércia térmica nas habitações dos nossos dias.

Identificado um dos parâmetros que contribui para uma melhoria do desempenho térmico do espaço interior dos edifícios, nomeadamente o aumento da inércia térmica dos materiais constituintes da envolvente exterior, o desafio torna-se mais exigente quando se pretende desenvolver um bloco que possa igualmente contribuir para um bom isolamento térmico, a partir da sua face de contacto com o exterior.

O processo de fabrico que garanta a estabilidade e resistência do produto ao longo do seu período de vida será o maior desafio para o bom desempenho de um bloco desta natureza, uma vez que já estão identificados os requisitos necessários para se garantir uma boa inércia térmica e um bom isolamento térmico. A criação de um produto composto por dois componentes, ou seja, bicomponente, caracterizado por um componente denso e sólido conjugado com um componente, de natureza química idêntica, com uma elevada resistência térmica, dará certamente a resposta a este objetivo.

Como garantir a agregação de dois componentes distintos e preservá-los no tempo em condições de serviço conformes, como já se referiu, é o que importará assegurar e será a base deste trabalho, explanado através dos ensaios laboratoriais desenvolvidos.

1.3. Estrutura do trabalho

O presente trabalho está dividido e estruturado em seis capítulos e referências bibliográficas, os quais são resumidos da seguinte forma:

Capítulo 1 - Introdução

Neste capítulo de introdução ao tema, apresenta-se o enquadramento geral face às questões relacionadas com os recursos energéticos e, mais particularmente com os consumos que os edifícios e quem os habita geram. A partir desta questão, aborda-se o tema deste trabalho, que se apresenta como uma tentativa de desenvolvimento de um produto semelhante ao bloco térmico, cada vez mais de eleição no nosso sistema construtivo de fachadas exteriores, que procura conjugar dois conceitos e dois tipos de materiais que promovem a eficiência energética dos edifícios para o nosso tipo de clima, nomeadamente o isolamento térmico pelo exterior e a inércia térmica.

Capítulo 2 - Estado da Arte

O capítulo dois apresenta uma breve resenha histórica acerca do tijolo como elemento na construção. São ainda explanadas as soluções térmicas de blocos ou tijolos para paredes exteriores.

Capítulo 3 - Desenvolvimento dos blocos em estudo

É no capítulo três que se descreve todo o trabalho relacionado com a produção dos blocos térmicos desenvolvidos neste trabalho, desde a escolha dos materiais, soluções estudadas que visam garantir uma boa performance do produto até à execução e apresentação dos mesmos.

Capítulo 4 - Ensaio experimentais

No capítulo quatro abordam-se todos os ensaios experimentais desenvolvidos nos blocos, a fim de avaliar o comportamento dos mesmos face à caracterização mecânica e térmica.

Capítulo 5 - Apresentação e discussão dos resultados

No capítulo cinco apresentam-se e avaliam-se os resultados obtidos através dos ensaios efetuados e descritos no capítulo anterior.

Capítulo 6 - Conclusões e desenvolvimentos futuros

No último capítulo procura-se traçar um caminho para desenvolvimentos futuros dos produtos aqui apresentados.

2. CONSIDERAÇÕES GERAIS

2.1. Eficiência Energética dos Edifícios - Parâmetros de Influência.

2.1.1. Inércia Térmica

Os materiais, quando sujeitos a um gradiente térmico na sua envolvente ambiental, absorvem, no caso de um aumento de temperatura, ou libertam, no caso de uma diminuição de temperatura, uma quantidade de calor que é função da sua massa, calor específico e condutibilidade térmica. Nesta característica de entalpia, o produto da massa pelo calor específico toma a designação de capacidade ou massa térmica e, quanto maior for o valor desta propriedade, maior é a capacidade de armazenamento ou de libertação de calor pelo material. A forma como esta propriedade influencia o ambiente interior do edifício traduz-se pelo amortecimento e desfasamento das ondas de calor que resultam do ciclo diário da temperatura exterior e radiação solar. Dado que este comportamento não representa mais do que a resistência em termos térmicos que os materiais oferecem à alteração da sua temperatura, por analogia com outros domínios científicos é comum designar esta resistência por inércia térmica.

Quanto maior for a densidade dos seus elementos constituintes, maior deverá ser o seu potencial de inércia térmica. A inércia térmica de um edifício apenas condiciona o seu comportamento térmico se a amplitude das solicitações térmicas ao longo do ciclo de um dia tiver expressão, ou seja, temperaturas altas durante o dia e frescas durante a noite. Caso contrário, em climas que manifestam uma constância ou pequenas amplitudes térmicas ao longo do dia, a inércia dos edifícios não tem um papel significativo no seu comportamento térmico (Lopes Ferreira 2012).

É por esta circunstância que cada vez mais a capacidade de armazenamento térmico dos edifícios deve ser considerada em Portugal, graças ao seu clima temperado e grandes amplitudes térmicas médias diárias, com horas de Sol por ano significativas, que variam entre 2 200 e 3 000 horas. Para dar uma ideia da disponibilidade de radiação solar que o país usufrui, basta comparar com a Alemanha, que detém entre 1 200 e 1 700 horas de Sol por ano.

Na regulamentação portuguesa há três classes de Inércia Térmica a considerar, estimadas a partir da massa superficial útil do elemento i , M_{Si} (kg/m^2), da área da superfície interior do elemento i , S_i (m^2), da área útil de pavimento A_p (m^2) e do coeficiente de redução para ter em conta a resistência térmica do revestimento r_i , traduzidas pela Expressão 1:

$$I_t = \frac{\sum(MSi \cdot r_i \cdot Si)}{A_p} \quad (\text{kg/m}^2)$$

Expressão 1 - Inércia térmica interior

Classe de Inércia Térmica Forte: $I_t > 400$ (kg/m²)

Classe de Inércia Térmica Média: $150 \leq I_t \leq 400$ (kg/m²)

Classe de Inércia Térmica Fraca: $I_t < 150$ (kg/m²)

A capacidade térmica efetiva de uma parede depende de múltiplos fatores, desde logo a natureza constituinte dos materiais que a compõem, a sua densidade, forma, espessura, localização e exposição solar. A noção de inércia térmica pressupõe simultaneamente a acumulação de calor pela resistência à sua passagem e a restituição da energia calorífica acumulada ao meio ambiente, quer por radiação como por convecção, numa unidade de tempo que varia conforme as características do elemento armazenador, a sua área e exposição (Almeida 1987).

Com a crescente utilização de vãos envidraçados de grandes dimensões, os ganhos solares instantâneos durante o período diurno e conseqüentemente a distribuição de calor por radiação e convecção são significativos nas estações de aquecimento, mas podem ser bastante penalizadores nas estações de arrefecimento, pelo que a inércia térmica das paredes interiores como da envolvente e a sua capacidade de armazenamento e conservação de energia nas diferentes estações é preponderante no comportamento de um edifício ao longo do ano, pela redistribuição da energia conservada durante os períodos noturnos, nas estações de aquecimento, e pela capacidade de captação da energia incidente nas estações de arrefecimento, evitando os sobreaquecimentos. Também aqui há a necessidade de distinção das formas de armazenamento, quer se trate de um armazenamento direto, exposto diretamente à radiação solar, ou armazenamento indireto, originado por transferências de calor por convecção e radiação entre massas que se encontram a temperaturas diferentes, de acordo com o segundo princípio da termodinâmica de equilíbrio térmico entre materiais, uma vez que o tempo de aquecimento da massa do corpo vai variar consoante o caso (Almeida 1987).

Na quantificação das trocas energéticas de um elemento e na sua energia armazenada de forma dinâmica, é necessário conhecer a distribuição interna de temperaturas e os fluxos de calor que atravessam o elemento em qualquer instante, não numa análise em regime permanente, conforme se demonstra pela Expressão 2, mas entrando com a capacidade térmica do material em estudo, através de uma solução numérica detalhada da equação de transferência de calor, conforme Expressão 3.

$$Q = m.C_p.\Delta t (J)$$

Expressão 2 - Transferência de calor

$$\rho \cdot C_p \cdot \frac{\delta T}{\delta \tau} = \lambda_x \cdot \frac{\delta^2 T}{\delta X^2} + \lambda_y \cdot \frac{\delta^2 T}{\delta Y^2} + \lambda_z \cdot \frac{\delta^2 T}{\delta Z^2} + q$$

Expressão 3 - Expressão fundamental da condução de calor

A expressão diferencial descreve a dependência da temperatura com a posição do elemento, traduzida pelas coordenadas x, y e z, num espaço de tempo τ , se analisado um corpo como uma malha de elementos sujeitos a diferentes temperaturas T e tempos de exposição diferentes τ , representado pela sua densidade ρ , o seu calor específico C_p e o seu coeficiente de condutibilidade térmica λ (Almeida 1987).

Deve ressaltar-se que para uma análise da inércia térmica das paredes de uma habitação, convém distinguir as paredes da envolvente exterior, se construída com blocos idênticos aos produzidos para este trabalho, que estão protegidas termicamente na sua face exterior, e as paredes interiores, que não carecem de proteção térmica, pelo que estão sujeitas a radiação incidente em ambas as faces, com fluxos de calor em ambos os sentidos, quer sejam emitidos ou absorvidos.

2.1.2. Transferência de calor

Quando existem regiões no espaço a diferentes temperaturas, sendo esta diferença o que espoleta o fenómeno, ocorrerá transferência de calor no sentido das zonas onde a temperatura é mais baixa. Essa transferência pode ocorrer pelo mecanismo da condução, convecção e ou radiação, dependendo se ela ocorre através de sólidos ou de fluidos, entre sólidos separados por fluidos, entre fluidos separados por uma superfície sólida ou ainda entre superfícies sólidas entre as quais não existe matéria, ou seja, vácuo absoluto.

Num sólido que seja opaco à radiação térmica, a transferência de calor ocorre apenas por condução, enquanto num fluido que seja opaco ela ocorre por convecção, a qual engloba a própria condução. No vácuo apenas ocorre radiação.

Nos sólidos, líquidos e gases não opacos, a transferência de calor pode ainda ocorrer por radiação, em paralelo à condução ou convecção.

O mecanismo da condução de calor está associado à transferência de calor efetuada ao nível molecular, por transferência de energia sensível. As partículas mais energéticas, isto é, que se encontram em locais onde se regista uma maior temperatura, transferem parte da sua energia vibracional, rotacional e translacional por contacto com outras partículas contíguas menos energéticas, com uma menor temperatura, as quais recebem essa energia. Essa transferência é efetuada no sentido das maiores temperaturas para as menores temperaturas. Ocorre em gases, líquidos ou sólidos (fonte: sítio labvirtual.eq.uc.pt).

A radiação, no contexto da transmissão de calor, consiste no transporte de energia por meio de ondas eletromagnéticas. As ondas eletromagnéticas propagam-se no vazio à velocidade da luz $C=299\,792\,458$ (m/s) e, assim, a radiação, ao contrário da condução e da convecção, não necessita de um meio material para que a transferência de energia se efetue.

Como exemplo, a energia emitida pelo Sol e que é transferida por radiação para a Terra, depois de percorrer cerca de 150 milhões de km de espaço vazio. A radiação térmica corresponde à radiação eletromagnética emitida por um corpo como resultado da sua temperatura.

A Lei de Stefan-Boltzmann, Expressão 4, permite obter o fluxo radiante total emitido por um corpo ideal, designado por corpo negro, que absorve toda a radiação incidente e emite o máximo de radiação possível. É o princípio utilizado para as paredes de Trombe, desenvolvidas em França por Félix Trombe, que tira partido da inércia térmica de uma parede de grande densidade.

$$P_{rad} = \sigma \cdot A \cdot T^4 \quad (W)$$

Expressão 4 - Lei de Stefan-Boltzmann

P_{rad} – Potência radiativa (W)

A – Área da superfície do corpo negro (m^2)

T – Temperatura absoluta (K)

σ - Constante de Stefan-Boltzmann ($\sigma = 5.67 \times 10^{-8} [W/(m^2 \cdot K^4)]$)

A transferência de calor por radiação térmica ocorre em sólidos, líquidos e gases e no vácuo, exceto nos sólidos e líquidos opacos à radiação térmica, designados por atérmicos. Como, em geral, os gases são pouco absorventes, a contribuição da radiação térmica para o calor total transferido não deve ser descurada quando se têm superfícies separadas por gases, como por exemplo o ar.

Na transmissão de calor, a convecção natural refere-se à transferência de energia térmica entre uma superfície (normalmente sólida) e um fluido (gás ou líquido) circundante, em que o movimento deste resulta unicamente de variações da sua massa volúmica causadas por variações de temperatura. Considerando por exemplo uma parede vertical aquecida, exposta ao ar atmosférico (sem vento), uma determinada e bem definida porção de ar, que entre em contacto direto com a parede, será inicialmente aquecida por condução. A temperatura dessa porção de ar torna-se superior à temperatura média do ar longe da parede e, por consequência, a sua massa volúmica diminui relativamente à do ar atmosférico. Dessa forma, ficando mais leve, esse pequeno volume de ar terá tendência a subir, gerando-se assim um movimento do ar, ou seja, uma corrente de convecção natural ascendente. Por continuidade, pelo princípio da conservação da massa, o ar afastado da parede irá descer, fechando o circuito (Oliveira 2014).

2.1.3. Arquitetura do Edifício - Geometria e orientação do edifício

Portugal está dividido em três zonas climáticas, de acordo com o zonamento climático baseado na Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos NUTS III, quer para a estação de aquecimento (I1, I2, I3) quer para a estação de arrefecimento (V1, V2, V3). A estação de aquecimento está definida para poder contemplar até oito meses, entre outubro e maio, enquanto que a estação de arrefecimento está definida para os meses de junho a setembro. A partir do movimento aparente do Sol, de nascente para poente, é possível verificar que as horas de maior exposição solar compreendem as fachadas e coberturas inclinadas orientadas a Sul permitindo uma captação generosa de radiação solar no Inverno, enquanto que no Verão serão as orientações Sudeste e Noroeste.

A intensidade da radiação solar, a orientação do edifício, a percentagem de área envidraçada e a forma como ela se distribui pelas fachadas são fatores que têm grande influência no desempenho térmico do edifício, quer no Inverno quer no Verão. A intensidade da radiação solar é função da latitude do local, do dia do ano e da hora do dia, chegando à superfície da terra de duas formas distintas: de forma direta, sem reflexões nem refrações no seu percurso através da atmosfera e sob a forma difusa que resulta da dispersão dos raios solares nas moléculas em suspensão na atmosfera. Por sua vez, a quantidade de energia radiante que pode ser captada por um edifício em proveito do seu desempenho térmico depende da orientação e das características das superfícies da sua envolvente.

A forma mais simples de aproveitar a energia radiante proveniente do sol consiste na sua captação direta através dos vãos envidraçados, uma vez que possuem um fator solar g elevado. Atendendo ao movimento aparente do sol no hemisfério Norte, a orientação Sul recebe radiação direta

durante todo o dia, pelo que o alinhamento das fachadas maiores segundo a direção E-W e uma maior distribuição de vãos envidraçados nestas fachadas é mais favorável no Inverno, onde o objetivo é reduzir as necessidades de aquecimento.

No Verão, onde o pretendido é a redução das necessidades de arrefecimento, espera-se que a mesma disposição de fachadas e a mesma distribuição de vãos recomendadas para o Inverno se mantenha igualmente favorável nesta estação.

De facto, no Verão são as orientações Sudeste e Noroeste que recebem uma maior quantidade de radiação, o que torna recomendável a disposição das fachadas menores nesta orientação, com áreas de envidraçados também mais reduzidas.

Para além da orientação dos vãos envidraçados, é importante definir a proporção mais adequada de área envidraçada nas fachadas, tendo em conta as exigências de conforto térmico, bem como a economia de energia e as necessidades de iluminação natural. No plano do conforto térmico com economia de energia, é necessário ponderar devidamente os ganhos e as perdas de calor através desses elementos e efetuar essa avaliação para a estação fria e para a estação quente.

No plano da geometria do edifício, há que considerar o efeito da sua forma e respetivas áreas de exposição para efeitos de maximização de ganhos térmicos na estação de aquecimento e minimização de ganhos na estação de arrefecimento. A forma de um edifício fica caracterizada pela relação entre a área da envolvente em contacto com o exterior e o seu volume, além da consideração dos locais não úteis, para efeitos da análise térmica. Esta relação é conhecida por fator de forma. Quanto mais compacta for a forma do edifício, privilegiando sempre a maior dimensão nas fachadas viradas a Sul, como já se referiu, mais reduzidas são as trocas de calor e melhor será o seu balanço térmico global.

Há, contudo, outros fatores a condicionar a melhor orientação e geometria de um edifício. Será sempre a partir de uma análise do local de implantação da construção que melhor se perceberão determinados aspetos como a ação e direção do vento, composição dos solos e geotermia local, até mesmo o tipo de vegetação dominante (Lopes Ferreira 2012).

2.1.4. Isolamento térmico

É na envolvente do edifício, representada pelas suas partes opacas e envidraçadas, que cabe a tarefa de regular as trocas de calor entre os ambientes interior e exterior para que o comportamento térmico do edifício, conjugado com a componente da ventilação e da utilização, garanta o mínimo de recurso a energias auxiliares para assegurar as condições de conforto térmico que se pretendem.

Todos os materiais e elementos de construção apresentam características de transmissão do calor que são traduzidas por coeficientes apropriados. A aptidão para transmitir o calor é quantificada pela transmissão térmica, propriedade intrínseca de cada material que depende, entre outros fatores, da massa volúmica e do teor de humidade. Quanto aos elementos de construção, constituídos por um único material ou por camadas de materiais diferentes, pode ser utilizado um parâmetro para traduzir a sua maior ou menor transmissão do calor, como seja a condutância térmica ou coeficiente de condutibilidade térmica. O coeficiente de transmissão térmica superficial é o parâmetro utilizado em cálculos térmicos e define-se como sendo a quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa uma superfície de área unitária de um elemento por unidade de diferença de temperatura entre os ambientes separados pelo elemento, que no caso da envolvente é normalmente entre o interior e o exterior, área não útil ou outro edifício.

Para se atingir o objetivo de eficiência energética, os coeficientes de transmissão térmica superficial da envolvente opaca devem ser tanto mais baixos quanto maior for a severidade do clima onde o edifício se insere. Em termos de regulamentação tem-se assistido a um progressivo aumento de exigência relativamente aos coeficientes de transmissão térmica máximos admissíveis, em função da zona climática, sendo expectável que esta tendência continue até que, como já se referiu anteriormente, se obtenham edifícios com necessidades quase nulas de energia no horizonte temporal de 2020.

As paredes constituídas unicamente em betão ou em alvenaria de tijolo ou bloco, ainda que possuam alguma resistência térmica, não cumprem os requisitos de transmissão térmica máxima admissível para elementos opacos, independentemente da zona em estudo. Como tal, a solução passa pela proteção destes elementos com materiais adicionais com a função específica de aumentar a resistência térmica do conjunto. Neste momento, o que se preconiza na proteção térmica dos edifícios é, normalmente, a aplicação de materiais com baixos coeficientes de condutibilidade térmica tais como o poliestireno expandido moldado, em placas de densidade entre os 15 e os 20, poliestireno expandido extrudido moldado em placas de densidade 20, lã mineral em placas, aglomerados expandidos de cortiça em placas, poliisocianurato rígido em placas, espumas de poliuretano, argamassas térmicas pré-doseadas, tudo elementos dispostos para conferir à envolvente opaca o nível de resistência térmica pretendido.

Em termos de desempenho térmico, não é indiferente o posicionamento do material de isolamento nos elementos construtivos. Basicamente, o isolamento térmico pode ser disposto pela face interior, pela face exterior dos elementos construtivos ou, no caso de paredes duplas, pode ainda ser colocado no interior da caixa-de-ar. Cada tipo de posicionamento apresenta as suas vantagens e desvantagens.

Em Portugal, atualmente, o isolamento térmico das fachadas exteriores pode ser garantido através dos sistemas de isolamento térmico pelo exterior, conforme Figura 1.

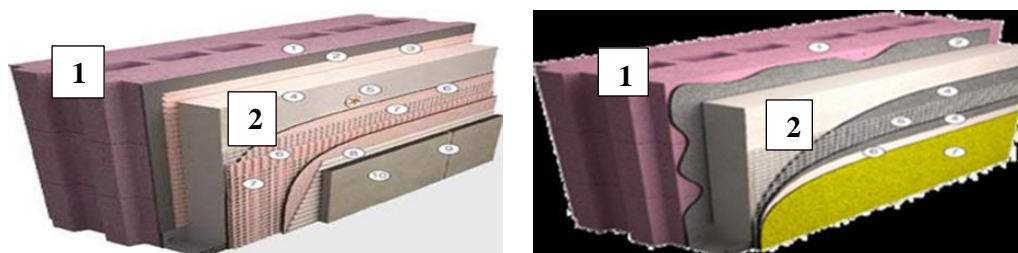


Figura 1 - Isolamento térmico pelo exterior com acabamento cerâmico ou acabamento delgado à cor.

Legenda:

- 1 – Alvenaria (neste caso, com bloco térmico)
- 2 – Elemento isolante (neste caso, poliestireno expandido)

A sua aplicação consiste no revestimento integral dos panos de alvenaria ou betão, quer seja através da fixação de painéis pré-fabricados de materiais isolantes de dimensões constantes, como o poliestireno expandido moldado (EPS) ou expandido extrudido (XPS), o aglomerado expandido de cortiça (ICB), a lã mineral, as placas de poliisocianurato (PIR), ou através da projeção em pasta dos materiais isolantes, tais como os poliuretanos, as fibras celulósicas ou as argamassas termoisolantes pré-doseadas. O isolamento térmico pelo exterior tem como principais vantagens a eliminação das pontes térmicas, o aproveitamento mais eficiente da inércia térmica interior dos edifícios, desde que estes não estejam revestidos interiormente por materiais de baixa densidade, e a redução do risco de condensações internas nos elementos construtivos

A colocação do isolamento térmico na caixa-de-ar é a técnica mais utilizada quando normalmente se opta pela execução de paredes duplas na envolvente. Neste caso há um claro aumento da resistência ao choque nos panos exteriores, uma vez que o isolamento térmico se encontra em contacto com o pano interior. O contributo para a inércia térmica das paredes exteriores é dado apenas por este elemento interior do conjunto, até atingir o isolamento. Uma vez que há uma interrupção nos encontros das vigas, pilares ou lajes, as pontes térmicas não são automaticamente eliminadas, como no caso do isolamento térmico pelo exterior, devendo prever-se um tratamento destas zonas para evitar conduções lineares e superficiais de calor.

Finalmente, a colocação do isolamento térmico do lado interior dos elementos tem como vantagens a facilidade da sua aplicação, podendo não exigir nem meios de elevação nem equipamentos especiais, a possibilidade de ser efetuada de uma forma localizada no edifício e o facto de não implicar a descaracterização das fachadas, o que apenas pode tornar esta solução

relativamente interessante em obras de reabilitação com condicionalismos exteriores ou em determinados edifícios que possuam e necessitem de climatização mecânica constante, como, por exemplo, os hospitais, dada a rapidez em se atingir a temperatura pretendida devido à baixa inércia térmica. As desvantagens que apresenta, para além da anulação da inércia térmica interior, é a não eliminação das pontes térmicas lineares, o aumento do risco de condensações internas nos elementos onde é aplicado, caso não haja ventilação adequada e a redução de áreas úteis (Lopes Ferreira 2012).

2.2. Enquadramento histórico

Os tijolos foram uma inovação de fabrico importante, pois permitiram erguer edifícios resistentes às intempéries, temperatura e humidade, numa altura em que o Homem deixou de ser nómada e passou a ter a necessidade de possuir construções resistentes e duráveis.

Por volta do ano de 1.200 a.C., o fabrico de tijolos generalizou-se na Europa e na Ásia. Importa perceber que o recurso ao tijolo, nos seus primórdios, como material de fabrico humano, se deveu à falta de recursos equivalentes presentes na natureza, que servissem como material de construção, como aconteceu na região dos rios Tigre e Eufrates onde os tijolos começaram a ser utilizados há mais de cinco mil anos.

No Antigo Egipto e na civilização do Vale do Indo o tijolo era um material muito utilizado. Conseguiu-se chegar a esta conclusão após observação das ruínas de Buhen (Figura 2a), Mohenjo-daro (Figura 2b) e Harappa (Figura 2c), por exemplo. As dimensões dos tijolos encontrados tinham uma razão de 4:2:1, sendo estas consideradas as dimensões ideais para este tipo de elemento construtivo.



Figura 2 - Ruínas de Buhen (a); Mohenjo-daro (b); Harappa (c)

Há quatro mil anos, na Mesopotâmia, a escassez de pedra iria dar um grande impulso à construção de tijolos; os palácios de Khorsabad (Figura 3a) e de Sargão (Figura 3b), onde agora se situa o Iraque, testemunham a evolução havida. Mostram tijolos cozidos com secção quadrada de cerca

de 30 cm de lado e com 5 a 10 cm de espessura, revelando tijolos com secção oval em pilares e apresentando já nesta altura tijolos vidrados.

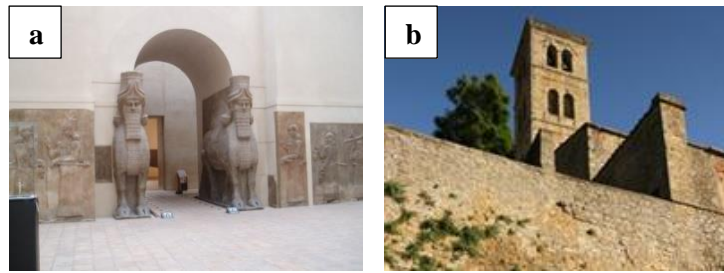


Figura 3 - Palácio de Khorsabad (a); Palácio de Sargão (b)

Os romanos adotaram também o tijolo e desenvolveram-no com novas dimensões, o tijolo romano, conforme Figura 4.



Figura 4 - Parede de tijolo romano

Este foi um dos principais elementos de construção dos edifícios do Império. Tinham uma forma um pouco fora do habitual, pois eram bastante compridos, numa relação 6:2:1.

Mais recentemente, no século XII, os tijolos produzidos no norte de Itália foram levados para a Alemanha, onde adquiriram um importante papel na arquitetura. O chamado Gótico Báltico foi uma variação do estilo gótico onde o tijolo era o principal elemento construtivo. Teve um grande impacto nos países nórdicos devido à falta de pedra. Podem-se encontrar exemplos destes edifícios na Dinamarca, Alemanha, Polónia ou Rússia. A Figura 5 exemplifica um edifício deste tipo localizado na Alemanha.



Figura 5 - Porta de Holsten, monumento emblemático do gótico de tijolos em Lübeck, Alemanha.

A Revolução Industrial trouxe a produção em massa de tijolos. As pequenas oficinas que produziam tijolos desapareceram para dar lugar a grandes fábricas, com fornos de grandes dimensões que tornavam a produção de tijolos mais rápida e barata. O uso do tijolo generalizou-se. Por toda a Europa começaram a surgir projetos para novas unidades fabris que precisavam de ser erigidas rapidamente. A indústria dos tijolos expandiu-se exponencialmente.

2.3. Oferta do mercado

Segundo Sousa (2002) “De acordo com vários estudos sabe-se que o custo dos trabalhos em alvenarias, incluindo revestimentos, representa em Portugal cerca de 12% a 17% do custo global dos edifícios (...). Apesar desta inegável importância este elemento construtivo é ainda em geral objeto de poucos cuidados, para o que contribuem as peculiaridades das alvenarias como elemento construtivo”. O que é referenciado pelo autor tem que ver, entre outros aspetos, com a questão de se tratar de uma tecnologia construtiva antiga, com grande diversidade de materiais e soluções, que assegura várias exigências funcionais, como resistência mecânica, impermeabilidade à água, permeabilidade ao vapor de água, isolamento térmico e acústico, resistência ao fogo, durabilidade e estabilidade, tudo fortemente condicionado pela qualidade construtiva, podendo originar diversos tipos de patologias.

Atualmente a procura por novas soluções, no âmbito da construção sustentada, é uma realidade transversal a muitos países do mundo. Ainda que muitas das vezes não haja uma preocupação em conjugar num só produto mais do que uma característica técnica, que é o desafio deste trabalho, o que é de salientar é a tentativa de adaptação às novas realidades e estímulos que vão surgindo. Os exemplos que se enunciam a seguir representam algumas das tendências evolutivas que se produzem no mundo, no que a blocos ou tijolos diz respeito.

Na Figura 6 pode ver-se um tijolo ecológico fabricado a partir de resíduos de couro proveniente das indústrias de calçado do estado paulista, no Brasil. De acordo com os autores do projeto, alunos da Escola Técnica do Estado de S. Paulo, conseguem-se melhorias orçamentais de 27% na construção de uma habitação de custos controlados. Fica patente neste exemplo a tentativa de aproveitamento e reciclagem de resíduos industriais num produto que promova a economia de custos e recursos.



Figura 6 - Tijolo ecológico produzido a partir de resíduos de couro

Por outro lado, há o exemplo do recurso à terracota, ou seja, a argila cozida em fornos a cerca de 900 ° C, sem vitrificação, empregue em países como a Itália ou a Alemanha para o fabrico de blocos térmicos de alvenarias, conforme Figura 7 e Figura 8a.



Figura 7 - Blocos térmicos de terracota – Itália

Na Alemanha, como em Portugal, já se encontram soluções de blocos térmicos que procuram conjugar materiais distintos, como o poliestireno expandido extrudido, agregados com a matéria-prima do bloco, conforme Figura 8b para a Alemanha e Figura 8c para Portugal.

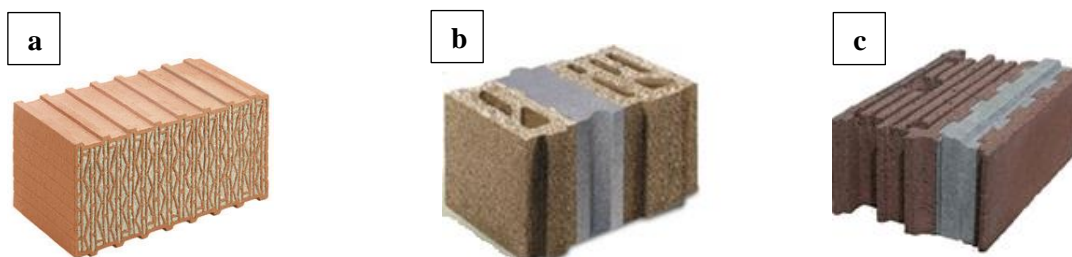


Figura 8 - Bloco de Terracota Alemanha (a); Blocos térmicos com XPS (b); Bloco térmico com XPS (c)

No caso português, o bloco térmico com XPS aqui apresentado é uma solução composta por quatro encaixes, permitindo continuidade no isolamento térmico. A resistência à compressão supera os 2.5 MPa, valor normativo para blocos de alvenarias leves. Apresenta as dimensões 500x320x200 (mm), em termos de comprimento x largura x altura.

Como se pode verificar, e dependendo do clima sentido em cada país, há soluções construtivas diversas que se produzem especificamente para resolver os condicionalismos térmicos, na procura do ambiente interior ideal. Na Rússia há várias soluções de blocos térmicos que visam resolver o problema das baixíssimas temperaturas que se fazem sentir. Entre as soluções encontradas, enunciam-se algumas que não se encontram disponíveis nas lojas de materiais de construção em Portugal, enunciadas na Figura 9. A composição dos blocos compreende uma mistura de espuma e betão celular, tendo uma estrutura porosa devido aos poros fechados (bolhas) em todo o volume. A solução resultante de cura consiste em cimento, areia, água e concentrado de espuma.



Figura 9 - Bloco de Espuma (a); Bloco de Espuma (b)

Ainda na Rússia são produzidos e comercializados blocos compósitos com poliestireno expandido, conforme Figura 10.



Figura 10 - Blocos 400x400x200(mm) (a); Blocos 400x400x200(mm) (b); Bloco 400x400x190(mm) (c)

Estes blocos apresentam uma espessura considerável, com valores de 400 mm, principalmente quando comparados com as espessuras dos blocos que normalmente se utilizam na indústria da construção em Portugal, que costuma ser na ordem dos 250 mm. Como se pode visualizar, o plano horizontal destes blocos não é descontínuo, pelo que as juntas de argamassa terão que forçosamente ser juntas horizontais delgadas, até 3 mm de espessura, para não condicionar a continuidade do isolamento térmico.

3. DESENVOLVIMENTO DOS BLOCOS EM ESTUDO

A ideia base para a produção dos blocos, como já se referiu, foi a de criar um produto que incorporasse propriedades de boa resistividade e boa inércia térmicas, permitindo desempenhos enquadrados na regulamentação do REH, ao mesmo tempo que permitisse, na sua aplicação, ganhos de tempo na calendarização da obra. A partir deste pressuposto, começou a ganhar expressão a ideia de incorporar dois componentes distintos, mas próximos quimicamente, para formar o que se passou a designar como um bloco bicomponente.

3.1. Fabrico dos blocos

A ideia original para a produção dos blocos térmicos com boa inércia térmica teve como base de partida os blocos térmicos à base de argila expandida. Para colmatar o processo de ligação entre os diferentes materiais, tentaram-se esquematizar soluções já utilizadas para outros fins, tais como o encaixe tipo asa de andorinha ou a armadura de ligação, conforme Figura 11. Contudo, destas opções, apenas se deu seguimento à ideia da armadura no interior do bloco a reforçar a junta de ligação dos diferentes compostos.



Figura 11 - Esquema de blocos com encaixe (a); Esquema de blocos com armadura (b)

3.1.1. Dimensões

Para o início do trabalho começaram por definir-se, além dos materiais constituintes, as dimensões dos blocos, a partir de dimensões de outros produtos já existentes no mercado, nomeadamente os blocos térmicos. Por se estarem a produzir elementos com uma componente maciça, estabeleceram-se duas dimensões de blocos, diferentes apenas no comprimento. Assim, ficaram definidos, em termos de comprimento, largura e altura:

- i) Blocos com as dimensões 350x250x190 (mm) com armadura e rede de fibra de vidro incorporada;

- ii) Blocos com as dimensões 500x250x190 (mm) com armadura e rede de fibra de vidro incorporada;
- iii) Blocos com as dimensões 500x210x190 (mm) com armadura e rede de fibra de vidro incorporada;
- iv) Blocos com as dimensões 350x210x190 (mm) com armadura e rede de fibra de vidro incorporada;
- v) Blocos com as dimensões 350x210x190 (mm) sem armadura incorporada;
- vi) Blocos com as dimensões 350x210x190 (mm) com armadura simples incorporada.

3.1.2. Fabrico dos moldes

Os moldes para fabrico dos blocos foram elaborados com recurso a painéis de contraplacado marítimo de 19 mm de espessura. Foram desenhados de forma a produzir encaixes tipo meia-madeira, para que a desmoldagem se fizesse com mais facilidade. Por outro lado, os moldes incorporaram uma geometria que permitia o encaixe dos blocos, na sua face exterior, no sentido de obtenção de uma junta vertical mais impermeabilizante, fornecendo melhores garantias de planimetria e promovendo a continuidade no isolamento. Uma das conclusões que depressa se retirou daqui, e que será objeto de abordagem mais à frente neste trabalho, é a de que também deveria existir um encaixe na junta horizontal da face exterior dos blocos para evitar pontes térmicas.

Na Figura 13 está patente o esquema de montagem do molde do bloco. Na Figura 12 estão representados os moldes já montados. Os 250 mm de largura dos blocos foram divididos em 130 mm de zona maciça (face interior) e 120 mm de zona para isolamento térmico (face exterior).

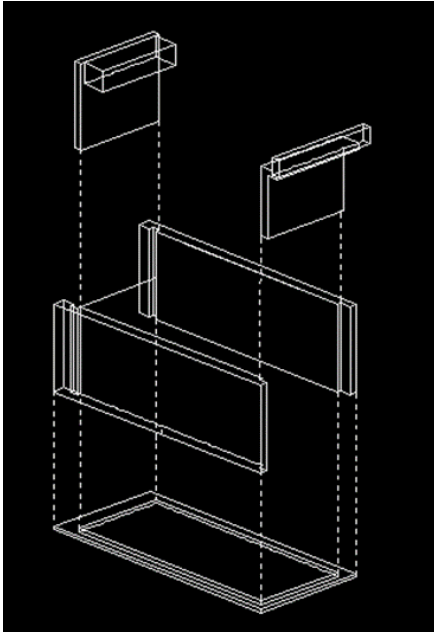


Figura 13 - Esquema de montagem dos blocos

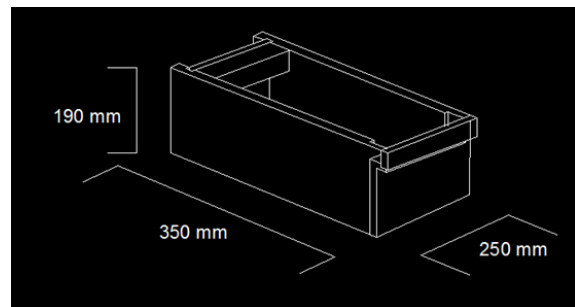
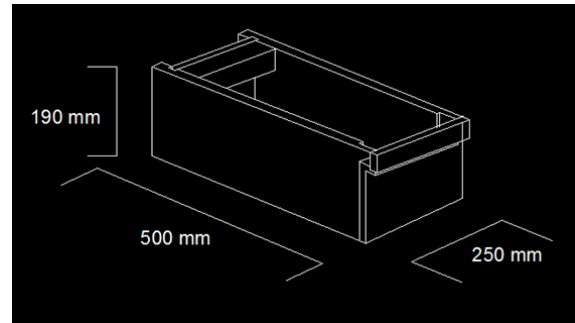


Figura 12 - Dimensões dos blocos grande e pequeno

Ficou desde logo patente, aquando da execução da primeira família de blocos, que o peso dos mesmos era excessivo, na ordem dos 31,00 kg para o bloco maior e 21,00 kg para o bloco menor. A partir daqui optou-se por reduzir de imediato o volume da zona maciça da peça, traduzindo-se numa redução de 40 mm à sua largura inicial, para os 90 mm, ficando o bloco com uma largura total de 210 mm. Deixou-se, igualmente, de fabricar a peça maior a partir da quarta família de blocos. Na Figura 14 esquematiza-se a dimensão final dos blocos, que serviu de produção a partir da segunda família.

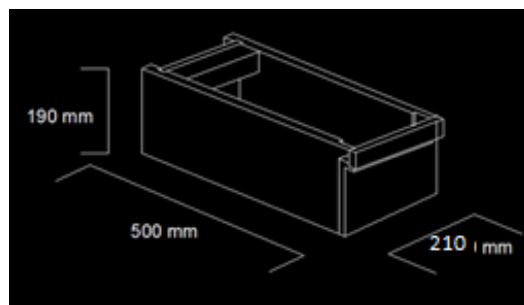
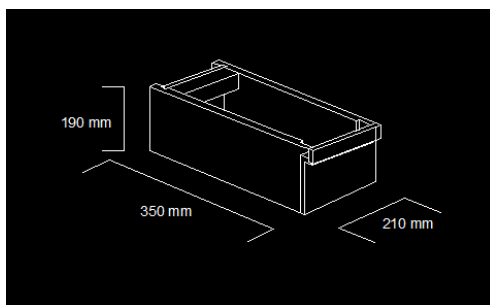


Figura 14 - Dimensões finais dos moldes

Previamente ao enchimento, as placas de contraplacado foram impregnadas com óleo descofrante para permitir uma melhor desmoldagem do conjunto. A articulação de montagem resume-se ao que da Figura 15 se demonstra. Todas as peças têm marcado o limite de enchimento do primeiro

componente do bloco, neste caso, o elemento mais denso, visível na linha de marcação da separação dos dois constituintes do bloco.



Figura 15 - Peças e sequência de montagem do bloco

Como se está perante o fabrico de um tipo de bloco inovador, as dúvidas relativamente ao comportamento da junta de ligação entre os dois tipos de constituintes do bloco, no que à sua agregação e solidarização ao longo do tempo dizem respeito, levaram a que se preconizassem soluções que pudessem garantir uma maior estabilidade desta zona da peça.

Ainda que o processo de cura simultâneo dos dois componentes seja o garante de uma ligação química forte, objeto de análise nos ensaios a efetuar, a introdução de uma armadura em varão de aço C1, de baixo carbono, com 3 mm de espessura, cintada, simetricamente colocada longitudinalmente e transversalmente ao longo da junta do bloco, foi a solução usada inicialmente para aumentar a resistência do bloco bicomponente. Para concluir o processo, adicionou-se uma rede de fibra de vidro anti-alkalina, com malha 10x10 (mm), colocada longitudinalmente em cada um dos planos horizontais da armadura. A Figura 16 ilustra a armadura utilizada e a disposição da rede de fibra de vidro.

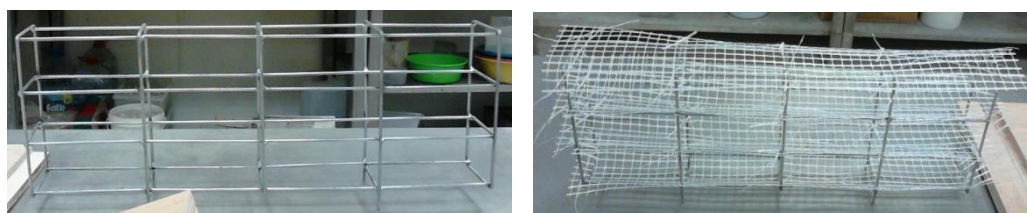


Figura 16 - Armadura C1, simples e com rede de fibra de vidro 10 x10 (mm) incorporada

Uma vez que a colocação da armadura teve por finalidade garantir uma maior resistência na junta de ligação entre os diferentes materiais que constituem o bloco, a verdade é que permitiu aumentar, em teoria, a resistência mecânica da peça à flexão, ao corte e até à compressão, numa perspetiva de execução de alvenarias mais resistentes, pelo que no decurso deste trabalho foram

efetuados ensaios para essa avaliação, ainda que muito limitativos para estabelecer resultados credíveis dado o reduzido número de peças disponíveis. Os valores obtidos servirão apenas para futuros registos numéricos de possíveis novos ensaios desta natureza.

Para manter a armadura na sua correta posição dentro do molde do bloco, ou seja, simetricamente colocada em relação ao plano da junta entre materiais, recorreu-se à aplicação de dois apoios em varão de aço de 3 mm, em cada extremidade do bloco, introduzidos através de orifícios nas peças do molde, conforme Figura 17. Estas peças eram removidas imediatamente após enchimento dos blocos. O resultado final é o que se expressa na Figura 18. De referir que o enchimento dos moldes foi processado através da face que fica em contacto com o exterior, ou seja, com o molde deitado relativamente à sua real posição, como também se pode depreender pela Figura 18. Para garantir o recobrimento de 20 mm em torno da armadura, existem duas peças de contacto com uma das faces do molde, assinaladas nos círculos vermelhos da figura, para permitir o correto posicionamento do elemento de aço aquando do enchimento, em caso de deslocação da peça.



Figura 17 - Suporte para a armadura do bloco (exterior e interior).

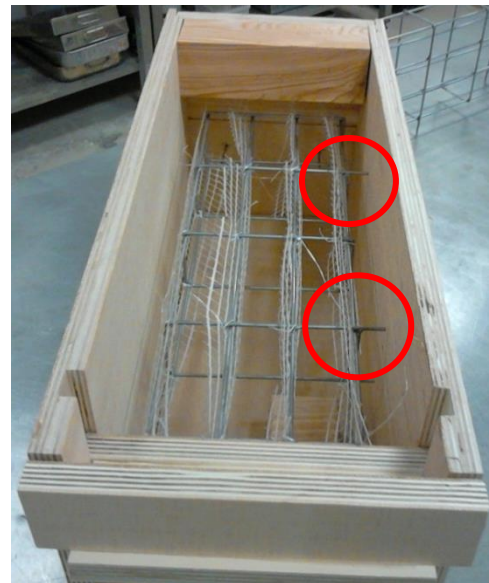


Figura 18 - Armadura no interior do molde, devidamente espaçada.

Por se tratar de uma peça maciça, sem alvéolos, houve necessidade de se incorporar uma reentrância para permitir erguer o bloco com segurança. Este negativo localizou-se tanto na zona do material com boa inércia térmica como na zona do material com boa resistência térmica. Na Figura 19a, assinalada dentro dos círculos vermelhos, visualizam-se as peças criadas e a forma como se procedeu para esse efeito, com um dos moldes como peça livre, para colocar após enchimento do elemento final, no caso, o que fica na face exterior do bloco. No decorrer do trabalho verificar-se-á que esta solução é improcedente por não se conseguir desmoldar com

facilidade a peça que está na base da Figura 19a, sem danificar o bloco. Por fim, uma vez que uma das peças do conjunto desliza através de reentrâncias existentes nas peças laterais, visíveis na Figura 18, para uniformizar esses elementos usaram-se peças amovíveis, assinaladas na Figura 19b, que representa o molde pronto a ser preenchido, já devidamente estabilizado estruturalmente, com recurso a grampos laterais, para não se desmanchar após o enchimento.

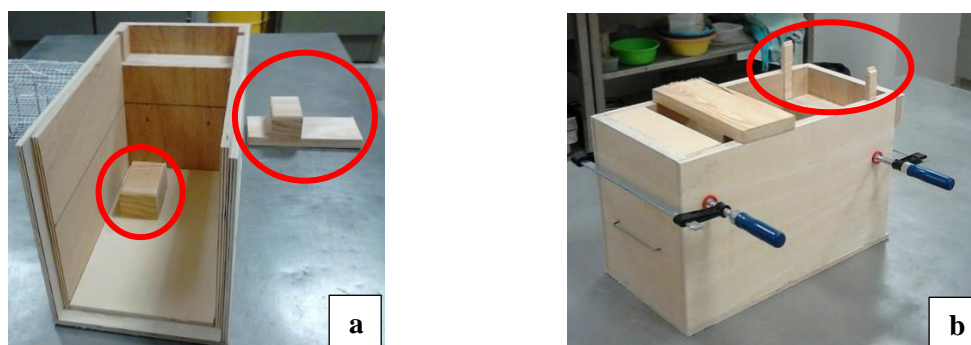


Figura 19 - Moldes para manusear o bloco (a); Molde completo (b).

3.2. Argamassas

Para congregar a solução do bloco bicomponente ficou estabelecido que o processo de ligação dos dois compostos distintos passaria por um processo de cura simultâneo. Assim, a solução foi obrigatoriamente a de produzir um bloco com um processo de fabrico em tudo idêntico ao bloco de cimento, ou seja, um bloco de enchimento, com cura em ambiente controlado de temperatura e humidade.

Para a execução da componente com boa resistência térmica, nomeadamente a face exterior dos blocos, optou-se pela execução de três argamassas distintas. Uma das argamassas executada a partir de um material de revestimento isolante térmico contínuo à base de poliestireno expandido solto e ligantes pré-doseados, como a argamassa de reboco termoisolante, outra das argamassas a partir de um material isolante de agregados leves, soltos, como a argila expandida, em duas granulometrias distintas, e a terceira argamassa num regranulado de cortiça expandida. Todos estes produtos são de marca registada e produzidos por empresas reconhecidas no mercado nacional.

Para garantia da boa inércia térmica da face interior do bloco, ou seja, boa resistência à alteração do estado termodinâmico desta camada, a solução recaiu em duas composições, uma com as características materiais do bloco de cimento e a outra num bloco composto por terra com mistura de areia e cal hidráulica, este último com o objetivo de garantir um produto o mais ecológico

possível, uma vez que será em associação ao regranulado de cortiça. Assim, para uma das soluções optou-se por uma argamassa composta por agregados de areia do rio, finas e médias, coadjuvadas por cimento Portland e filler. Esta composição formou os blocos associados à argamassa de reboco termoisolante e com a argila expandida em duas granulometrias. Para a execução dos blocos de terra, foi utilizada uma terra argilosa comercial adquirida num barreiro nacional, cuja argamassa final teve a adição de areia fina e uma percentagem de cal hidráulica sobre o conjunto. Esta composição formou os blocos associados à argamassa composta por regranulado de cortiça, areia fina e grossa, cal hidráulica e cimento Portland.

Definidas as dimensões, foram produzidas seis famílias de blocos.

A Família 1, constituída por dois blocos formados pela componente de argamassa de reboco termoisolante, com uma camada de 120 mm de espessura e pela argamassa de cimento com areia, com uma camada de 130 mm de espessura, conforme Figura 20. Um dos blocos apresenta as dimensões 500x250x190 (mm) e o outro bloco as dimensões 350x250x190 (mm). Ambos têm incorporada a armadura de aço com 3 mm de diâmetro e respetiva rede de fibra de vidro. Em termos de cubicagem, os blocos grandes apresentam 0,01205 m³ de volume referente à zona de maior densidade em argamassa de cimento e areia. Para a zona de baixa densidade, isto é, a face exterior do bloco em argamassa de reboco termoisolante, a volumetria é de 0,0114 m³. A este valor não se descontou a pega do bloco, por esta ser uma peça à parte. Relativamente aos blocos pequenos, estes apresentam 0,008345 m³ de volume para a zona maciça. Para a zona de baixa densidade, a volumetria é de 0,00798 m³. Também não se descontou a pega do bloco.



Figura 20 - Família 1 Argamassa de reboco termoisolante/cimento e areia.

A Família 2, constituída por dois blocos formados pela componente de argila expandida também com uma espessura de 120 mm e pela argamassa de cimento com areia, já com uma espessura diminuída para os 90 mm, conforme Figura 21. Assim, um dos blocos apresenta as dimensões 500x210x190 (mm) e o outro bloco as dimensões 350x210x190 (mm). Ambos têm igualmente incorporada a armadura de aço com 3 mm de diâmetro e respetiva rede de fibra de vidro. As pegas para os blocos deixaram de ser consideradas a partir da segunda família, por serem de difícil

execução e desmoldagem. O volume dos blocos grandes é de 0,00825 m³ referente à zona de argamassa de areia com cimento e de 0,01140 m³ para a zona de menor densidade em argila expandida, que representa a face exterior do bloco. Os blocos pequenos apresentam 0,005985 m³ de volume para a parte interna do bloco, de maior densidade e para a zona de baixa densidade, a volumetria é 0,00798 m³.



Figura 21 - Família 2 Argila expandida/cimento e areia.

Relativamente à Família 3, esta é constituída por dois blocos formados pela componente em regranulado de cortiça e pela terra, esta sem qualquer adição suplementar, conforme Figura 22. Um dos blocos apresenta as dimensões 500x210x190 (mm) e o outro bloco as dimensões 350x210x190 (mm). Ambos têm incorporada a armadura de aço com 3 mm de diâmetro, com a rede de fibra de vidro. Face à dificuldade no enchimento dos moldes sem afetar o posicionamento da rede, devido à não fluidez das argamassas, não se voltou a incorporar este material na armadura metálica, na produção da outra família de blocos com terra. Também só mais tarde se verificou que a armadura de aço neste tipo de bloco era uma solução errada uma vez que a armadura oxidou devido à humidade da terra. A volumetria dos blocos é idêntica à da Família 2.



Figura 22 - Família 3 Bloco de terra/regranulado de cortiça.

A Família 4 também se constituiu por dois blocos formados pela componente em regranulado de cortiça e pela terra, mas com a variante de esta já ter como adição areia fina e média, conforme Figura 23, com traços distintos 1:2 e 1:3. Nesta família já não se procedeu à execução de um bloco grande, pelo que ambos os blocos apresentam a dimensão 350x210x190 (mm), com um volume

de 0,005985 m³ para a terra e 0,00798 m³ para a zona de regranulado de cortiça. Apenas um dos blocos tem incorporada a armadura de aço com 3 mm de diâmetro, mas já sem a rede de fibra de vidro incorporada.

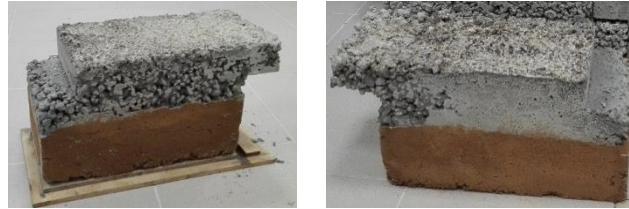


Figura 23 - Família 4: Terra com traço de areia/Regranulado de cortiça.

A Família 5 é constituída por três blocos formados pela componente de argila expandida e pela argamassa de cimento com areia, todos com dimensão 350x210x190 (mm), conforme Figura 24. O bloco mais à esquerda tem incorporada a armadura de aço com 3 mm de espessura. Os blocos pequenos apresentam 0,005985 m³ de volume para a parte interna do bloco, de maior densidade. Para a zona de baixa densidade, a volumetria é de 0,00798 m³.



Figura 24 - Família 5 Argila expandida/argamassa de cimento e areia.

Finalmente, a Família 6 é constituída por três blocos formados pelo componente de argamassa de reboco termoisolante e pela argamassa de cimento com areia, todos com dimensão 350x210x190 (mm), conforme Figura 25 . Também apenas um dos blocos tem incorporada a armadura de aço com 3 mm de diâmetro, neste caso, o da extremidade direita. Os volumes são idênticos aos da Família 5



Figura 25 - Família 6 Argamassa de reboco termoisolante/cimento e areia.

Para melhor identificar cada um dos blocos produzidos, resumiu-se no Quadro 1 a nomenclatura adotada para cada um deles, de acordo com a Família e características.

Quadro 1 - Nomenclatura de identificação dos blocos.

NOMENCLATURA DOS BLOCOS		
FAMÍLIA DE BLOCOS	BLOCO TIPO	NOME
Família 1: Reboco térmico com argamassa de cimento	500x250x190 (c/armadura #)	ISO120ArC130_Gd#F1
	350x250x190 (c/armadura #)	ISO120ArC130_Pq#F1
Família 2: Argila expandida com argamassa de cimento	500x210x190 (c/armadura #)	LEC120ArC90_Gd#F2
	350x210x190 (c/armadura #)	LEC120ArC90_Pq#F2
Família 3: Terra com regranulado de cortiça	500x210x190 (c/armadura #)	CRK120Tr90_Gd#F3
	350x210x190 (c/armadura #)	CRK120Tr90_Pq#F3
Família 4: Terra com regranulado de cortiça	350x210x190 (c/armadura #)	CRK120TrAr90_Pq#F4
	350x210x190 (s/armadura)	CRK120TrAr90_PqF4
Família 5: Argila expandida com argamassa de cimento	350x210x190 (s/armadura)	LEC120ArC90_PqF5
	350x210x190 (c/armadura #)	LEC120ArC90_Pq#F5
Família 6: Reboco térmico com argamassa de cimento	350x210x190 (s/armadura)	ISO120ArC90_PqF6
	350x210x190 (c/armadura #)	ISO120ArC90_Pq#F6
	350x210x190 (s/armadura)	ISO120ArC90_PqF6

3.2.1. Terra

A composição mineralógica desta terra compreende a presença de quartzo, feldspatos, caulinite, entre outros menos relevantes em termos de quantidade.

A terra, como elemento natural, possui uma elevada inércia térmica desde que no seu processo construtivo se esteja perante uma composição bem compactada, com espessura considerável, normalmente superior a 50 cm, como é o caso das paredes de Taipa. No presente caso de estudo, a espessura de 9 cm acaba por ser suficiente para garantir um bom valor de cálculo para a inércia térmica, uma vez que para um peso específico da terra de $1\,700\text{ kg/m}^3$, face ao número de blocos por m^2 , se atinge um peso na ordem dos $152,63\text{ kg/m}^2$, que já excede o valor de limite máximo de $M_{si} = 150\text{ kg/m}^2$ utilizado para efeitos de cálculo.

A Família 3, composta com o elemento terra, não se produziu com adição de outros componentes à argamassa, como a areia e a cal hidráulica, que já estão presentes na Família 4. O que se verificou foi uma enorme retração nos blocos, com o processo de cura.

A preparação da terra para boa execução, passou pelas seguintes fases:

- i) Desagregação dos torrões existentes, com recurso a um martelo de borracha, como forma de garantir a integridade dos agregados;
- ii) Peneiração por via seca, com recurso ao peneiro de 4 mm, com rejeição do material retido.
- iii) Homogeneização do material peneirado;

3.2.2. Areia

As areias, como produto da fragmentação das rochas por processos de erosão, têm na sua composição mineralógica a presença em maior quantidade de quartzo ou calcário, podendo desta forma classificar-se em areias siliciosas ou areias calcárias. A partir dos diâmetros equivalentes das suas partículas, há uma repartição em areias finas, areias médias e areias grossas, quer se tratem de diâmetros com variações entre os 0,06 mm e 0,20 mm para as areias finas, 0,20 mm e 0,60 mm para as areias médias e 0,60 e 2,00 mm para as areias grossas.

Para a produção dos blocos foram utilizadas duas areias, finas e médias, de natureza siliciosa, ambas fornecidas pelo ISEL.

A curva granulométrica foi cedida por (Bravo 2016) e encontra-se representada na Figura 26.

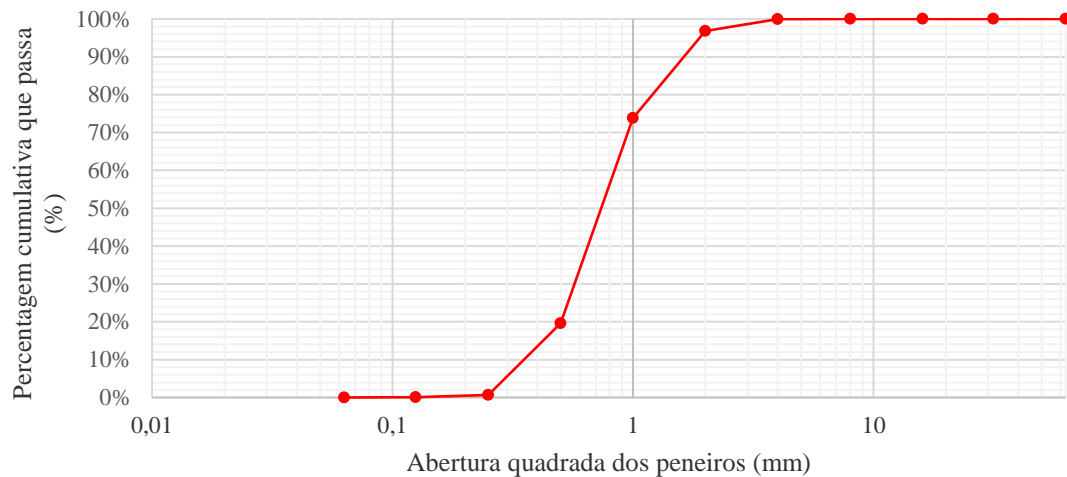


Figura 26 - Curva granulométrica das areias.

3.2.3. Cimento

O processo de fabrico de cimento é feito através da exploração das matérias-primas de uma pedreira, as quais devem conter, em determinadas proporções, cálcio, sílica, alumina e ferro, presentes no calcário e na marga. A matéria extraída é passada por um britador com o propósito de se obter material cuja dimensão seja inferior a 9 cm. Ao mesmo tempo que se efetua a redução, procura-se que a mistura dos materiais extraídos se aproxime da composição química desejada. O processo de moagem, denominado moagem de cru tem como função reduzir as matérias a uma finura elevada e fazer as correções químicas necessárias à composição pretendida, caso não tenham ficado finalizadas ao nível da pedreira.

Depois da moagem de cru vem a operação de cozedura, através da qual surge, por reações químicas complexas, um produto granulado denominado clínquer. O produto cimento é obtido através da moagem de clínquer, produto saído do forno, gesso, materiais alternativos como o calcário, cinzas volantes das centrais térmicas e ainda por outros materiais com propriedades hidráulicas. O tipo de cimento determina a composição da mistura, sendo quase sempre o clínquer maioritário.

Dentro dos tipos de cimento, o tipo I, Portland comum, é normalmente constituído por clínquer e gesso, com uma classe de resistência de 32,50 MPa até 52,50 MPa. A partir daqui, há cimentos com adição de outros constituintes, em proporções variáveis, desde escórias, pozolanas e filler com classes de resistência também variáveis, que determinam os cimentos tipo Portland II ao Portland V, de alta resistência inicial, até cimentos mais específicos como o cimento Portland resistente a sulfatos, o cimento Portland de baixo calor de hidratação e o cimento Portland branco.

O cimento utilizado na produção das argamassas dos blocos foi o Portland Tipo I Classe 32,5 MPa.

3.2.4. Cal hidráulica

A cal hidráulica foi utilizada na constituição da amassadura de ambos os componentes constituintes do bloco de terra e aglomerado negro de cortiça.

Este elemento é designado por ligante hidráulico por ter a propriedade de endurecer quando submergido em água. A cal hidráulica é obtida através da cozedura da pedra calcária, com posterior adição de materiais como o cimento, a escória granulada de alto-forno, cinzas volantes, filler calcário e outros materiais, de acordo com norma NP EN 459-1.

A cal hidráulica utilizada para a produção dos blocos foi a HL5 da empresa Cimpor.

3.2.5. Filler

Filler ou filler calcário é o produto obtido através da moagem fina de calcário, basalto e materiais carbonáticos. O filler possui uma granulometria muito fina, o que faz desse produto uma ótima associação para aumentar a trabalhabilidade das argamassas, diminuir a sua capilaridade e permeabilidade.

3.2.6. Argamassa de reboco térmico

Dentro dos produtos existentes no mercado que permitem executar isolamentos térmicos pelo exterior, a partir de argamassas pré-doseadas contínuas, aplicadas normalmente por projeção mecânica, a escolha para este trabalho, como elemento adaptado à produção de um dos blocos recaiu na argamassa de reboco termoisolante, pela sua trabalhabilidade e facilidade de produção.

Este produto é uma argamassa seca, de cor branca, com granulometria inferior a 1,5 mm, formulada a partir de ligantes mistos, agregados especiais de muito baixa densidade (poliestireno expandido) e adições, destinada à execução de rebocos exteriores e interiores de isolamento térmico. O modo de preparação para obtenção do produto em pasta consiste na adição de água. É utilizado como reboco de isolamento térmico, aplicado sobre suportes em alvenaria de tijolo, blocos de cimento ou betão, sendo constituinte do sistema de revestimento isolante que promove o tratamento térmico das paredes envolventes utilizando pano simples e/ou duplo. Pode ainda ser utilizado como betonilha aligeirada para o enchimento de pavimentos.

3.2.7. Argila expandida

A argila expandida é um material cerâmico leve com um núcleo alveolar produzido pela queima de argila natural a temperaturas entre os 1 100 °C e os 1 200 °C, num forno rotativo. A forma do agregado é esférica e as suas granulometrias variam até cerca de 32 mm.

Apresenta elevada permeabilidade ao vapor de água, baixa densidade, com valores de massa volúmica entre os 340 kg/m³ e os 360 kg/m³. Tem excelentes propriedades térmicas, bem como acústicas. Neste trabalho foi utilizada a argila expandida nas granulometrias 1 a 5 mm e 4 a 12,5 mm.

3.2.8. Regranulado de cortiça

“A cortiça é um produto natural, de origem vegetal, que provém do sobreiro. Esta árvore encontra-se amplamente difundida por toda a bacia mediterrânica, com maior predominância em Portugal continental. As suas características climáticas fazem de Portugal o habitat ideal para o desenvolvimento desta árvore.

A cortiça é constituída por 45% de suberina, 27% de lenhina, 12% de polissacarídeos, 10% de ceróides e 6% de taninos. A sua estrutura celular é de forma alveolar, semelhante a um favo de mel e é constituída por cinco camadas. As primeiras duas camadas são constituídas essencialmente por gases semelhantes ao ar, a terceira camada protege as duas anteriores, as duas últimas camadas, que sendo constituídas essencialmente por suberina, garantem a rigidez e a

textura tão características deste produto. Apresenta-se, assim, como um produto natural, reciclável e biodegradável, leve, impermeável a gases e líquidos, elástico e compressível, não alimenta a propagação da chama, resistente ao atrito e com excelentes propriedades de isolamento térmico e acústico.

O regranulado de cortiça expandida é um subproduto que provém da reciclagem das placas do aglomerado de cortiça expandida, através da trituração das mesmas. O aglomerado de cortiça expandida provém de um tipo de cortiça muito específico, a falca, tecido misto de cortiça virgem, entrecasco e lenho. Esta cortiça é proveniente das operações de poda e limpeza dos sobreiros.

Após a extração da Falca dos ramos, procede-se à sua trituração, para separação do entrecasco e posterior granulação. Os grânulos de Falca são colocados em autoclaves e expandidos, por ação do vapor de água. Uma vez que os grãos se encontram confinados ao espaço do autoclave e não tendo por onde se expandirem, os grãos de Falca libertam a sua resina. Esta resina, uma vez arrefecida, serve de aglutinador aos grãos.

Uma vez estabilizados, os blocos de aglomerado de cortiça expandida são serrados nas diferentes espessuras e embalados, com vista à sua colocação nos diferentes mercados. O aglomerado de cortiça expandida apresenta-se como um produto 100% renovável, que proporciona uma economia energética e correspondente incremento no conforto interior de uma habitação. Este produto, proporciona um isolamento natural e sustentado não comprometendo as gerações futuras em termos ambientais” (ISOCOR).

3.3. Execução das argamassas

Uma vez determinados os pesos específicos dos materiais que compõem as argamassas que constituem os blocos objeto deste estudo, através dos ensaios de baridade descritos no capítulo 4 do presente relatório, definiram-se as quantidades de cada componente para cada tipo de argamassa. A quantidade de água determinou-se pela visualização da consistência e trabalhabilidade da argamassa, uma vez que a mesma não se pôde apresentar nem muito fluida nem demasiado rígida, de forma a que se evitasse a hidratação de uma argamassa através da outra, ou um excesso de água.

A execução das argamassas envolveu a mistura de todos os componentes, com a respetiva adição de água, numa máquina de mistura mecânica rotativa, com pás, até obtenção de uma pasta homogénea e fluida quanto baste.

Para a mistura de areia fina, areia grossa, cimento e filler, as dosagens utilizadas compreenderam as quantidades apresentadas no Quadro 2, para a Família 1 de blocos.

Quadro 2 - Dosagens para argamassa de areia e cimento Família 1.

RELAÇÃO DOS MATERIAIS PARA A ARGAMASSA DE AREIA E CIMENTO DOS BLOCOS DA FAMÍLIA 1					
AGREGADO	MASSA ESPECÍFICA (Kg/m ³)	VOLUME DOS MOLDES (m ³)	TRAÇO EM MASSA	RELAÇÃO ÁGUA/LIGANTE	QUANTIDADES+EXCEDENTE(kg)
Areia fina	1468,3	0,01205	1:6	1:1,07	15,00
Areia grossa	1568,5				16,00
Cimento	1058,78	0,00835	1:1:2:2		6,00
Filler	1141,22				6,00

Para a mistura de areia fina, areia grossa, cimento e filler, as dosagens utilizadas compreenderam as quantidades apresentadas no Quadro 3, para a Família 2 de blocos.

Quadro 3 - Dosagens para argamassa de areia e cimento Família 2.

RELAÇÃO DOS MATERIAIS PARA A ARGAMASSA DE AREIA E CIMENTO DOS BLOCOS DA FAMÍLIA 2					
AGREGADO	MASSA ESPECÍFICA (Kg/m ³)	VOLUME DOS MOLDES (m ³)	TRAÇO EM MASSA	RELAÇÃO ÁGUA/LIGANTE	QUANTIDADES+EXCEDENTE(kg)
Areia fina	1468,3	0,00825	1:6	1:1,16	8,00
Areia grossa	1568,5				9,00
Cimento	1058,78	0,00599	1:1:2:2		4,00
Filler	1141,22				4,00

Para a mistura de areia fina, areia grossa, cimento e filler, as dosagens utilizadas compreenderam as quantidades apresentadas no Quadro 4, para as Famílias 5 e 6 de blocos.

Quadro 4 - Dosagens para argamassa de areia e cimento Famílias 5 e 6.

RELAÇÃO DOS MATERIAIS PARA A ARGAMASSA DE AREIA E CIMENTO DOS BLOCOS DAS FAMÍLIAS 5 E 6					
AGREGADO	MASSA ESPECÍFICA (Kg/m ³)	VOLUME DOS MOLDES (m ³)	TRAÇO EM MASSA	RELAÇÃO ÁGUA/LIGANTE	QUANTIDADES+EXCEDENTE(kg)
Areia fina	1468,3	0,00599	1:6	1:1,00	12,00
Areia grossa	1568,5				13,00
Cimento	1058,78		1:1:2:2		4,50
Filler	1141,22				4,75

Fica assim definida a componente que se pretende que conduza à propriedade de boa inércia térmica dos blocos das Famílias 1, 2, 5 e 6. Esta argamassa foi preparada na misturadora de pás com um tempo de amassadura de 2 minutos ao longo do qual se foi adicionando a água, com mais 1 minuto final de mistura até ao repouso e posterior enchimento dos moldes.

Relativamente aos blocos de terra das Famílias 3 e 4, a distinção que há a fazer entre os dois conjuntos deve-se à não adição de areia nos blocos da Família 3, aquando da execução da amassadura com terra, como já anteriormente se referiu. Esta opção permitiu perceber a enorme retração que se verifica nos blocos que não têm a adição deste agregado e, conseqüentemente, a inviabilização deste caminho, conforme se pode verificar nas imagens da Figura 27. A quantidade de terra utilizada para execução dos blocos da Família 3, nomeadamente o bloco grande com $0,00855 \text{ m}^3$ e o bloco pequeno com $0,00599 \text{ m}^3$, foi de 27,46 kg, com uma adição de 7,40 l de água.



Figura 27 - Blocos de terra CRK120Tr90_Gd#F3 e CRK120Tr90_Pq#F3.

Apesar das enormes fissuras devido à retração na cura dos blocos, os mesmos apresentavam coesão, tanto nos compostos, de uma forma individual, como na ligação entre as duas camadas.

Os blocos de terra da Família 4, Figura 28, foram executados com uma argamassa de terra e areia, com uma adição final de cal hidráulica em cerca de 10% em peso ao conjunto de terra e areia. Sendo esta Família constituída por dois blocos, cada um deles foi produzido com um traço diferente. Assim, um dos blocos foi executado com uma argamassa de terra e areia ao traço 1:2 e o outro bloco foi executado com uma argamassa de terra e areia ao traço 1:3. Traduzindo em quantidades, no primeiro caso utilizaram-se 3,77 kg de terra para 6,51 kg de areia fina e 1,62 kg de cal hidráulica. A adição de água traduziu-se em 3,30 l. Para o traço 1:3 utilizaram-se 2,83 kg de terra para 7,32 kg de areia fina e 2,16 kg de cal hidráulica, com uma adição de 2,70 l de água.



Figura 28 - Blocos de terra da Família 4 (traço 1:3 e traço 1:2).

A mistura decorreu com a adição dos três componentes no balde da máquina, tendo a água sido adicionada apenas quando se verificou que todos os componentes já se encontravam devidamente misturados, para garantir a total integração de forma homogénea dos diferentes materiais (Figura 29).



Figura 29 - Execução da mistura de terra.

Para completar os blocos, no que diz respeito à face exterior dos mesmos, como já foi referenciado, a sua execução partiu de materiais com boa resistência térmica.

No caso dos blocos da Família 1 e da Família 6 a constituição deste componente foi uma argamassa térmica pré-doseada à base de poliestireno expandido, como já referido. Para a sua preparação bastou adicionar água, em quantidade suficiente para permitir a trabalhabilidade do material e alguma fluidez para o enchimento do molde, o que para este caso se determinou em 5.00 l de água para 6.50 kg de argamassa de reboco termoisolante para a Família 1 e 7.10 l de água para 10.00 kg do mesmo produto para a Família 6. A Figura 30 demonstra o processo de enchimento dos moldes da Família 1, destacando-se as dificuldades sentidas em manter o posicionamento correto da rede de fibra de vidro colocada na armadura de aço e o preenchimento integral e compactação de todos os espaços do molde com a argamassa termoisolante, dada a sua baixa densidade.



Figura 30 - Enchimento dos moldes dos blocos com argamassa de reboco termoisolante.

Para as Famílias 2 e 5, o composto exterior foi uma argamassa composta por argila expandida nas granulometrias 5 a 12 mm e 1 a 5 mm, areia fina, cimento e água, nas proporções descritas no Quadro 5.

Quadro 5 - Quantidade de mistura dos compostos da argamassa de argila expandida das Famílias 2 e 5

RELAÇÃO DOS MATERIAIS PARA A ARGAMASSA TÉRMICA DE ARGILA EXPANDIDA DOS BLOCOS DAS FAMÍLIAS 2 E 5				
AGREGADO	MASSA ESPECÍFICA (Kg/m ³)	VOLUME DOS MOLDES (m ³)	QUANTIDADE (%)	RELAÇÃO ÁGUA/LIGANTE
Argila expandida [5 a 12 (mm)]	480	0,01205	50%	1:1,38
Argila expandida [1 a 5 (mm)]	430		25%	
Cimento	1058,78	0,00599	10%	
Areia fina	1468,3		15%	

A mistura dos diferentes compostos começou, numa primeira fase, pela adição das duas granulometrias de argila expandida, média e pequena, da areia fina e da água na misturadora de pás, dada a grande capacidade de absorção de água pela argila expandida. Após um tempo de cerca de 2 minutos de rotação, adicionou-se o cimento e deixou-se envolver o composto durante mais 1 minuto de mistura, até ao repouso e posterior enchimento dos moldes.

A Figura 31 demonstra o enchimento dos moldes da Família 5 destes blocos térmicos com boa inércia térmica, onde é visível um primeiro enchimento correspondente à argamassa de areia e cimento e posteriormente, o enchimento final com a argamassa de argila expandida.



Figura 31 - Enchimento dos moldes dos blocos da Família 5 com argamassa de argila expandida.

Como é igualmente possível visualizar, há um bloco com a armadura de aço de 3 mm incorporada, sem a rede de fibra de vidro conjunta, designadamente o bloco LEC120ArC90_Pq#F5. O aspeto final dos blocos destas duas famílias está patente nas Figura 21 e Figura 24, deste trabalho.

Finalmente, para as Famílias 3 e 4, de natureza ecológica, o composto exterior com regranulado de cortiça teve como adjuvantes o cimento e a cal hidráulica em quantidades iguais e noutra quantidade, descrita no Quadro 6 , a areia e a água.

Quadro 6 - Quantidade de mistura dos compostos da argamassa de regranulado de cortiça das Famílias 3 e 4

RELAÇÃO DOS MATERIAIS PARA A ARGAMASSA TÉRMICA DE REGRANULADO DE CORTIÇA DOS BLOCOS DAS FAMÍLIAS 3 E 4					
AGREGADO	MASSA ESPECÍFICA (kg/m ³)	VOLUME DOS MOLDES (m ³)	TRAÇO EM MASSA	RELAÇÃO ÁGUA/LIGANTE	RELAÇÃO DO TRAÇO
Regranulado de cortiça	65 a 80	0,01140	1:10	1:1,27	6
Cal hidráulica	812,22				1
Cimento	1058,78	0,00798	1:1:2:6		1
Areia fina	1468,3				2

A mistura, à semelhança do composto de argila expandida, começou numa primeira fase com a adição do regranulado de cortiça, da areia e alguma quantidade de água na misturadora de pás e só depois de visualizada uma consistência homogênea e saturada da mistura, se adicionou a cal hidráulica, o cimento e a restante água. Na Figura 32 visualiza-se a argamassa já colocada nos moldes, neste caso para a produção dos blocos CRK120Tr90_Gd#F3 e CRK120Tr90_Pq#F3.



Figura 32 - Enchimento dos moldes da Família 3

Finalizada a execução de todas as seis famílias, antes da execução dos ensaios, todos os blocos foram pesados e permaneceram durante 60 dias, no mínimo, numa sala fechada, com uma humidade relativa de 42%.

No Quadro 7 estão referenciados os pesos em massa e datas de fabrico de todos os blocos.

Quadro 7 - Massa e datas de fabrico dos blocos.

QUADRO DE PESAGEM DOS BLOCOS			
FAMÍLIA DE BLOCOS	BLOCO TIPO	MASSA(g)	DATA DE FABRICO
Família 1: Reboco térmico com argamassa de cimento	500x250x190 (c/armadura)	28 453	13-05-2016
	350x250x190 (c/armadura)	19 480	13-05-2016
Família 2: Argila expandida com argamassa de cimento	500x210x190 (c/armadura)	28 820	20-05-2016
	350x210x190 (c/armadura)	20 440	20-05-2016
Família 3: Terra com regranulado de cortiça	500x210x190 (c/armadura)	25 887	15-07-2016
	350x210x190 (c/armadura)	16 287	15-07-2016
Família 4: Terra com regranulado de cortiça	350x210x190 (c/armadura)	17 960	22-07-2016
	350x210x190 (s/armadura)	18 225	22-07-2016
Família 5: Argila expandida com argamassa de cimento	350x210x190 (s/armadura)	17 641	05-08-2016
	350x210x190 (c/armadura)	19 710	05-08-2016
	350x210x190 (s/armadura)	19 841	05-08-2016
Família 6: Reboco térmico com argamassa de cimento	350x210x190 (s/armadura)	15 473	09-09-2016
	350x210x190 (c/armadura)	15 575	09-09-2016
	350x210x190 (s/armadura)	16 186	09-09-2016

3.4. Resultados escolhidos

O critério final para o fabrico dos blocos assentou na produção de três diferentes tipos de unidades, mas todos com a mesma dimensão 350x210x190 (mm), conforme se pode verificar pelas Famílias 4, 5 e 6, com ou sem armaduras incorporadas:

- Um bloco bicomponente composto por uma argamassa de reboco termoisolante de ligantes mistos e agregados especiais de muito baixa densidade e uma argamassa de cimento e areia (Figura 33);
- Um bloco bicomponente composto por argamassa de argila expandida e uma argamassa de cimento e areia (Figura 34);
- Um bloco bicomponente composto por uma argamassa de regranulado de cortiça e uma argamassa de terra com mistura de areia (Figura 35).



Figura 33- Bloco 350x210x190 Argamassa termoisolante e argamassa de cimento e areia



Figura 34-Bloco 350x210x190 argamassa com argila expandida e argamassa de cimento e areia



Figura 35-Bloco 350x210x190 de terra e regranulado de cortiça

4. ENSAIOS EXPERIMENTAIS

Os ensaios que são efetuados em elementos como os tijolos ou os blocos de alvenaria apresentam exigências normativas específicas que estão definidas nas Normas que se apresentam no Quadro 8 para elementos cerâmicos de tijolo ou blocos, a partir da norma europeia EN 771-1 para valores de tolerâncias e da norma EN 772 para métodos de ensaio.

Quadro 8 - Normas de ensaios em elementos cerâmicos.

NORMA	ENSAIO	NORMA	TOLERÂNCIA/CLASSE/ CATEGORIA	
NP EN 772-1	Resistência à compressão	EN 771-1	Categoria I ou II	
EN 772-3	Pesagem hidrostática (% vazios e volume líquido)			
EN 772-5	Teor de sais solúveis ativos		S0, S1 ou S2	
EN 772-7	Absorção de água (água em ebulição)			
EN 772-11	Taxa inicial de absorção de água			
EN 772-13	Massa volúmica aparente e absoluta secas		D1, D2 ou D0	
EN 772-16	Determinação das dimensões		T1, T2 ou T0 ; R1, R2 ou R0	
EN 772-19	Expansão por humidade			
EN 772-22	Resistência a ciclos gelo-degelo		F0, F1 ou F2	
EN 1745	Método para a determinação dos valores térmicos declarados e de projeto			
EN 13501-1	Classificação ao fogo de produtos de construção-Parte 1: Classificação usando resultados de ensaios de reação ao fogo			Classe A1 (sem necessidade de ensaios) ou outra classe
NP EN 1052-2	Resistência à flexão			
NP EN 1052-3	Resistência inicial ao corte			

Para os ensaios de resistência à compressão, a Categoria I representa os elementos com tensão de compressão com um nível de confiança superior a 95%. A Categoria II representa os elementos que não cumprem o nível de confiança previsto para a categoria I.

Para os ensaios determinísticos da massa volúmica aparente e absoluta secas, D1 permite uma tolerância num máximo de 10%; D2 num máximo de 5% e D0 é atribuído a um desvio em percentagem declarado pelo fabricante.

Em termos de dimensões médias do material, a tolerância T1 é atribuída quando há diferenças dimensionais de $\pm 0.4 \cdot \sqrt{\text{dimensão de fabrico (mm)}}$ com o máximo de 3 mm; a tolerância T2 quando há diferenças dimensionais de $\pm 0.25 \cdot \sqrt{\text{dimensão de fabrico (mm)}}$ com o máximo de 2 mm e, por fim, a tolerância T0 representa o desvio em mm declarado pelo fabricante.

Para dimensões limite, a tolerância R1 representa diferenças dimensionais de $\pm 0.6 \cdot \sqrt{\text{dimensão de fabrico}(mm)}$, a tolerância R2 representa diferenças dimensionais de $\pm 0.3 \cdot \sqrt{\text{dimensão de fabrico}(mm)}$ e a tolerância R0 representa os limites em (mm) declarados pelo fabricante.

Nos ensaios de resistência a ciclos de gelo-degelo, importante para tijolos ou blocos de face à vista, a categoria F0 representa a designação de exposição passiva, ou seja, alvenaria ou elementos de alvenaria que não serão expostos à humidade e condições de gelo. A categoria F1 representa a designação de exposição moderada, isto é, alvenaria ou elementos de alvenaria que estão expostos à humidade e ciclos de gelo e degelo. Por último, a categoria F2 representa a designação de exposição severa, o que significa alvenaria ou elementos de alvenaria que estão sujeitos à saturação com água, combinada com ciclos frequentes de gelo e degelo, devido às condições climáticas e ausência de elementos de proteção.

Na classificação ao fogo em produtos da construção, a Classe A1 engloba os elementos que contenham homogeneamente distribuídos materiais orgânicos até um máximo de 1,0% da sua massa ou volume, pelo que são classificados na classe A1 de resistência ao fogo sem necessitarem de ensaios.

Para a classificação dos teores de sais solúveis, conforme Quadro 9 e de acordo com a Norma EN 771-1 (Dias 2002).

Quadro 9 - Classificação dos teores de sais solúveis.

CATEGORIA	PERCENTAGEM DE MASSA NÃO SUPERIOR A	
	Na ⁺ + K ⁺	Mg ²⁺
S0	requisitos não especificados	requisitos não especificados
S1	0,17	0,08
S2	0,06	0,03

Para os blocos em estudo procederam-se apenas a ensaios de resistência à compressão, ensaios de taxa inicial de absorção de água, ensaios de flexão e massa volúmica aparente e absoluta secas.

Foram determinados, noutra perspetiva, os ensaios de caracterização térmica dos blocos, através da determinação do coeficiente de condutibilidade térmica de ambos os componentes dos blocos.

4.1. Ensaio de resistência à compressão

Para o ensaio de resistência à compressão, o objetivo deste ensaio foi o de determinar a resistência mecânica dos blocos. O ensaio consistiu na aplicação de uma carga uniformemente distribuída sobre um prato de secção 210x210 (mm), com intensidade crescente até à rotura, a uma velocidade de 13 500,00 N/s (Figura 36).



Figura 36 - Ensaio de resistência à compressão.

Neste ensaio, a Família 3 ficou excluída do procedimento por não terem sido produzidos blocos em conformidade na componente de terra. Apenas foram ensaiados os blocos de comprimento 350 mm de cada família.

O Quadro 10 apresenta os resultados obtidos.

Quadro 10 - Resultados do ensaio à compressão.

ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO				
Família	Bloco	Nome	Força (kN)	Tensão (MPa)
1	350x250x190	ISO120ArC130_Pq#F1	179,40	4,07
2	350x210x190	LEC120ArC90_Pq#F2	370,50	8,40
4	350x210x190	CRK120TrAr90_PqF4	59,50	1,35
5	350x210x190	LEC120ArC90_Pq#F5	293,70	6,66
5	350x210x190	LEC120ArC90_PqF5	217,70	4,94
5	350x210x190	LEC120ArC90_PqF5	309,90	7,03
6	350x210x190	ISO120ArC90_Pq#F6	233,50	5,29
6	350x210x190	ISO120ArC90_PqF6	250,20	5,67
6	350x210x190	ISO120ArC90_PqF6	274,30	6,22

Comparando as Famílias de blocos 5 e 6 nas Figura 37 e Figura 38, consegue-se perceber que apesar de ambas terem na sua constituição a argamassa de cimento e areia na componente da face interior dos blocos, os diferentes compostos das faces exteriores, nomeadamente a argamassa de

reboco termoisolante para a Família 6 e a argamassa de argila expandida, areia e ligante de cimento para a Família 5, conferem, naturalmente, resistências diferentes às peças, por variação da sua massa específica.

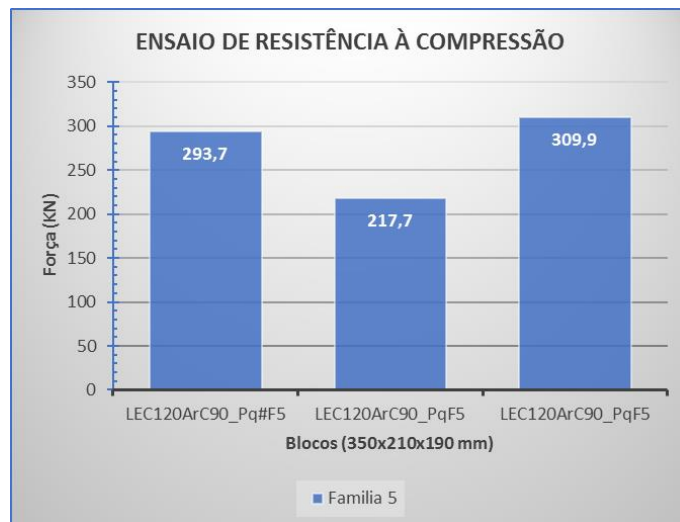


Figura 37 - Valores obtidos no ensaio de resistência à compressão para a Família 5.

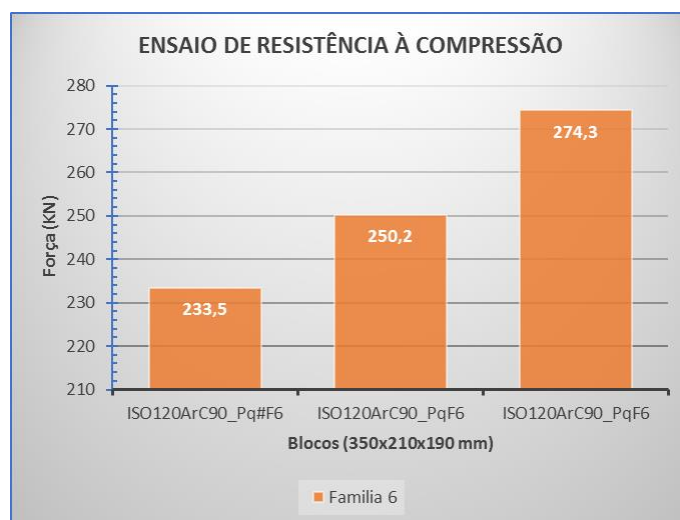


Figura 38 - Valores obtidos no ensaio de resistência à compressão para a Família 6.

Do ensaio há que referir, igualmente, que o valor da força de rotura obtido no bloco ISO120ArC130_Pq#F1 em 179,40 kN é completamente descaracterizado da média de valores de rotura apurada, em 265,65 kN, para blocos com a mesma constituição e que o valor obtido pelo bloco de terra CRK120TrAr90_PqF4 em 59,50 kN confirma a baixa resistência à compressão deste tipo de argamassa. Dado o número reduzido de amostras não se determinou o desvio padrão.

Ainda assim, é possível verificar que mesmo a partir do valor 175,40 kN se consegue obter uma tensão muito próxima dos 41,00 Kgf/cm², apesar de só atingir a Classe C para o valor mínimo obtido pelo bloco LEC120ArC90_PqF5 em 309,90 kN, a que correspondem 71,70 Kgf/cm², de acordo com a NP 80 para tijolos cerâmicos e tijolos maciços ou perfurados que define três classes de resistência mecânica, A, B e C, num mínimo de 15,00 kgf/cm² e 70,00 Kgf/cm², respetivamente (Quadro 11).

Quadro 11 - Classes de resistência mecânica segundo a NP80.

Classe	Valor mínimo (Kgf/cm ²)	
	Tijolo furado	Tijolo maciço ou perfurado
A	45	140
B	30	100
C	15	70

Daqui se conclui que a repartição da secção do prato onde é exercida a força do aparelho, pela área maciça (interior) e pela área exterior dos blocos, descaracteriza o ensaio, para valores mais baixos, caso o mesmo fosse executado exclusivamente na zona da face interior do bloco. Aos valores obtidos, apenas o valor de 309,90 kN do bloco LEC120ArC90_PqF5 está enquadrado na Classe C da NP80, uma vez ter sido obtida uma tensão com o valor 71,71 Kgf/cm², muito por haver mais resistência por parte da componente exterior em argamassa de argila expandida e areia. Daí também a importância de uma boa execução da amassadura da argamassa desta componente e os cuidados na sua colocação no molde, uma vez que pode comprometer a classificação dos mesmos para este tipo de ensaio, como é o caso desta família.

Contudo, enquanto que a norma portuguesa especifica os valores a atingir para cada característica, a norma europeia especifica apenas as características e as tolerâncias admissíveis na norma EN 771-1 e os métodos de ensaio nas normas da série EN 772. Esta situação permite que cada produtor declare os valores que garante para os seus produtos, obrigando por sua vez, o comprador a definir as exigências para a aplicação pretendida (Dias 2002).

Assim, definir-se-iam estes blocos na Categoria II, segundo a norma. EN 771-1.

Este ensaio decorreu no departamento de Engenharia Civil do ISEL.

4.2. Ensaio de resistência à flexão simples

Para o ensaio de resistência à flexão foram utilizados os blocos de maior dimensão das Famílias 1 e 2, nomeadamente o bloco ISO120ArC130_Gd#F1 executado com argamassa de cimento e areia com argamassa de reboco termoisolante e o bloco LEC120ArC90_Gd#F2 executado com argamassa de cimento e areia com argila expandida. Ambos armados internamente com a armadura de aço de 3 mm de espessura.

Não é possível enquadrar este tipo de blocos no conceito de estrutura com alvenarias resistentes, de acordo com os Eurocódigos 6 e 8, uma vez que não ficou previsto nenhum estudo de ligação de continuidade entre blocos, com algum tipo de armadura em aço ou outra forma de uniformização de juntas horizontais, bem como montantes verticais de confinamento, de forma a tornar um pano de alvenaria como uma peça única resistente a esforços de flexão e corte.

O ensaio serviu apenas para registar valores para futuras abordagens a este conceito (Quadro 12).

Quadro 12 - Ensaio de flexão.

Família	Nomenclatura do bloco	Valor (KN)	Tensão(Mpa)
1	ISO120ArC130_Gd#F1	24,78	0,20
2	LEC120ArC90_Gd#F2	41,90	0,40

Conforme se pode ver pela Figura 39 a força aplicada é concentrada a meio vão da peça que se encontra simplesmente apoiada, com 250 mm de distância entre apoios e 125 mm em consola.



Figura 39 - Ensaio de flexão aos blocos.

Também neste ensaio é patente a diferença de valores entre blocos, devido à diferença existente na composição do elemento da face exterior dos mesmos, traduzida numa grande diferença de

valores das massas específicas. Em ambos os casos a rotura verificou-se na zona de tração das fibras, a meio do comprimento longitudinal dos blocos, como expectável (Figura 40).



Figura 40 - Rotura por flexão.

Este ensaio decorreu no departamento de Engenharia Civil do ISEL.

4.3. Ensaio de caracterização térmica

Nos ensaios de caracterização térmica dos diferentes tipos de blocos determinou-se o coeficiente de condutibilidade térmica de cada componente através de um ensaio com recurso a um aparelho de medição térmica denominado Isomet 2104 (Figura 41). O modo de funcionamento deste aparelho consiste na resposta à emissão de impulsos de fluxos de calor através de sondas circulares ou de agulha que ficam em contacto com a superfície da amostra em estudo. O fluxo de calor é induzido num resistor da sonda, eletricamente, transformando a energia elétrica em térmica. A temperatura é registada e avaliada através de regressões polinomiais. O valor do coeficiente de condutibilidade térmica λ é obtido em cerca de 10 minutos. Devem ser feitas três leituras para obtenção deste parâmetro em cada amostra. O erro de medida, segundo o manual do aparelho pode ser até 5% da leitura obtida, acrescida de 0,001W/(m °C).



Figura 41 - Medição com aparelho térmico Isomet 2104.

A superfície da amostra deve ser o mais lisa possível para que o fluxo de calor emitido pela sonda, no caso da sonda circular, não tenha perdas no contacto entre as duas faces. Esta situação obrigou a que as determinações dos valores se fizessem nas laterais dos blocos, caso contrário a fiabilidade dos valores obtidos ficaria comprometida, principalmente nas famílias de blocos com argila expandida e com regranulado de cortiça, conforme se pode ver na Figura 42 na obtenção dos valores nas duas superfícies do mesmo bloco.



Figura 42 - Determinação do coeficiente de condutibilidade térmica nos dois componentes do bloco.

No Quadro 13 estão registados os valores de λ [W/(m.°C)] obtidos a partir do qual é possível determinar o valor da transmissão térmica U [W/(m² °C)] dos blocos.

Quadro 13 - Valores do coeficiente de condutibilidade térmica λ .

FAMÍLIA	BLOCO	FACE EXTERIOR DO BLOCO			FACE INTERIOR DO BLOCO		
		MEDIÇÃO λ [W/(m.°C)]			MEDIÇÃO λ [W/(m.°C)]		
		1ª Medição	2ª Medição	3ª Medição	1ª Medição	2ª Medição	3ª Medição
1	ISO120ArC130_Gd#F1	0,0822	0,0821	0,0787	2,020	2,480	2,230
	ISO120ArC130_Pq#F1	0,0802	0,0804	0,0793	1,380	1,830	2,770
2	LEC120ArC90_Gd#F2	0,1660	0,2370	0,1430	3,750	3,400	2,940
	LEC120ArC90_Pq#F2	0,1970	0,2320	0,2230	3,500	3,960	2,280
3	CRK120Tr90_Gd#F3	0,2530	0,2350	não conclusivo	0,832	0,839	não conclusivo
4	CRK120TrAr90_Pq#F4	0,3420	0,3160	0,3220	0,576	0,553	0,541
5	LEC120ArC90_PqF5	0,1910	0,0958	não conclusivo	3,140	2,620	3,050
	LEC120ArC90_Pq#F5	0,3000	0,2320	0,2540	2,390	1,800	não conclusivo
	LEC120ArC90_PqF5	0,3000	0,2570	0,1020	2,330	3,890	3,200
6	ISO120ArC90_PqF6	0,0820	0,0889	0,0813	1,790	2,720	1,920
	ISO120ArC90_Pq#F6	0,0984	0,1020	0,0987	3,520	3,300	2,520
	ISO120ArC90_PqF6	0,0940	0,0960	0,0903	3,210	3,360	2,400

Apurados os valores do coeficiente de condutibilidade térmica e determinada a média efetiva das leituras feitas, procedeu-se ao cálculo do coeficiente de transmissão térmica U [$W/(m^2 \text{ } ^\circ C)$], conforme Quadro 14.

Quadro 14 - Valores do coeficiente de transmissão térmica U .

FAMÍLIA	BLOCO	FACE EXTERIOR DO BLOCO			FACE INTERIOR DO BLOCO			RESISTIVIDADE [$(m^2 \text{ } ^\circ C)/W$]	COEFICIENTE TRANSMISSÃO TÉRMICA U [$W/(m^2 \text{ } ^\circ C)$]
		MÉDIA λ [$W/(m \text{ } ^\circ C)$]	DESVIO PADRÃO	MÉDIA APURADA λ [W/(m.°C)]	MÉDIA λ [$W/(m \text{ } ^\circ C)$]	DESVIO PADRÃO	MÉDIA APURADA λ [$W/(m \text{ } ^\circ C)$]		
1	ISO120ArC130_Gd#F1	0,0810	0,00199	0,0810	2,2433	0,23029	2,2433	1,54	0,65
	ISO120ArC130_Pq#F1	0,0800	0,00059	0,0800	1,9933	0,70925	2,2433	1,56	0,64
2	LEC120ArC90_Gd#F2	0,1820	0,04900	0,1820	3,3633	0,40624	3,5750	0,68	1,46
	LEC120ArC90_Pq#F2	0,2173	0,01818	0,2173	3,2467	0,86818	3,7300	0,58	1,74
3	CRK120Tr90_Gd#F3	0,2440	0,01273	0,2440	0,8355	0,48239	0,8355	0,60	1,67
4	CRK120TrAr90_Pq#F4	0,3267	0,01838	0,3267	0,5567	0,01779	0,5567	0,53	1,89
5	LEC120ArC90_Pq#F5	0,1434	0,06732	0,1434	2,9367	0,27791	3,0950	0,87	1,15
	LEC120ArC90_Pq#F5	0,2620	0,03470	0,2620	2,0950	1,24500	3,0950	0,49	2,05
	LEC120ArC90_Pq#F5	0,2197	0,10415	0,2785	3,1400	0,78173	3,0950	0,46	2,17
6	ISO120ArC90_Pq#F6	0,0841	0,00420	0,0841	2,1433	0,50362	1,8550	1,48	0,68
	ISO120ArC90_Pq#F6	0,0997	0,00200	0,0997	3,1133	0,52548	3,4100	1,23	0,81
	ISO120ArC90_Pq#F6	0,0934	0,00289	0,0934	2,9900	0,51643	3,2850	1,31	0,76

Este ensaio decorreu no departamento de Engenharia Civil da Universidade Nova.

4.4. Ensaio de determinação da baridade

O ensaio de obtenção da baridade dos materiais foi determinado com base na norma NP EN 1097-3 [IPQ, 2000]. A determinação da baridade baseia-se na determinação da massa de material seco que preenche um contentor cilíndrico estanque de capacidade conhecida e é necessária para se poder medir rigorosamente o traço da argamassa em massa, correspondendo-o em traço volumétrico.

Os passos de execução do procedimento começaram pela colocação do material por gravidade para dentro de um recipiente cilíndrico colocado numa superfície plana. Quando o recipiente ficou cheio, alisou-se a superfície e pesou-se. Este procedimento foi repetido mais duas vezes, sendo apurada a baridade média final. É de referir que o volume do recipiente já tinha sido determinado, pelo que não foi necessário realizar o ensaio para o determinar.

A baridade do material é obtida pela Expressão 5, em que B representa a baridade de dado material (kg/m^3), $m_{(r+m)}$ a massa do recipiente com o material (g), m_r a massa do recipiente (g) e, por fim, V_r representa o volume do recipiente cilíndrico ($0,003 m^3$).

$$B = \frac{m_{(r+m)} - m_r}{V_r}$$

Expressão 5 - Baridade

No Quadro 15 estão representados os materiais e respetivas baridades apuradas.

Quadro 15 - Baridade dos materiais

MATERIAL	BARIDADE (Kg/m ³)
Cimento	1058,78
Filler	1141,22
Areia fina	1468,30
Areia grossa	1568,50
Cal hidráulica	812,22

De referir que previamente se prepararam os materiais segundo a Norma, nomeadamente na secagem em estufa a 95°C, neste caso por períodos de vinte e quatro horas, com posteriores pesagens até não haver diferenças superiores a 0,1% para valores de massa constante.

O valor da baridade dos materiais como a argamassa de reboco termoisolante é de 450 kg/m³, o regranulado de cortiça varia entre os 65 kg/m³ e os 80 kg/m³ e a argila expandida é de 430 kg/m³, conforme descrição nas fichas técnicas dos produtos.

4.5. Ensaio de taxa inicial de absorção de água

Os blocos são constituídos por argamassas porosas e como tal têm capacidade para absorver elementos no estado líquido, como a água. A absorção de água pode fazer-se, nestes casos, de duas formas, como sendo devido à pressão hidráulica associada normalmente à imersão e por capilaridade. Por imersão, as argamassas estão totalmente em contacto com água e a absorção ocorre através de todas as faces dos provetes pela ação da gravidade e da pressão que a água exerce no sentido de ocupar o espaço preenchido por ar. Na absorção por capilaridade, normalmente há apenas uma face em contacto com a água, e a absorção desenvolve-se por fenómenos de sucção, em sentido contrário ao da gravidade (Páscoa 2012).

A finalidade deste ensaio foi a de determinar o coeficiente de capilaridade (CC), que traduz a velocidade de absorção de água capilar, rápida numa fase inicial e mais lenta numa fase posterior. Note-se, no entanto, que os blocos não estão destinados a serem expostos à água, ainda que na prática este ensaio possa servir para determinar a necessidade de molhagem no assentamento. Não

foram ensaiados os blocos de terra para evitar a degradação dos mesmos. O ensaio foi realizado na sala condicionada à temperatura de $20\pm 2^\circ\text{C}$ e humidade relativa de $45\pm 5\%$.

Como preparação inicial, os blocos foram pesados numa balança de precisão de 0,001 g e colocados na estufa a 95°C durante pelo menos 48 h, até atingirem condições de massa constante. Os blocos foram novamente pesados na balança de precisão, registando a massa seca. De seguida foi preparado um tabuleiro metálico com água no fundo, de modo a garantir um ambiente saturado húmido. No interior do tabuleiro foi colocada uma base rígida nivelada e sobrelevada em relação à base, onde se colocaram os blocos. Adicionou-se água no interior do tabuleiro até perfazer uma lâmina de água de 10 mm de altura a partir da base rígida, tendo esta altura de água sido medida com uma régua e mantida ao longo do ensaio (Figura 43).



Figura 43 - Ensaio de absorção de água.

No Quadro 16 apresentam-se os resultados do ensaio, bem como os valores de quantidade de água absorvida expressa pela Expressão 6.

$$M = \frac{m_i - m_0}{S} \text{ (kg/m}^2\text{)}$$

Expressão 6 - Quantidade de água absorvida.

em que m_i representa a massa do bloco no instante i (kg), m_0 representa a massa do bloco no instante inicial (kg) e S a secção do bloco em contacto com a água [$0,19 \times 0,13$ (m^2)].

Quadro 16 - Valores para determinação do coeficiente de capilaridade.

FAMÍLIA	BLOCOS (mm)	MASSA CONSTANTE (kg)	PESO (kg)								
			60 min.	120 min.	300 min.	1440 min.	1740 min.	2880 min.	3180 min.	7200 min.	7500 min.
1	ISO120ArC130_Pq#F1	18,460	18,560	18,600	18,677	19,027	19,098	19,305	19,357	19,871	19,899
2	LEC120ArC90_Pq#F2	19,210	19,265	19,295	19,358	19,710	19,773	19,949	19,988	20,353	20,373
5	LEC120ArC90_PqF5	18,514	18,537	18,546	18,566	18,644	18,661	18,708	18,718	18,841	18,849
	LEC120ArC9_Pq#F5	18,407	18,451	18,475	18,521	18,695	18,726	18,817	18,839	19,070	19,084
6	ISO120ArC90_Pq#F6	13,814	13,856	13,879	13,921	14,107	14,141	14,237	14,255	14,454	14,463
	ISO120ArC90_Pq#F6	13,854	13,918	13,946	14,008	14,235	14,277	14,386	14,414	14,652	14,665
FAMÍLIA	BLOCOS (mm)	SECCÃO (m2)	QUANTIDADE DE ÁGUA ABSORVIDA M (Kg/m ²)								
			$\sqrt{60}$	$\sqrt{120}$	$\sqrt{300}$	$\sqrt{1440}$	$\sqrt{1740}$	$\sqrt{2880}$	$\sqrt{3180}$	$\sqrt{7200}$	$\sqrt{7500}$
1	ISO120ArC130_Pq#F1	0,15X0,19	3,51	4,91	7,61	19,89	22,39	29,65	31,47	49,51	50,49
2	LEC120ArC90_Pq#F2	0,15X0,19	1,93	2,98	5,19	17,54	19,75	25,93	27,30	40,11	40,81
5	LEC120ArC90_PqF5	0,15X0,19	0,81	1,12	1,82	4,56	5,16	6,81	7,16	11,47	11,75
	LEC120ArC9_Pq#F5	0,15X0,19	1,54	2,39	4,00	10,11	11,19	14,39	15,16	23,26	23,75
6	ISO120ArC90_PqF6	0,15X0,19	1,47	2,28	3,75	10,28	11,47	14,84	15,47	22,46	22,77
	ISO120ArC90_Pq#F6	0,15X0,19	2,25	3,23	5,40	13,37	14,84	18,67	19,65	28,00	28,46

A curva de absorção de água por capilaridade foi obtida através de um gráfico (Figura 44) que relaciona a quantidade de água absorvida por área da base (kg/m²) com a raiz quadrada do tempo.

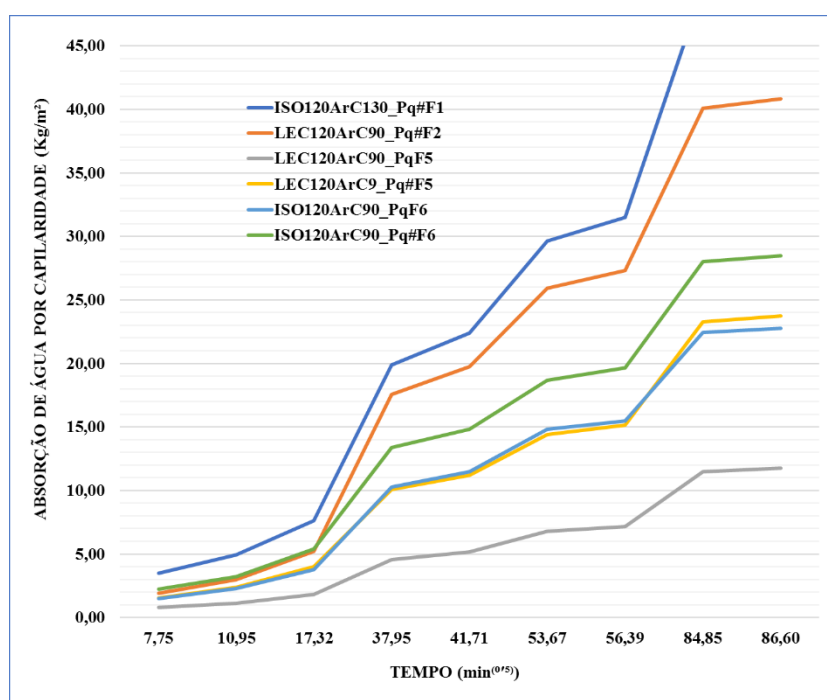


Figura 44 – Curvas de absorção de água por capilaridade.

Na prática, a determinação experimental do coeficiente de capilaridade reporta à primeira fase do gráfico de absorção de água. Representa a velocidade com que a água é inicialmente absorvida pelo material, isto é, a inclinação dos pontos de medição no intervalo de tempo considerado.

O coeficiente de capilaridade (CC), expresso em $[\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{0,5})]$ pode ser obtido através de uma regressão linear dos pontos da curva inicial, através do declive (m) da reta formada por estes pontos: $y=mx+b$.

No Quadro 17 é possível analisar os valores para os coeficientes de capilaridade, a partir dos valores obtidos para o declive das retas da Figura 44, para o intervalo de tempo entre os 17,32 ($\sqrt{300}$ minutos) e os 37,95 ($\sqrt{1440}$ minutos). A partir dos valores registados para as Família 1 e Família 2, com um parâmetro de declive considerado elevado e que denuncia uma rápida absorção capilar em comparação com as outras famílias, a justificação mais plausível poderá ser por se considerar que foram as primeiras famílias de blocos em execução e que, como tal, as amassaduras e respetivas compactações no molde talvez não fossem as mais bem conseguidas, registando volumes de vazios superiores.

Quadro 17 - Valores para o coeficiente de capilaridade.

Bloco	Coordenadas		Coef.capilaridade $[\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{0,5})]$
ISO120ArC130_Pq#F1	Coordenada X1	17,32	0,60
	Coordenada X2	37,95	
	Coordenada Y1	7,61	
	Coordenada Y2	19,89	
LEC120ArC90_Pq#F2	Coordenada X1	17,32	0,60
	Coordenada X2	37,95	
	Coordenada Y1	5,19	
	Coordenada Y2	17,54	
LEC120ArC90_Pq#F5	Coordenada X1	17,32	0,13
	Coordenada X2	37,95	
	Coordenada Y1	1,82	
	Coordenada Y2	4,56	
LEC120ArC9_Pq#F5	Coordenada X1	17,32	0,30
	Coordenada X2	37,95	
	Coordenada Y1	4,00	
	Coordenada Y2	10,11	
ISO120ArC90_Pq#F6	Coordenada X1	17,32	0,32
	Coordenada X2	37,95	
	Coordenada Y1	3,75	
	Coordenada Y2	10,28	
ISO120ArC90_Pq#F6	Coordenada X1	17,32	0,39
	Coordenada X2	37,95	
	Coordenada Y1	5,40	
	Coordenada Y2	13,37	

4.6. Ensaio de secagem

A secagem é o processo de saída de água do material poroso, envolvendo o transporte de líquido até à frente húmida, a evaporação do líquido, a migração do vapor através do material e por fim a propagação do vapor no ambiente (Brito 2009).

Este ensaio decorreu logo após a paragem do ensaio de absorção de água por capilaridade e decorreu na sala condicionada com temperatura de 20 ± 3 °C e humidade relativa de $50\pm 5\%$. A taxa de secagem expressa a velocidade com que esta se processa inicialmente, e obtêm-se pelo declive do troço inicial da curva de secagem com a horizontal, sendo tanto mais rápida a secagem, quando maior o valor calculado. O índice de secagem traduz a dificuldade de se atingir a secagem completa, em equilíbrio com o ambiente (Santos 2014).

Os provetes foram pesados numa balança de precisão 0,001 g e colocados sobre uma bancada metálica lisa. Durante o ensaio os provetes foram pesados em intervalos de 19 horas e 5 horas, até à estabilização da massa (diferença de massa de 1% entre duas pesagens consecutivas). O ensaio de secagem foi realizado com os blocos protegidos nas faces laterais com película aderente de polietileno, conforme a Figura 45, para evitar a absorção de humidade, condicionando o ensaio na fiabilidade dos valores obtidos na pesagem. No decorrer do ensaio efetuou-se a curva de secagem de cada um dos provetes, de modo a acompanhar a evaporação de água ao longo do tempo. O teor de água w_i é obtido pela Expressão 7, em valores de percentagem ponderal.

$$w_i = \frac{m_i - m_{seca}}{m_{seca}} \times 100 (\%)$$

Expressão 7 - Teor de água (%).



Figura 45 – Secagem dos blocos.

No Quadro 18 são apresentados os valores do teor de água que em função da variação no tempo determinaram a curva de evaporação ou curva de secagem, expressa na Figura 46.

Quadro 18 - Valores obtidos no ensaio de secagem.

FAMÍLIA	BLOCOS (mm)	MASSA CONSTANTE (g)	PESO (g)									
			0 h.	18,5 h.	24 h.	42,5 h.	48 h.	66,5 h.	90,5 h.	114,5 h.	138,5 h.	162,5 h.
1	ISO120ArC130_Pq#F1	18460	19908	19873	19866	19839	19834	19806	19775	19687	19664	19644
2	LEC120ArC90_Pq#F2	19210	20385	20343	20334	20302	20294	20260	20228	20174	20163	20154
5	LEC120ArC90_Pq#F5	18514	18863	18841	18839	18830	18828	18821	18814	18801	18799	18797
	LEC120ArC9_Pq#F5	18407	19097	19067	19061	19040	19035	19016	19000	18966	18959	18954
6	ISO120ArC90_Pq#F6	13814	14473	14447	14442	14424	14419	14402	14387	14351	14343	14337
	ISO120ArC90_Pq#F6	13854	14684	14653	14646	14621	14615	14594	14575	14533	14524	14517
FAMÍLIA	BLOCOS (mm)	SECÇÃO (m2)	TEOR DE ÁGUA W (%)									
1	ISO120ArC130_Pq#F1	0,15X0,19	7,84	7,65	7,62	7,47	7,44	7,29	7,12	6,65	6,52	6,41
2	LEC120ArC90_Pq#F2	0,15X0,19	6,12	5,90	5,85	5,68	5,64	5,47	5,30	5,02	4,96	4,91
5	LEC120ArC90_Pq#F5	0,15X0,19	1,89	1,77	1,76	1,71	1,70	1,66	1,62	1,55	1,54	1,53
	LEC120ArC9_Pq#F5	0,15X0,19	3,75	3,59	3,55	3,44	3,41	3,31	3,22	3,04	3,00	2,97
6	ISO120ArC90_Pq#F6	0,15X0,19	4,77	4,58	4,55	4,42	4,38	4,26	4,15	3,89	3,83	3,79
	ISO120ArC90_Pq#F6	0,15X0,19	5,99	5,77	5,72	5,54	5,49	5,34	5,20	4,90	4,84	4,79
FAMÍLIA	BLOCOS (mm)	MASSA CONSTANTE (g)	PESO DO FILME (kg)	Índice de Secagem (24 h)				Parâmetros da Taxa de Secagem (Kg/m ²)				
1	ISO120ArC130_Pq#F1	18460	0,110	0,97				54,17	52,75	52,47		
2	LEC120ArC90_Pq#F2	19210	0,110	0,96				43,12	41,42	41,05		
5	LEC120ArC90_Pq#F5	18514	0,190	0,93				6,44	5,55	5,47		
	LEC120ArC9_Pq#F5	18407	0,150	0,95				21,86	20,65	20,40		
6	ISO120ArC90_Pq#F6	13814	0,174	0,95				19,64	18,58	18,38		
	ISO120ArC90_Pq#F6	13854	0,205	0,95				25,30	24,05	23,77		

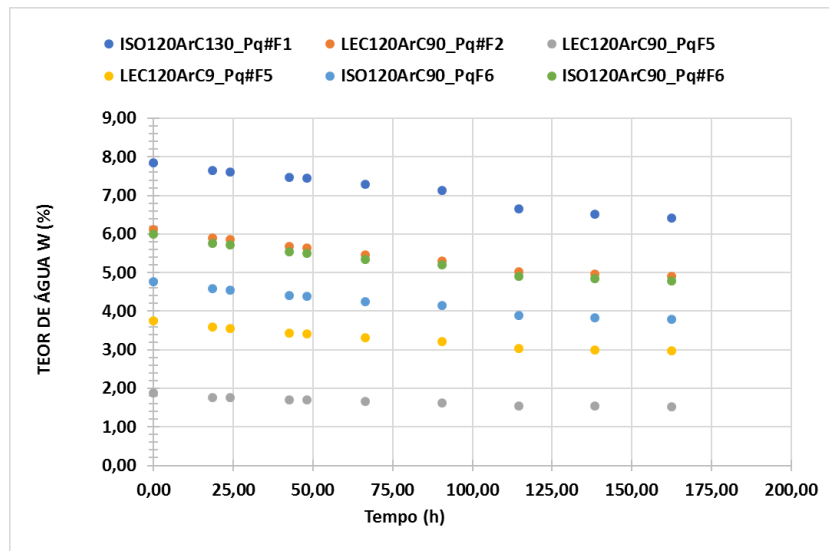


Figura 46 - Curvas de evaporação dos blocos.

Quando não se verifica uma secagem com fluxo constante, mas sim todo o processo com fluxo decrescente, a secagem é caracterizada pelo índice de secagem I_s , com valores também representados no Quadro 18. Este índice corresponde à variação do teor em água, em percentagem, durante o processo de secagem, em relação ao teor em água existente na fase inicial da evaporação, também em percentagem. O índice de secagem como correspondente da resistência à secagem de uma argamassa é determinado pela Expressão 8 através do traçado da curva de secagem, isto é, I_s é calculado pelo integral da curva de secagem, representativo da função teor máximo de água em relação ao tempo necessário para que um bloco seque (Santos 2014).

Um valor do índice de secagem elevado depende de uma secagem lenta do material.

Na Figura 47 expressam-se graficamente os valores obtidos para o índice de secagem dos blocos.

$$I_s = \frac{\int_{t_0}^{t_f} f \left(\frac{m_i - m_{seca}}{m_{seca}} \right) dt}{\left(\frac{m_3 - m_{seca}}{m_{seca}} \right) \times t_f}$$

Expressão 8 - Índice de secagem.

m_i representa a massa do bloco durante o processo de secagem, m_{seca} a massa do bloco no estado seco e m_3 a massa do bloco em estado saturado, correspondente à massa no início do processo de secagem, tudo expresso em gramas.

Os parâmetros t_0 e t_f dizem respeito aos tempos inicial e final do ensaio de secagem, em horas. De frisar que para este ensaio não se verificou uma saturação completa do bloco, mas apenas a saturação até à estabilização da massa, sendo esse o valor a atribuir a m_3 .

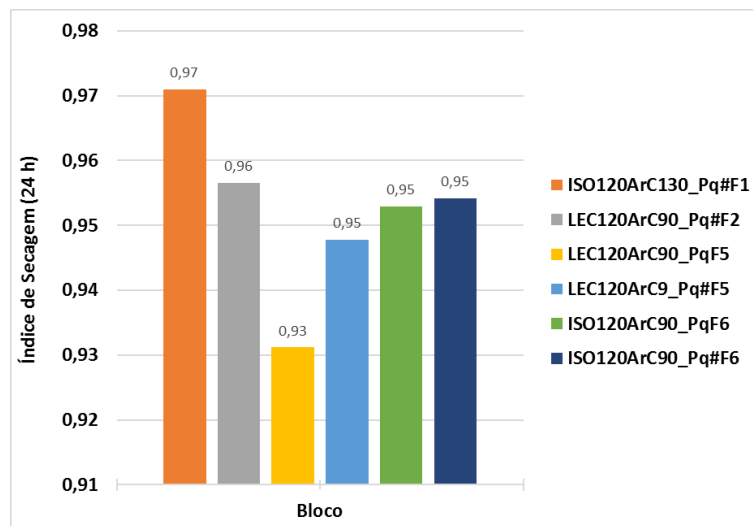


Figura 47 - Índice de secagem dos blocos designados.

O declive dos troços iniciais das curvas de secagem (kg/m^2) determina o valor da taxa de secagem que apresenta valores muito próximos para todas as Famílias de blocos, conforme se pode verificar nos gráficos da Figura 48.

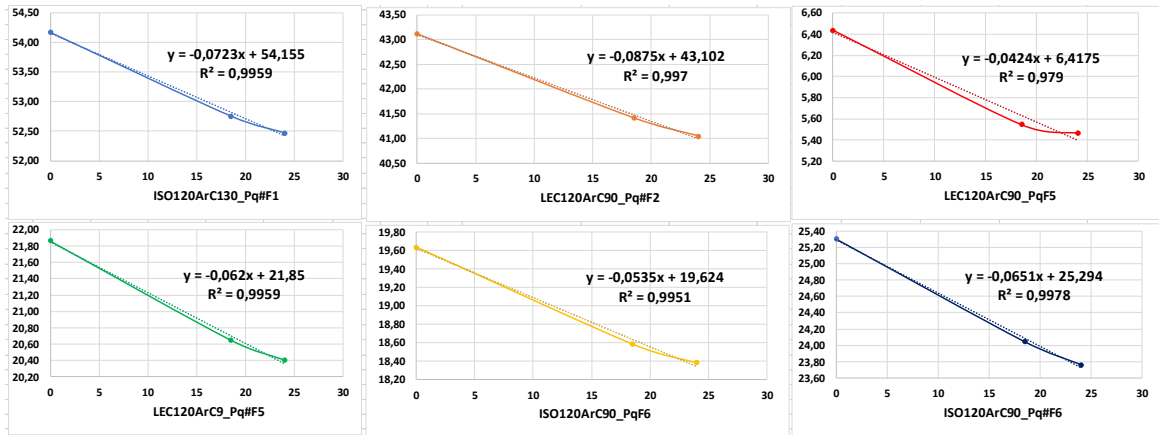


Figura 48 - Taxa de secagem às 24 horas.

5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Uma vez determinados os ensaios aos blocos, a apreciação dos resultados só poderá ser comparável a outros produtos existentes no mercado, cujas características se aproximem o mais possível dos elementos em estudo. Ainda assim, a margem de erro desta comparação é sempre grande, uma vez que os ensaios efetuados neste trabalho foram executados sobre os blocos como uma unidade bicomponente e não sobre cada um dos seus componentes, em separado. Uma vez que no mercado não foi possível encontrar produtos iguais aos desta tese, o que fica são produtos monocomponentes, como os blocos de cimento, os blocos de argila expandida, os blocos térmicos com XPS ou os tijolos térmicos, e é sobre estes que as comparações se fazem.

O ensaio de resistência à compressão distribuiu a ação da força aplicada pela máquina, tanto no elemento mais denso e resistente dos blocos como no elemento menos denso e menos resistente. Esta distribuição da força exercida resultou em valores de tensão de rotura próximos de 4 N/mm^2 que se podem comparar a produtos como os tijolos térmicos da Preceram, cujas dimensões variam entre os $294 \times 140 \times 187$ (mm) e os $294 \times 289 \times 189$ (mm) e apresentam valores médios de resistência à compressão superiores a $3,00 \text{ N/mm}^2$. Já os blocos térmicos da Pavineiva, em betão leve apresentam valores médios de resistência à compressão de $2,50 \text{ N/mm}^2$ e os blocos térmicos da Presdouro, do mesmo material, valores superiores a $1,00 \text{ N/mm}^2$. O bloco maciço da Pavineiva, executado em betão leve, com as dimensões $500 \times 200 \times 200$ (mm), com o peso de $38,90 \text{ kg}$ apresenta valores médios de resistência à compressão de $7,50 \text{ N/mm}^2$. Daqui se conclui que a componente maciça dos blocos em estudo, exceção feita aos blocos de terra, consegue conferir uma resistência à compressão muito interessante, se analisada a pouca espessura que detém, de 90 mm , ainda que se considere como alvenaria de uso não estrutural.

Nos ensaios de caracterização térmica, nomeadamente na verificação do valor apurado para o coeficiente de transmissão térmica $U \text{ [W/(m}^2 \text{ °C)]}$, é notório o bom desempenho dos blocos constituídos pela argamassa de reboco termoisolante. Ainda que, face ao resultado dos ensaios, não se consigam obter valores dentro dos limites de valores estipulados no Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) para os coeficientes de transmissão térmica superficial de referência em elementos opacos verticais em contacto com o exterior, para as três zonas climáticas I1, I2 e I3, a pouca diferença que se obtém na comparação de valores, associada à possibilidade de se poderem executar outro tipo de ensaios para determinar este parâmetro com mais acuidade e rigor, faz acreditar que esta solução de bloco poderia perfeitamente ter enquadramento como solução construtiva no mercado de materiais de construção. Relativamente aos blocos de terra, estes apresentam o valor mais baixo de coeficientes de condutibilidade térmica obtido no elemento da face interior do bloco. Será interessante aumentar a espessura deste elemento, uma vez que o peso verificado nas dimensões atuais, entre

os 16 kg e os 18 kg na sua globalidade, pode ainda ser aumentado, sem se desenquadrar dos pesos de blocos ou tijolos similares em dimensões e uso. Esta medida, associada a uma nova solução de agregação do regranulado de cortiça, por forma a obter valores de coeficiente de condutibilidade térmica mais baixos, e assim tirar proveito pleno deste tipo de material, torna promissora esta via, uma vez que permite, além da eficiência energética, dar um outro tipo de acabamento final à face exterior de fachadas executadas à base de terra e conferir alguma resistência ao choque e às intempéries.

Já os blocos à base de argila expandida, com base no ensaio efetuado, ficaram um pouco aquém de uma solução única que resolva a proteção térmica de um edifício, sem obrigar à adição de outros materiais isolantes térmicos e, conseqüentemente, outros trabalhos, para fazer cumprir o REH. Para além disso, a opção de usar a argila expandida de granulometria maior, não mostrou ser uma mais valia para a execução do bloco, pelo que a utilização apenas da argila expandida de granulometria menor talvez produzisse melhores resultados, quer ao nível da compactação das esferas como na apresentação final de uma superfície da face do bloco mais lisa e compacta.

Em termos de inércia térmica, a componente maciça de areia e cimento dos blocos apresenta pesos na ordem dos 11,40 kg. Considerando 15 blocos/m², no caso dos blocos 350x210x190 (mm), obtêm-se valores de $M_{si}=171,43 \text{ kg/m}^2$, num máximo de 150,00 kg/m², para efeitos de cálculo. Este valor assegura a possibilidade de se conseguir uma classe de inércia térmica forte, desde que não haja condicionamentos devido ao revestimento superficial interior dos blocos e a apreciação dos restantes componentes de cálculo permita atingir valores superiores a 400,00 kg/m², de acordo com a Expressão 1.

Para a componente maciça de terra, o peso obtido apresenta valores na ordem dos 10,50 kg para os blocos mais pequenos. Tendo as mesmas 15 unidades/m², obtêm-se valores de $M_{si}=157,50 \text{ kg/m}^2$, ligeiramente acima do limite máximo dos 150,00 kg/m², garantindo-se desta forma este último valor, o que significa um bom contributo por parte destes blocos para o cálculo da inércia térmica.

Os outros ensaios executados neste trabalho, nomeadamente o de taxa de absorção de água e o de secagem apenas tiveram como intuito o de estabelecer uma caracterização das argamassas componentes dos blocos em relação ao seu comportamento na presença de água. No entanto, como já foi referido, os blocos estudados não são para estarem expostos à água, como é o caso, por exemplo, dos tijolos de face à vista. Ainda assim, e como os ensaios foram feitos, a conclusão a retirar, no que à taxa de absorção de água diz respeito, é que se verifica uma absorção inicial rápida no componente de areia e cimento dos blocos, com diminuição posterior provocada por uma absorção mais lenta do componente exterior dos mesmos, até atingir o mesmo nível hidrostático em ambos.

O ensaio de permeabilidade ao vapor de água deve ser considerado, ainda que não tenha sido feito neste estudo. No entanto, é expectável que, dadas as características e natureza dos materiais envolvidos, haja uma boa permeabilidade ao vapor de água em todos os blocos.

Relativamente à construção dos blocos, a primeira conclusão que houve surgiu imediatamente após a execução das Famílias 1, 2 e 3. O que se destacou imediatamente, pelos piores motivos, foi o peso excessivo dos blocos com as dimensões 500x250x190 (mm) e 500x210x190 (mm), independentemente dos componentes. Ficou então estabelecido não produzir mais blocos desta dimensão, mas apenas da dimensão 350x210x190 (mm). O intuito da produção dos blocos com comprimento 500 (mm) seria o de tentar garantir uma melhor planimetria e aprumo dos paramentos verticais, aquando da execução em obra.

Outra solução que aparentemente não trouxe mais-valias à construção dos blocos foi a incorporação da armadura de aço com 3 mm de espessura com rede de fibra de vidro associada. O propósito desta solução foi o de aumentar a resistência da ligação entre os dois componentes dos blocos. No entanto, não foi realizado nenhum ensaio que permitisse observar a solitação da armadura de aço a um qualquer esforço de destacamento pela junta entre os dois componentes. O que se verificou foi uma estabilidade da junta, em termos de ligação física, em todas as Famílias, quer houvesse armadura com rede de fibra de vidro, quer não houvesse.

Contudo, esta conclusão não pode nem deve impedir um estudo mais aprofundado sobre o real comportamento deste componente e a sua contribuição para o bloco, com os ensaios adequados, que neste trabalho foram impossíveis de realizar. Noutra perspetiva, a incorporação da armadura nos blocos de terra é completamente inviável, uma vez que a mesma oxida ao fim de pouco tempo. A humidade que a terra contém e absorve em maior quantidade, quando comparada com os blocos de cimento e areia, acrescida da sua não basicidade impede a passividade da armadura, levando à corrosão da mesma no curto espaço de quatro meses ou menos.

Por fim, a solução de incorporar a rede de fibra de vidro de malha 10x10 (mm) tornou o processo de enchimento dos moldes dos blocos mais difícil, uma vez que a rede facilmente se deformava face ao peso das argamassas, não havendo, posteriormente, a absoluta certeza do seu correto posicionamento, como era expectável logo à partida.

Quanto à geometria dos blocos verifica-se que existe uma lacuna quando se pensa em passar para a fase de execução de um pano de alvenaria. O facto de se ter incorporado no formato do bloco apenas um encaixe para as juntas verticais leva a que se forme uma ponte térmica linear através da espessura da argamassa de assentamento colocada nas juntas horizontais. Assim, é importante existir para as juntas horizontais um encaixe idêntico ao das juntas verticais dos blocos, para evitar esta situação. Por último, para colmatar as pontes térmicas nos encontros de pilares e vigas, ou se tentaria desenvolver um bloco adaptado para essa situação ou, no limite, a correção da ponte

térmica far-se-ia com recurso ao mesmo material utilizado no componente exterior do bloco usado, mas considerado como um trabalho adicional e não um trabalho integrado na execução das alvenarias.

Por fim, qualquer uma das soluções dos três tipos de blocos apresentados, por não serem totalmente impermeáveis à água, necessitam de um tratamento da superfície, como um barramento delgado armado com rede de fibra de vidro, conforme Figura 49, e posterior acabamento como uma pintura ou outra solução.



Figura 49 - Barramento delgado armado.

Este trabalho de barramento armado consegue colmatar as juntas entre blocos, visíveis na Figura 50, garantindo uma uniformização da superfície do paramento. Para os blocos térmicos que têm a argamassa de reboco termoisolante incorporada, a sua aplicação é relativamente simples. Para os outros blocos tem que haver o cuidado de deixar a superfície do componente da face exterior do bloco o mais lisa possível, que no caso dos blocos aqui produzidos não foi possível obter. No entanto, numa produção mais industrial facilmente se conseguem atingir níveis de qualidade superiores.



Figura 50 - Blocos agrupados em alvenaria.

6. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Como já se referiu, o propósito deste trabalho foi o de conceber um bloco para alvenarias exteriores que permitisse numa só aplicação, erigir um pano de alvenaria exterior, com proteção térmica e com boa inércia térmica interior.

Além de uma melhoria no ganho de tempo de execução de uma parede exterior, evitando-se a mão de obra para execução dos trabalhos de proteção térmica, que no caso das alvenarias em tijolo ou em blocos tem sempre que ser feita para garantir os requisitos do REH, há ganhos económicos no próprio tempo de duração da obra, no tempo de permanência de estruturas de apoio como andaimes, na área e limpeza do estaleiro de obra e na versatilidade de acabamentos que uma fachada composta por este tipo de solução confere.

Com ensaios mais completos e de outra natureza, principalmente no que à componente da térmica diz respeito, naturalmente que se teriam conseguido tirar conclusões mais concretas para o aperfeiçoamento desta solução construtiva. Tais ensaios teriam forçosamente que passar pela análise de uma parede formada por estes blocos, com controlo efetivo de todos os parâmetros externos, tais como temperatura, exposição solar, orientação e humidade relativa. Talvez assim se pudesse apurar com mais certeza se os blocos fazem ou não cumprir os coeficientes de transmissão térmica superficial de referência para elementos opacos, tal como se apresentam neste trabalho em termos de espessuras de cada elemento.

Relativamente às dimensões, seria interessante aumentar o comprimento e a largura dos blocos, para garantir uma melhor planimetria no assentamento e um melhor alinhamento com a estrutura, nomeadamente pilares, sem, contudo, afetar muito o peso próprio das peças.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, M. M. 1987. “Caracterização Da Inércia Térmica de Paredes Maciças.” Faculdade de Engenharia do Porto.

Almeida, Maria Manuela Guedes de. 1987. “Dissertação Caracterização Da Inercia Termica de Paredes Maciças.pdf.” : 161.

Dias, António. 2002. “Construção Em Tijolo Ceramico. Das Exigencias Normativas Do Produto À Práctica de Aplicação.” *Seminário sobre paredes de alvenaria*: 41–64.

EN 771-1 :2012 Especificações para unidades de alvenaria. Parte 1: Unidades cerâmicas (tijolos cerâmicos).

EN 772-3 :2000 “Métodos de ensaio para elementos de alvenaria – Parte 3: Determinação do volume líquido e da percentagem de furação em elementos cerâmicos para alvenaria por pesagem hidrostática”. Ed. Novembro 2000, IPQ, Lisboa.

EN 772-5 :2001 “Methods of test for masonry units – Part 5: Determination of active soluble salts content of clay masonry units”. Ed. Dezembro 2001, CEN, Bruxelas.

EN 772-7 :2000 “Métodos de ensaio para elementos de alvenaria – Parte 7: Determinação da absorção de água em água fervente de elementos cerâmicos para alvenaria”. Ed. Novembro 2000, IPQ, Lisboa.

EN 772-11 :2000 “Methods of test for masonry units – Part1: Determination of water absorption of aggregate concrete, autoclaved aerated concrete, manufactured stone and natural stone masonry units due to capillary action and the initial rate of water absorption of clay masonry units”. Ed. Março 2000, CEN, Bruxelas.

EN 772-13 :2000 “Methods of test for masonry units – Part1: Determination of net and gross dry density of masonry units (except for natural stones)”. Ed. Junho 2000, CEN, Bruxelas.

EN 772-16 :2000 “Methods of test for masonry units – Part1: Determination of dimensions”. Ed. Junho 2000, CEN, Bruxelas.

EN 772-19 :2000 “Methods of test for masonry units – Part1: Determination of moisture expansion of large horizontally perforated clay masonry units”. Ed. Março 2000, CEN, Bruxelas.

EN 772-22 :1999 “Methods of test for masonry units – Part1: Determination of freeze/thaw resistance of clay masonry units”. Ed. Novembro 1999, CEN, Bruxelas.

EN 1745 :1999 “Masonry and masonry products. Methods for determining declared and design thermal values”. Ed. Novembro 1999, CEN, Bruxelas.

EN 13501-1 :1999 “Fire classification of construction products and building elements – Part 1: Classification using test data from reaction to fire tests”. Ed. Novembro 1999, CEN, Bruxelas.

Gomes, Diogo Dias, 2012 Universidade do Minho: Escola de Engenharia: "Construção sustentável em blocos de terra compactada" *Master Thesis*: 100.

Lopes Ferreira, João Daniel. 2012. “Análise de Sensibilidade de Factores de Desempenho Térmico de Edifícios.” *Master Thesis*: 103.

NP EN 772-1 :2002 "Métodos de ensaio de blocos para alvenaria. Parte 1: Determinação da resistência à compressão." Edição de Julho de 2002, IPQ, Lisboa.

NP EN 1052-2 :2002 (Ed.1) "Métodos de ensaio para alvenarias. Parte 2: Determinação da resistência à flexão" IPQ, Lisboa.

NP EN 1052-3 :2005 (Ed.1) "Métodos de ensaio de alvenaria. Parte 3: Determinação da resistência inicial ao corte." IPQ, Lisboa.

Oliveira, P.J. 2014. *Transmissão de Calor – Convecção Atural*.

Páscoa, Liliana Sofia Neno. 2012. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa “Índice De Secagem Com O Parâmetro Em Serviço Dos Rebocos Aplicados Em Parede Exteriores.”

Santos, Tânia Raquel Alves dos. 2014. “Tânia Raquel Alves Dos Santos Ensaio de Caracterização E Influência Da Formulação.” Universidade Nova de Lisboa.

Sousa, Hipólito De. 2002. “Alvenarias Em Portugal. Situação Actual E Perspectivas Futuras.” In *Seminário Sobre Paredes de Alvenaria*, , 17–40.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ELETRÓNICAS

Amorim isolamentos, ficha técnica do regranulado de cortiça expandida. Acedido em dezembro de 2016 em

http://www.amorimisolamentos.com/xms/files/FICHA_TECNICA/FT_Produtos/Amorim_Isolamentos_FT_-_Granulado_Expandido_PT.pdf;

Cimpor, ficha técnica da Cal Hidráulica HL5. Acedido em dezembro de 2016 em <http://www.secilargamassas.pt/pt/cal-hidraulica-natural/gama-de-produtos/secil-hl5>;

Construção Sustentável, Big cities, big challenges: "Inércia Térmica." Acedido em outubro de 2016, em <http://www.construcaosustentavel.pt/index.php?/O-Livro-%7C%7C-Construcao-Sustentavel/Eficiencia-Energetica/Inercia-Termica>;

FCTUC Departamento de Engenharia Química, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Acedido em Setembro de 2016 em http://labvirtual.eq.uc.pt/siteJoomla/index.php?option=com_content&task=view&id=248&Itemid=422;

IberFibran: XPS Fibran. Acedido em agosto de 2016 em <http://www.fibran.com.pt/files4users/files/DOP/ETICS%20GF/DoP%20ETICS%20GF%20PT%20-%20CDP-22-DD-04.pdf>

Isocor: Produto – Aglomerado de cortiça expandida. Acedido em agosto de 2016 em <http://isocor.pai.pt/ms/ms/isocor-aglomerados-de-cortica-ace-produtos-de-cortica-1050-012-lisboa/ms-90047830-p-3/>;

Luís Pires, Pedro D. Silva e J.P. Castro Gomes Departamento de Engenharia Eletromecânica Universidade da Beira Interior Calçada Fonte do Lameiro – Covilhã: "A importância do consumo energético dos edifícios na Europa". Acedido em setembro de 2016, em http://www.academia.edu/21121572/A_import%C3%A2ncia_do_consumo_energ%C3%A9tico_dos_edif%C3%ADcios_na_Europa_solu%C3%A7%C3%B5es_propostas_para_a_sua_redu%C3%A7%C3%A3o;

Plastimar: Construção – Poliestireno expandido moldado Plastimar. Acedido em agosto de 2016 em <http://www.plastimar.pt/index.php?id=24>;

Prof. Vasco Peixoto de Freitas, Eng.º Nuno Mendes Machado Instituto da Construção, Porto outubro de 2003: "Boletim de ensaio Leca Portugal – Argilas expandidas S.A." Acedido em agosto de 2016 em:

http://www.weber.com.pt/uploads/media/Condutibilidade_termica_Leca_mix_-_LFC-IC-135-2003.pdf;

Programa Prof2000 "O Clima de Portugal." Acedido em outubro de 2016, em <http://www.prof2000.pt/users/elisabethm/geo7/clima/cportugal.htm>;

Secil Argamassas, ficha técnica do Isodur, reboco térmico projetado. Acedido em dezembro de 2016 em <http://www.secilargamassas.pt/pt/produtos-20121220-181446/argamassas-tecnicas/isolamento-termico-projectado/isodur>;

Weber Saint-Gobain, ficha técnica da argila expandida pequena Leca S e média Leca M.

Acedido em dezembro de 2016, em

https://www.weber.com.pt/uploads/tx_weberproductpage/FT_Leca_Mix.pdf;

