



ISEL

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Departamento de Engenharia Civil



Utilização de hidrófugos de superfície em materiais cerâmicos. Influência na secagem.

SANDRA CRISTINA CARVALHO DO COUTO
(Licenciada em Engenharia Civil)

Dissertação elaborada no Laboratório de Engenharia Civil (LNEC) para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na Área de Especialização de Edificações no âmbito do protocolo de cooperação entre o ISEL e o LNEC

Documento Definitivo

Orientador (es):

Doutora, Teresa Cláudio Diaz Gonçalves Enes Dias (Inv. Aux. LNEC)
Licenciado, Jorge Manuel Grandão Lopes (Eq. Prof. Adj. ISEL, Inv. Princ. LNEC)

Jurí:

Presidente:

Mestre, Manuel Brazão de Castro Farinha (Eq. Prof. Adj. ISEL)

Vogais:

Mestre, Maria Dulce e Silva Franco Henriques (Eq. Prof. Adj. ISEL)
Doutora, Teresa Cláudio Diaz Gonçalves Enes Dias (Inv. Aux. LNEC)
Licenciado, Jorge Manuel Grandão Lopes (Eq. Prof. Adj. ISEL, Inv. Princ. LNEC)

Dezembro de 2010

Agradecimentos

Em primeiro lugar gostaria de agradecer ao Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) que disponibilizou todos os meios à realização da minha tese, e em particular:

À doutora Teresa Diaz Gonçalves, orientadora científica deste trabalho, pela disponibilização de material de investigação e ajuda, pelos seus ensinamentos, pela sua disponibilidade, orientação e dedicação que demonstrou ao longo de todo este trabalho, principalmente na recta final. Obrigada por ter acreditado em mim!

Ao professor Jorge Manuel Grandão Lopes, Co-orientador científico deste trabalho, pelas sugestões referidas na elaboração da tese e pela disponibilidade manifestada em durante todo este trabalho.

Ao Núcleo de Materiais Pétreos e Cerâmicos do LNEC, que proporcionou todas as condições e os meios necessários para a realização deste trabalho a nível experimental, nomeadamente a:

José Costa, pela ajuda inicial com o corte dos provetes provenientes de diferentes famílias de tijolos e na preparação no ensaio de permeabilidade ao vapor.

João Júnior, pela ajuda na impermeabilização de provetes, na preparação do ensaio de capilaridade e secagem em tijolos antigos, e realização de algumas pesagens na minha ausência.

João Ribeiro, pela ajuda na resolução de algumas dificuldade que surgiram, na preparação do ensaio de capilaridade e permeabilidade ao vapor, e realização de algumas pesagens na minha ausência.

A todas estas pessoas mencionadas até agora, um especial obrigado por me terem proporcionado um bom local de trabalho e uma boa vivência pessoal.

A todas as empresas que gentilmente disponibilizaram os materiais para a concretização do trabalho experimental, nomeadamente:

À cerâmica de Vale de Gândara e a Empresa de Materiais de Construção Majodir pela cedência de tijolos cerâmicos maciços.

Ao Eng.^o José Manuel Correia (IMPERREVIS), ao Mário Coimbra (Director Comercial da RUDANOL), à Eng.^a Conceição Batista (MATESICA).

O hidrófugo da HEMPEL foi dispensado pela Eng.^a Vânia Brito, que o utilizou na sua tese “Influência dos Revestimentos por Pintura na Secagem do Suporte”, e a quem por tal agradeço também.

Obrigado aos meus colegas estagiários do LNEC, Pedro Puim, Idália Gomes e Vânia Brito pelo convívio e bom ambiente de trabalho que me proporcionaram.

Um especial obrigado, à Ana Resende, à Andreia Pereira, à Patrícia Almeida e a Vânia Figueiredo pelo apoio que me deram num dos momentos mais difíceis da minha vida. A vocês devo o dom do significado AMIZADE! Obrigada miúdas por tudo!

Ao Manuel Almeida, pelo apoio, por acreditar em mim e no meu trabalho, por me mostrar constantemente o seu orgulho em mim e naquilo que faço. Obrigada pelas palavras certas nos momentos certos! Obrigada pela dedicação!

Por fim, agradeço aos meus pais, Serafim Couto e Maria Couto, pela ajuda e incentivo que me deram ao longo de toda a minha vida, pois muito daquilo que hoje sou a eles devo! Obrigado Pai e Mãe! E a minha irmã Paula Nunes, pois apesar das nossas diferenças, sempre me ajudou! Obrigada!

Utilização de hidrófugos de superfície em materiais cerâmicos.

Influência na secagem.

Resumo

A presente dissertação tem por finalidade compreender a influência dos tratamentos hidrófugos na secagem do tijolo cerâmico, tendo assentado na realização de ensaios de absorção capilar, permeabilidade ao vapor de água e secagem.

Foi inicialmente avaliada a possibilidade de utilização de tijolo cerâmico maciço de três proveniências distintas. Uma destas origens foi a Praça de Touros do Campo Pequeno, em Lisboa, que permitiu estudar quatro tipos distintos de tijolo antigo. As outras duas origens foram as cerâmicas Torreense e de Vale de Gândara, tratando-se portanto neste caso de tijolos de fabrico recente. Os diferentes tipos de tijolo foram caracterizados quanto à sua aparência, morfologia, teor de sal, absorção capilar e comportamento em secagem.

O tijolo de Vale de Gândara foi o tipo seleccionado para a aplicação dos tratamentos hidrófugos. Foi detectada a presença de fissuras neste tipo tijolo, tal como em todos os outros tipos caracterizados. Sendo este defeito relevante para o transporte de humidade, foi necessário ter em consideração a influência da orientação preferencial das fissuras. Assim, utilizaram-se em todos os ensaios provetes com fissuras paralelas e provetes com fissuras perpendiculares à superfície.

Estudaram-se cinco tratamentos hidrófugos com base em silicone. Foram realizados ensaios de absorção capilar através da face tratada, ensaios de permeabilidade ao vapor de água e ensaios de secagem (método RILEM da curva de evaporação). Realizaram-se ensaios semelhantes sobre o material não-tratado, que serviram como referência.

Os resultados do ensaio de absorção capilar indicam que a eficácia de quatro dos tratamentos é elevada, sendo a secagem do tijolo significativamente dificultada por esses quatro produtos. Verificou-se, no entanto, que o decréscimo da permeabilidade ao vapor apenas é significativo para três hidrófugos. A influência dos hidrófugos na permeabilidade ao vapor apenas é mensurável no caso dos provetes com fissuras paralelas à base. Quando as fissuras são perpendiculares à base, a permeabilidade ao vapor é bastante mais elevada, não sendo afectada pelo hidrófugo.

Palavras-chave: materiais cerâmicos, hidrófugos, tratamentos à base de hidrófugos, materiais porosos, transporte de humidade, edifícios antigos, secagem.

Use of hydrophobic treatments in ceramic materials. Influence on drying

Abstract

This thesis was aimed at understanding the influence that water repellent treatments may have on the drying of ceramic bricks. It was based on three main types of laboratory tests: capillarity, vapour permeability and drying behaviour.

First, the possibility of using ceramic bricks from three different provenances was evaluated. One was the Praça de Touros of Campo Pequeno in Lisbon, which allowed the study of four distinct types of old brick. The other were two ceramic manufacturers, Torreense and Vale de Gândara, which therefore provided two types of solid brick of recent production. The different types of brick were characterized as to their appearance, morphology, salt content, capillary absorption and drying behaviour.

The solid brick from Vale de Gândara was selected for application of the water repellent treatments. The presence of cracks was detected in this, as in the all kinds of bricks. Since this type of defect relevant to the transport of moisture, the influence of preferred orientation of the cracks had to be taken into account. For that purpose, specimens with cracks parallel and specimens with cracks perpendicular to the surface were used in all the tests.

Five silicone-based water repellent treatments were studied. The performed tests were the following: capillary absorption through the treated face, water vapor permeability and drying behaviour (RILEM method of the evaporation curve). Tests on the untreated material were always carried out to serve as reference.

The results of the capillary absorption tests indicate that the effectiveness of four out of the five treatments is high. It was also found that drying of the brick is significantly hampered by these four water repellents. The permeability to water vapour, however, is only affected by three of the products and that only happens when the cracks are perpendicular to the surface. In the cases where the cracks are parallel to the surface, the vapour permeability is much higher and does not seem to be affected by the treatments.

Key-words: ceramics bricks, water repellents, water repellent treatments, porous materials, moisture transport, buildings, drying.

Utilização de hidrófugos de superfície em materiais cerâmicos. **Influência na secagem.**

Índice de texto

1 – Introdução.....	1
1.1 – Enquadramento.....	1
1.2 - Objectivos.....	3
1.3 - Metodologia e estrutura da dissertação.....	4
2 – Estado-da-arte	7
2.1 – Materiais cerâmicos.....	7
2.1.1 – Características gerais	7
2.1.2 – História do tijolo cerâmico	8
2.1.3 – Processo de fabrico do tijolo cerâmico.....	10
2.1.4 – Defeitos no tijolo cerâmico	12
2.1.5 – Aparelhos de alvenaria de tijolo.....	13
2.2 – Secagem dos materiais porosos	14
2.2.1 – Características gerais	14
2.2.2 – Transporte de água líquida.....	16
2.2.3 – Transporte de vapor de água	19
2.2.4 – Secagem.....	22
2.3 – Sais Solúveis.....	25
2.3.1 – Relevância, causas e mecanismos de degradação	25
2.3.2 – Avaliação do teor de sais (método HMC).....	27
2.4 – Hidrófugos de superfície	29
2.4.1 – Princípios de funcionamento	29
3 – Campanha experimental sobre diferentes tipos de tijolo.....	33
3.1- Planeamento.....	33
3.2 – Materiais	34
3.3 - HMC	37

3.3.1 – Método.....	37
3.3.2 – Apresentação e análise dos resultados.....	39
3.4 – Ensaio de absorção de água por capilaridade.....	41
3.4.1 – Método.....	41
3.4.2 – Apresentação e análise dos resultados.....	42
3.4.2.1 – Tijolo Antigo Claro (Uniforme).....	43
3.4.2.2 – Tijolo Antigo Claro (Alveolar)	44
3.4.2.3 – Tijolo Antigo Escuro (Alveolar).....	45
3.4.2.4 – Tijolo Antigo Escuro (Fissurado)	46
3.4.2.5 – Tijolo Novo da Cerâmica Torreense.....	47
3.4.2.6 – Tijolo Novo da Cerâmica de Vale de Gândara.....	48
3.5 - Ensaio de secagem	50
3.5.1– Método.....	50
3.5.2– Apresentação e análise dos resultados	51
3.5.2.1 – Tijolo Antigo Claro (Uniforme).....	52
3.5.2.2 – Tijolo Antigo Claro (Alveolar)	53
3.5.2.3 – Tijolo Antigo Escuro (Alveolar).....	54
3.5.2.4 – Tijolo Antigo Escuro (fissurado)	55
3.5.2.5 – Tijolo Novo da Cerâmica Torreense.....	56
3.5.2.6 – Tijolo Novo da Cerâmica de Vale de Gândara.....	57
3.6 – Discussão	59
4 - Campanha experimental sobre diferentes hidrófugos de superfície.....	61
4.1 – Planeamento	61
4.2 – Materiais	62
4.3 - Ensaio de absorção de água por capilaridade	68
4.3.1 – Método.....	68
4.3.2 - Apresentação e análise dos resultados	68
4.4 - Ensaio de permeabilidade ao vapor de água.....	76
4.4.1 – Método.....	76
4.4.2 - Apresentação e análise dos resultados	78
4.5 - Ensaio de Secagem	83

4.5.1 – Método.....	83
4.5.2– Apresentação e análise dos resultados	84
4.6 – Discussão	91
5 – Conclusões e desenvolvimentos futuros.....	93
5.1 – Conclusões	93
5.2 - Desenvolvimentos futuros.....	94
Referência Bibliográficas.....	97
Anexo I – Fichas Técnicas.....	I
Anexo II - Resultados do ensaio de HMC.....	II
Anexo III – Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade	III
Anexo IV – Resultados do ensaio de secagem.....	IV
Anexo V – Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade em provetes hidrofugados.....	V
Anexo VI – Resultados do ensaio de secagem em provetes hidrofugados	VI

Utilização de hidrófugos de superfície em materiais cerâmicos. Influência na secagem.

Índice de figuras

Figura 2.1.1 - Representação esquemática do processo de fabrico do tijolo cerâmico (Sousa e Silva, 2000)	10
Figura 2.1.2 – Tijolo cerâmico empilhado antes da cozedura.	12
Figura 2.1.3 – Pano ou parede a meia vez (Pinho, 2000).....	14
Figura 2.1.2 – Pano de tijolo ao alto (Pinho, 2000)	14
Figura 2.1.5 – Parede de duas vezes (aparelho inglês) (Pinho, 2000)	14
Figura 2.1.4 – Pano ou parede a uma vez (perpiano) (Pinho, 2000).....	14
Figura 2.2.1 – Porosidade aberta (Freitas e Torres, 2008)	15
Figura 2.2.2 – Porosidade fechada (Freitas e Torres, 2008).....	15
Figura 2.2.3 - Fenómeno de capilaridade (adaptado de Freitas, 1992)	16
Figura 2.2.4 - Gotas de água sobre uma superfície plana de materiais hidrófilo e hidrófugo, respectivamente (adaptado de Brito, 2009)	17
Figura 2.2.5 - Curva típica de absorção de água por capilaridade de um material poroso	18
Figura 2.2.6 - Ensaio de permeabilidade ao vapor de água pelo método da cápsula seca (adaptado de Brito, 2009).....	20
Figura 2.2.7 - Fases do processo de secagem (adaptado de Gonçalves, 2007)	23
Figura 2.2.8 - Curva típica de secagem de materiais porosos	24
Figura 3.2.1 - Tijolo cerâmico na máquina de corte	34
Figura 3.2.2 - Tijolo cerâmico do Campo Pequeno antes do corte.....	34
Figura 3.2.4 - Tijolo antigo claro uniforme	36
Figura 3.2.3 - Tijolo antigo claro alveolar.....	36
Figura 3.2.6 – Tijolo antigo escuro fissurado	36
Figura 3.2.5 - Tijolo escuro alveolar	36
Figura 3.2.7 – Tijolo novo da Cerâmica Torreense (o “N” foi uma primeira designação dada a este tipo de tijolo)	36
Figura 3.2.8 – Tijolo novo de Vale de Gândara.....	36
Figura 3.2.9 – Pormenor de aplicação da impermeabilização no provete	37
Figura 3.3.1 - Tijolo partido em três porções.....	38

Figura 3.3.2 – Provetes de tijolo em caixas petri.....	39
Figura 3.3.3 – Provetes na câmara climática.....	39
Figura 3.4.1 – Provetes em imersão parcial (vista de cima)	42
Figura 3.4.2 – Absorção capilar do tijolo antigo claro (uniforme).....	43
Figura 3.4.3 – Absorção capilar do tijolo antigo claro (alveolar).....	44
Figura 3.4.4 – Absorção capilar do tijolo antigo escuro (alveolar)	45
Figura 3.4.5 – Absorção capilar do tijolo antigo escuro (fissurado)	46
Figura 3.4.6 – Absorção capilar do tijolo novo do Torreense (fissurado).....	47
Figura 3.4.7 – Absorção capilar do tijolo novo de Vale de Gândara (fissurado).....	48
Figura 3.4.8 – Média e desvio padrão do coeficiente de capilaridade das cinco famílias de tijolo	49
Figura 3.5.1 – Base dos provetes selada com folha de polietileno	50
Figura 3.5.2 – Ensaio de secagem.....	51
Figura 3.5.3 – Curva de secagem do tijolo antigo claro (uniforme)	52
Figura 3.5.4 – Curva de secagem do tijolo antigo claro (alveolar).....	53
Figura 3.5.5 – Curva de secagem do tijolo antigo escuro (alveolar).....	54
Figura 3.5.6 – Curva de secagem do tijolo antigo escuro (fissurado)	55
Figura 3.5.7 – Curva de secagem do tijolo novo da Cerâmica Torreense (fissurado)	56
Figura 3.5.8 – Curva de secagem do tijolo novo de Vale de Gândara (fissurado).....	57
Figura 3.5.9 – Índice de secagem (I.S) médio e desvio padrão das 5 famílias de tijolo.....	58
Figura 4.2.1 – Comparação entre os consumos de cada hidrófugo	67
Figura 4.3.1 - Absorção capilar do tijolo novo de Vale de Gândara sem hidrófugo.....	69
Figura 4.3.2 - Absorção capilar do tijolo novo de Vale de Gândara com o hidrófugo A.....	70
Figura 4.3.3 - Absorção capilar do tijolo novo de Vale de Gândara com o hidrófugo B.....	71
Figura 4.3.4 - Absorção capilar do tijolo novo de Vale de Gândara com o hidrófugo C.....	72
Figura 4.3.5 - Absorção capilar do tijolo novo de Vale de Gândara com o hidrófugo D.....	73
Figura 4.3.6 - Absorção capilar do tijolo novo de Vale de Gândara com o hidrófugo E.....	74
Figura 4.3.7 – Coeficiente de Capilaridade médio e desvio padrão do tijolo novo de Vale de Gândara de hidrófugos e sem hidrófugos.....	75
Figura 4.4.1 – Provetes sobre caixa acrílica, sendo a ligação vedada com mástique.	77
Figura 4.4.2 – Provetes cobertos com fita adesiva no interior da câmara climática	77
Figura 4.4.3 – Câmara Climática.....	78

Figura 4.4.4 – Espessura da camada de ar de difusão equivalente média das famílias de hidrófugos e de referência e o respectivo desvio padrão.....	82
Figura 4.5.2 – Curva de secagem do tijolo novo de Vale de Gândara sem hidrófugo.....	85
Figura 4.5.3 – Curva de secagem do tijolo novo de Vale de Gândara com o hidrófugo A.....	86
Figura 4.5.4 – Curva de secagem do tijolo novo de Vale de Gândara com o hidrófugo B.....	87
Figura 4.5.5 – Curva de secagem do tijolo novo de Vale de Gândara com o hidrófugo C.....	88
Figura 4.5.6 – Curva de secagem do tijolo novo de Vale de Gândara com o hidrófugo D.....	89
Figura 4.5.7 – Curva de secagem do tijolo novo de Vale de Gândara com o hidrófugo E.....	90
Figura 4.5.8 – Índice de secagem do tijolo novo de Vale de Gândara com hidrófugos e de referência...	91
Figura II.1 – Teor de humidade higroscópica nas fracções do tijolo cerâmico antigo claro (alveolar)	II.1
Figura II.2 – Teor de humidade higroscópica nas fracções do tijolo cerâmico antigo claro (alveolar)	II.1
Figura II.3 – Teor de humidade higroscópica nas fracções do tijolo cerâmico antigo escuro (alveolar) .	II.2
Figura II.4 – Teor de humidade higroscópica nas fracções do tijolo cerâmico antigo escuro (alveolar) .	II.2
Figura II.5 – Teor de humidade higroscópica nas fracções do tijolo cerâmico antigo escuro (alveolar)	II.2
Figura II.6 – Teor de humidade higroscópica nas fracções do tijolo cerâmico antigo escuro (fissurado)	II.3
Figura II.7 – Teor de humidade higroscópica nas fracções do tijolo cerâmico novo do Torreense	II.3
Figura II.8 – Teor de humidade higroscópica nas fracções do tijolo cerâmico novo do Torreense	II.3
Figura II.9 – Teor de humidade higroscópica nas fracções do tijolo cerâmico novo de Vale de Gândara	II.4
Figura II.10 – Teor de humidade higroscópica nas fracções do tijolo cerâmico novo de Vale de Gândara...	II.4
Figura II.11 – Teor de humidade higroscópica nas fracções das amostras padrões de NaCl.....	II.4
Figura III.1 – Absorção capilar do tijolo cerâmico antigo claro (uniforme).....	III.1
Figura III.2 – Absorção capilar do tijolo cerâmico antigo claro (alveolar).....	III.1
Figura III.3 – Absorção capilar do tijolo cerâmico antigo escuro (alveolar).....	III.2
Figura III.4 – Absorção capilar do tijolo cerâmico antigo escuro (fissuras paralela à base).....	III.2
Figura III.5 – Absorção capilar do tijolo cerâmico antigo escuro (fissuras perpendicular à base).....	III.2
Figura III.6 – Absorção capilar do tijolo cerâmico novo do Torreense (fissuras paralela à base).....	III.3
Figura III.7 – Absorção capilar do tijolo cerâmico novo do Torreense (fissuras perpendicular à base)	III.3
Figura III.8 – Absorção capilar do tijolo cerâmico novo de Vale de Gândara (fissuras paralelas à base)...	III.3
Figura III.9 – Absorção capilar do tijolo cerâmico novo de Vale de Gândara (fissuras perpendicular à base)	III.4

Figura IV.1 – Secagem do tijolo cerâmico antigo claro (uniforme)	IV.1
Figura IV.2 – Secagem do tijolo cerâmico antigo claro (alveolar).....	IV.1
Figura IV.3 – Secagem do tijolo cerâmico antigo escuro (alveolar).....	IV.2
Figura IV.4 – Secagem do tijolo cerâmico antigo escuro (fissuras paralela à base).....	IV.2
Figura IV.5 – Secagem do tijolo cerâmico antigo escuro (fissuras perpendicular à base)	IV.2
Figura IV.6 – Secagem do tijolo cerâmico novo do Torreense (fissuras paralela à base).....	IV.3
Figura IV.7 – Secagem do tijolo cerâmico novo do Torreense (fissuras perpendicular à base)	IV.3
Figura IV.8 – Secagem do tijolo cerâmico novo de Vale de Gândara (fissuras paralela à base)	IV.3
Figura IV.9 – Secagem do tijolo cerâmico novo de Vale de Gândara (fissuras perpendicular à base)..	IV.4
Figura V.1 – Absorção capilar do tijolo novo de Vale de Gândara com o hidrófugo A.....	V.1
Figura V.2 – Absorção capilar do tijolo novo de Vale de Gândara com o hidrófugo B.....	V.1
Figura V.3 – Absorção capilar do tijolo novo de Vale de Gândara com o hidrófugo C	V.2
Figura V.4 – Absorção capilar do tijolo novo de Vale de Gândara com o hidrófugo D	V.2
Figura V.5 – Absorção capilar do tijolo novo de Vale de Gândara com o hidrófugo E.....	V.2
Figura V.6 – Absorção capilar do tijolo novo de Vale de Gândara sem hidrófugo.....	V.3
Figura VI.1 – Secagem do tijolo cerâmico novo com o hidrófugo A	VI.1
Figura VI.2 – Secagem do tijolo cerâmico novo com o hidrófugo B	VI.1
Figura VI.3 – Secagem do tijolo cerâmico novo com o hidrófugo C	VI.2
Figura VI.4 – Secagem do tijolo cerâmico novo com o hidrófugo D	VI.2
Figura VI.5 – Secagem do tijolo cerâmico novo com o hidrófugo E	VI.2
Figura VI.6 – Secagem do tijolo cerâmico novo sem hidrófugo	VI.3

Utilização de hidrófugos de superfície em materiais cerâmicos.

Influência na secagem.

Índice de tabelas

Tabela 3.3.1 – Resultados do ensaio de HMC.....	40
Tabela 3.3.2 – Humidade relativa dentro da câmara climática (estimada a partir do HMC das amostras de NaCl)	41
Tabela 3.4.1 – Coeficiente de capilaridade do tijolo antigo claro uniforme	43
Tabela 3.4.2 – Coeficiente de capilaridade do tijolo antigo claro alveolar.....	44
Tabela 3.4.3 – Coeficiente de capilaridade do tijolo antigo escuro alveolar	45
Tabela 3.4.4 – Coeficiente de capilaridade do tijolo antigo escuro.....	46
Tabela 3.4.5 – Coeficiente de capilaridade do tijolo novo da Cerâmica Torreense	47
Tabela 3.4.6 – Coeficiente de capilaridade do tijolo novo da Cerâmica de Vale de Gândara	48
Tabela 4.2.1 – Consumo real e teórico do hidrófugo A.....	64
Tabela 4.2.2 – Consumo real e teórico do hidrófugo B.....	64
Tabela 4.2.3 – Consumo real e teórico do hidrófugo C	65
Tabela 4.2.4 – Consumo real e teórico do hidrófugo D	65
Tabela 4.2.5 – Consumo real e teórico do hidrófugo E.....	66
Tabela 4.3.1 – Coeficiente de capilaridade do tijolo novo de Vale de Gândara sem hidrófugo.....	69
Tabela 4.3.2 – Coeficiente de capilaridade do tijolo novo de Vale de Gândara com o hidrófugo A.....	70
Tabela 4.3.3 – Coeficiente de capilaridade do tijolo novo de Vale de Gândara com o hidrófugo B.....	71
Tabela 4.3.4 – Coeficiente de capilaridade do tijolo novo de Vale de Gândara com o hidrófugo C.....	72
Tabela 4.3.5 – Coeficiente de capilaridade do tijolo novo de Vale de Gândara com o hidrófugo D.....	73
Tabela 4.3.6 – Coeficiente de capilaridade do tijolo novo de Vale de Gândara com o hidrófugo E.....	74
Tabela 4.4.1 – Espessura da camada de ar de difusão equivalente média dos provetes sem e respectivo desvio padrão.....	79
Tabela 4.4.2 – Espessura da camada de ar de difusão equivalente média do hidrófugo A e respectivo desvio padrão	79
Tabela 4.4.3 – Espessura da camada de ar de difusão equivalente média do hidrófugo B e respectivo desvio padrão	80
Tabela 4.4.4 – Espessura da camada de ar de difusão equivalente média do hidrófugo C e respectivo desvio padrão	80

Tabela 4.4.5 – Espessura da camada de ar de difusão equivalente média do hidrófugo D e respectivo desvio padrão	80
Tabela 4.4.6 – Espessura da camada de ar de difusão equivalente média do hidrófugo E e respectivo desvio padrão	81
Tabela 4.5.1 – Índice de secagem do tijolo novo de Vale de Gândara sem hidrófugo	85
Tabela 4.5.2 – Índice de secagem do tijolo novo de Vale de Gândara com o hidrófugo A	86
Tabela 4.5.3 – Índice de secagem do tijolo novo de Vale de Gândara com o hidrófugo B	87
Tabela 4.5.4 – Índice de secagem do tijolo novo de Vale de Gândara com o hidrófugo C	88
Tabela 4.5.5 – Índice de secagem do tijolo novo de Vale de Gândara com o hidrófugo D	89
Tabela 4.5.6 – Índice de secagem do tijolo novo de Vale de Gândara com o hidrófugo E	90

Utilização de hidrófugos de superfície em materiais cerâmicos.

Influência na secagem.

1 – Introdução

1.1 – Enquadramento

Com a crescente importância que tem vindo a ser atribuída à conservação do património construído, o estudo dos edifícios antigos tem adquirido um novo interesse. Segundo a carta de Veneza (ICATHM, 1964), no conceito de monumento histórico, encontram-se englobados todas as obras arquitectónicas e todos os sítios, urbanos ou rurais, “nos quais sejam patentes os testemunhos de uma civilização em particular, de uma fase significativa da evolução ou do progresso, ou algum acontecimento histórico”.

Considera-se que os edifícios antigos são todos aqueles que foram construídos antes da utilização do betão armado como material estrutural (Appleton, 2003). Nestes edifícios, a construção dos diferentes elementos construtivos fez-se com recurso a técnicas e materiais tradicionais que ao longo dos séculos sofreram poucas variações. Por essa razão, os edifícios antigos apresentam muitos padrões construtivos comuns, baseando-se num reduzido número de materiais (Appleton, 2003). De entre estes materiais, destacam-se a pedra, as argamassas de cal, a terra e também o tijolo cerâmico que é o objecto desta dissertação.

O tijolo cerâmico encontra-se presente em muitos edifícios antigos, tanto em Portugal como no resto da Europa, constituindo por vezes o acabamento final das paredes, como acontece, por exemplo, na Praça de Touros do Campo Pequeno, em Lisboa.

Os produtos hidrófugos têm sido um método preferencial para a protecção das fachadas de alvenaria (Roos *et al.*, 2008) relativamente à acção da água, sendo muitas vezes aplicados em paredes de alvenaria de “tijolo de face à vista”.

A água é, de facto, responsável por um grande número de anomalias construtivas, sendo, segundo Wendler e Charola (2008), a principal causa da deterioração dos materiais de construção porosos. Nas construções antigas, os

problemas decorrentes da presença de água podem ser particularmente graves. Os materiais presentes em construções antigas têm frequentemente um elevado teor de humidade, o que se deve em larga medida ao facto de estas construções serem constituídas por paredes de grande espessura e materiais higroscópicos, muito porosos e em alguns casos contaminados com sais solúveis (Appleton, 2003).

Os hidrófugos de superfície são um dos métodos utilizados, de forma preventiva, para procurar minimizar a entrada de humidade a partir do exterior. Estes produtos são em geral líquidos que se aplicam à trincha, rolo ou por pistola de projecção nas superfícies e têm por finalidade reduzir a sucção capilar do material sem, contudo, obstruir os poros de modo a não comprometer a permeabilidade ao vapor de água.

Contudo, segundo Wendler e Plehwe-Leisen (2008), o insuficiente conhecimento sobre as propriedades do material que é tratado, a influência das condições ambientais e as propriedades do produto podem conduzir a aplicações erradas. Como mencionado por (Wendler e Charola, 2008), têm-se de facto verificado casos em que a utilização destes produtos se revelou mais prejudicial do que benéfica.

Uma análise sumária de vários dos tratamentos hidrófugos existentes no mercado (Anexo I) revela que a generalidade destes produtos faz referência ao seu excelente desempenho contra a humidade. Verifica-se contudo que a avaliação do desempenho destes produtos, nomeadamente a nível de desenvolvimento industrial, é baseada fundamentalmente na determinação da sua eficácia, ou seja, na sua capacidade para impedir a penetração de água por capilaridade. A avaliação da potencial nocividade, quando feita, resume-se geralmente à apreciação do efeito do produto na permeabilidade ao vapor de água do material.

Mas no caso dos edifícios antigos a presença de humidade nas alvenarias é crónica e esta nem sempre penetra a partir da superfície exterior da parede. A ascensão capilar de humidade do solo, a penetração por fendas ou os fenómenos de higroscopicidade, por exemplo, são frequentes. É pois necessário perceber qual o verdadeiro efeito dos produtos ali aplicados face à eliminação da humidade presente na alvenaria. De facto, camadas superficiais, como as pinturas ou as que resultam da aplicação de tratamentos hidrófugos, condicionam todas as trocas de vapor entre a construção e o ambiente. Se originarem a diminuição da taxa de secagem, podem levar a um prolongamento no tempo da presença de humidade e à extensão da área afectada.

Por outro lado, a secagem dos materiais porosos como o tijolo cerâmico é um processo complexo, que envolve transporte de água na fase líquida e de vapor. Pode portanto não ser traduzida simplesmente pelo ensaio de permeabilidade ao vapor de água.

A determinação da curva de evaporação (RILEM 1980) é uma alternativa que traduz melhor a secagem deste tipo de materiais. Santana (2002) e Fojo (2006) recorreram à determinação da curva de secagem para a avaliação do comportamento de hidrófugos de superfície aplicados em materiais pétreos. Santana (2002) testou dois tipos de hidrófugos enquanto Fojo (2006) testou quatro, tendo se verificado em ambas as situações que a aplicação de hidrófugos dificultava a secagem.

A presente tese pretende contribuir para uma melhor compreensão do comportamento dos tratamentos hidrófugos face à secagem do substrato, focando em particular o caso em que estes produtos são aplicados em tijolo cerâmico. Baseia-se num conjunto seleccionado de ensaios, incluindo ensaios de secagem que visam representar a situação das alvenarias dos edifícios antigos.

1.2 - Objectivos

Na perspectiva da conservação de edifícios antigos, esta tese teve por finalidade principal avaliar a influência de vários tratamentos hidrófugos na secagem dos materiais cerâmicos em que são aplicados. Os principais objectivos foram os seguintes:

- a) Conhecer melhor as propriedades e características dos materiais cerâmicos em geral e dos tijolos maciços em particular.
- b) Seleccionar e obter alguns tipos de tijolo (maciços) representativos da realidade nacional com vista à sua utilização no trabalho experimental da tese.
- c) Compreender o modo de actuação dos produtos hidrófugos e conhecer os desenvolvimentos recentes sobre o efeito destes tratamentos no transporte de humidade, nomeadamente no que se refere à secagem das alvenarias de “tijolo de face à vista” e, em particular, na conservação de edifícios antigos.
- d) Fazer um levantamento de tratamentos hidrófugos disponíveis no mercado português e utilizados na conservação de edifícios antigos, obter informação

sobre as suas características e desempenho, bem como seleccionar e obter alguns destes produtos para utilização no trabalho experimental da tese.

e) Averiguar, por meio de ensaios realizados em condições controladas:

e.1) O comportamento de diferentes tipos de tijolo durante a absorção de água e ulterior secagem, verificando nomeadamente que influência as anomalias presentes no material cerâmico poderão ter nos processos.

e.2) O efeito, de diferentes hidrófugos de superfície representativos da prática, na absorção de água, permeabilidade ao vapor e secagem de um material cerâmico.

1.3 - Metodologia e estrutura da dissertação

A presente tese está organizada em cinco capítulos e seis anexos, sendo o primeiro o presente capítulo introdutório.

No segundo capítulo faz-se uma breve abordagem dos conhecimentos actuais com relevância para a compreensão deste trabalho, com vista a dar resposta aos objectivos a) e c) da tese. Para tal, foi necessária a realização de uma intensa pesquisa de trabalhos científicos desenvolvidos anteriormente, alguns dos quais ajudaram também, numa fase posterior, à interpretação dos resultados obtidos experimentalmente. Neste segundo capítulo abordam-se as principais características dos materiais cerâmicos em geral, bem como a história, processo de fabrico e defeitos dos tijolos cerâmicos. Discute-se depois a secagem dos materiais porosos, nomeadamente no que diz respeito aos mecanismos de transporte de humidade líquida e sob a forma de vapor. Refere-se a acção dos sais solúveis, suas causas e mecanismos de degradação. Por fim, foca-se a composição, técnicas de aplicação e princípios de funcionamento dos hidrófugos de superfície.

O terceiro capítulo dá resposta aos objectivos b) e e.1) da tese, referindo-se à campanha experimental realizada sobre seis tipos de tijolo. Este capítulo apresenta primeiro o planeamento da campanha e uma descrição dos materiais testados. As secções seguintes dizem respeito aos ensaios realizados: determinação do teor de humidade higroscópica (HMC), ensaio que visou verificar se haveria presença de sais solúveis que pudessem afectar o transporte de humidade, absorção de água por capilaridade e secagem. Os ensaios são apresentados em secções independentes.

Para cada ensaio, descreve-se o método, apresentam-se os resultados obtidos e efectua-se a respectiva análise. No final do capítulo é realizada uma discussão global dos resultados obtidos nos diferentes ensaios mencionados.

O quarto capítulo dá resposta aos objectivos d) e e.2). Aborda a campanha experimental realizada sobre diferentes tratamentos hidrófugos aplicados em apenas um tipo de tijolo (tijolo novo proveniente de Vale de Gândara). Este capítulo inclui também em primeiro lugar o planeamento da campanha experimental e depois a descrição dos materiais testados. As secções seguintes dizem respeito aos ensaios realizados: absorção capilar, permeabilidade ao vapor e secagem. Estes ensaios são apresentados em secções separadas. Para cada ensaio, encontra-se descrito o método, apresentam-se os resultados e realiza-se a respectiva análise. No final do capítulo é efectuada uma discussão global dos resultados obtidos nos diferentes ensaios mencionados.

No quinto capítulo apresentam-se as conclusões gerais do trabalho, sendo também indicadas algumas propostas para o seu futuro desenvolvimento.

No Anexo I são apresentadas todas as fichas técnicas dos produtos hidrófugos ensaiados. Nos anexos II a VI incluem-se gráficos com escalas apropriadas para a visualização mais pormenorizada dos resultados dos ensaios de HMC, absorção de água por capilaridade e secagem.

2 – Estado-da-arte

2.1 – Materiais cerâmicos

2.1.1 – Características gerais

A indústria da cerâmica é considerada uma das indústrias mais antigas do mundo (Bauer, 1984). Os cerâmicos são materiais inorgânicos não-metálicos que são fabricados a partir de argila e apresentam em geral elevada dureza e resistência química (Cardoso, 196-).

As argilas resultam da alteração dos feldspatos das rochas ígneas, por acção da água e do dióxido de carbono, entre outros agentes. Existem diversos tipos de rochas ígneas e feldspatos que dão origem a diferentes tipos de argilo-minerais (compostos de silicatos hidratados de alumínio e ferro), sendo praticamente impossível encontrar duas jazidas iguais. No entanto é possível identificar características comuns a todas as argilas, tais como: a plasticidade, as argilas quando misturadas com água possuem características plásticas, a contração, que pode variar com o tipo de argila e se manifesta por uma redução de volume devido à secagem ou à cozedura, e por fim o efeito de calor que ocorre durante a fase da cozedura, quando se dão as transformações de estrutura e composição responsáveis pelas propriedades finais do material cerâmico (Nero, 1996/1997).

Não obstante a sua resistência, os materiais cerâmicos podem desagregar-se devido à acção de agentes externos ou internos. Os que podem ter maior efeito destrutivo são os agentes externos, nomeadamente, a humidade, a vegetação, os sais solúveis e os esforços mecânicos (Nero, 1996/1997).

Os materiais cerâmicos apresentam propriedades variáveis de acordo com a matéria-prima e o processo de fabrico utilizado, nomeadamente a temperatura de cozedura (Kingery, 1963).

Estes materiais podem ser classificados, segundo Cardoso (196-), de acordo com a utilização que lhes é dada (tijolos, telhas, azulejos, etc.), atendendo à sua estrutura exterior (produtos vidrados e produtos não-vidrados) ou à estrutura interna (produtos de pasta porosa e produtos de pasta compacta). O objectivo da presente

tese é os tijolos maciços de barro vermelho, produtos não-vidrados de pasta porosa. Os produtos de pasta porosa podem ser não-refractários (aqueles que quando aquecidos a altas temperaturas amolecem e deformam-se) ou refractários (que resistem, sem fundir, a altas temperaturas). Os tijolos de barro vermelho são não-refractários.

Os produtos de barro vermelho são fabricados a partir de uma mistura de argila, areia e água, sendo esta matéria-prima sujeita a temperaturas entre os 800 e os 1000°C (Sousa e Silva, 2000).

2.1.2 – História do tijolo cerâmico

O tijolo é um dos materiais de construção mais antigos (Abrantes, 2006) que surge no Neolítico em zonas de escassez de pedra. Os tijolos mais antigos eram de argila, em geral amassada com palha, e secos ao sol (Campbell, 2005).

O primeiro avanço no fabrico de tijolos aconteceu há cerca de 4000 anos na Mesopotâmia e consistiu na utilização de moldes que tornaram o processo de fabrico mais rápido e a geometria dos tijolos mais regular (Mesquita, 2007).

Os romanos proporcionaram outro importante desenvolvimento, uma vez que para além de disseminaram o conhecimento sobre o fabrico e a aplicação do tijolo cerâmico por todo o seu império, também apresentaram grandes progressos em várias áreas especializadas do trabalho do tijolo, tais como os banhos e aquedutos¹, arcos², abóbadas³ e cúpulas⁴ (Campbell, 2005). Desenvolveram o chamado “tijolo romano”, maciço e com forma mais alongada do que actualmente é comum. No século II d.C. os romanos deram origem a inovações como a inserção de areia (de forma a diminuir a retracção da argila durante o processo de cozedura), o aparecimento de tamanhos distintos, que geraram designações específicas, tais como, *bessalis*, *pedalis*, *sesquidapelis*, *bipedalis* e *lydion*, e ainda o advento de fornos próprios para a cozedura de tijolos (Campbell, 2005).

Os árabes foram outro povo, que durante a sua expansão, muito contribuiu para a divulgação no mundo das técnicas de fabricar e aplicar o tijolo cerâmico (Simões, 1966).

¹ Requeriam tipos especiais de tijolos e novas formas estruturais.

² Eram de pedra construídos por aduelas de tijolos de dois pés (*bipedales*).

³ Eram de betão usado numa armação de madeira, sendo os tijolos usados para conferir solidez.

⁴ Inicialmente de betão, passaram a sofrer a intervenção de nervuras de tijolo neste.

Devido em particular à contribuição dos romanos e árabes, o tijolo acabou por se traduzir numa grande indústria e comércio.

No século X, o tijolo encontrava-se difundido por todo o mundo, sendo particularmente corrente no Médio Oriente, sul da Europa e Norte de África (Fernandes, 2006). Após este período, por volta do século XII, o tijolo começou a ser usado de uma forma mais significativa no Norte da Europa, em palácios e grandes catedrais (Mesquita, 2007).

Em Inglaterra, o tijolo assume principal relevo após o incêndio de 1666 ter destruído Londres, uma velha cidade de madeira, tendo os britânicos optado por a reconstruírem utilizando o tijolo (Simões, 1966), visto este material segundo Campbell (2005) apresentar uma boa capacidade de resistência ao fogo.

Com a revolução Industrial, no século XIX, o fabrico do tijolo passou a ser mecanizado, tornando-se mais rápido e barato. Os tijolos furados surgem no final desse século, sendo mais económicos e mais leves. Contudo só meio século depois viria a ser correntemente utilizado (Abrantes, 2006).

No século XX, com a utilização do betão e do aço, materiais mais resistentes e baratos, o uso do tijolo cerâmico entra em declínio passando a ser utilizado mais como material de enchimento (Fernandes, 2006).

Segundo Campbell (2005), é nesta altura que o Movimento Moderno na arquitectura ganha um grande impulso e exigia a produção de edifícios em massa com materiais novos, especialmente o vidro, betão e aço. Contudo o uso de tijolo não foi completamente abandonado, tendo sido mesmo integrado como material aparente (tijolo de face à vista) em várias construções, por exemplo, dos arquitectos Mies van der Rohe e Le Corbusier.

Nos E.U.A, o tijolo cerâmico de face à vista continuou a ser muito utilizado até aos dias de hoje visto que, como referido por Campbell (2005), apresenta baixo custo de manutenção, boa resistência ao fogo, aos sismos e ao vento, podendo ter simultaneamente função estrutural e de enchimento.

Em países europeus como o Reino Unido, França, Bélgica, Itália, Países Baixos e Alemanha, a prática de utilização de tijolo cerâmico maciço à vista ainda é hoje muito corrente, nomeadamente em pequenos edifícios de habitação.

Em Portugal os tijolos cerâmicos de face à vista foram mais utilizados a partir do século XX e em edifícios industriais e comerciais (Mesquita, 2007). Hoje, apesar de não ser muito corrente a prática de utilização deste tipo de tijolo podemos encontrá-la em construções relativamente recentes, nomeadamente na zona dos olivais e Parque das Nações. Na actualidade é possível encontrar muitas superfícies de tijolo à vista em paredes e abóbadas de construções antigas, às quais, por razões estéticas (e muitas vezes sem justificação funcional) se opta por tirar o reboco.

2.1.3 – Processo de fabrico do tijolo cerâmico

O processo de fabrico dos tijolos cerâmico (figura 2.1.1) não sofreu grandes alterações ao longo dos séculos, acontecendo a maior alteração com a revolução industrial quando o processo passou a ser mecanizado (Simões, 1966).

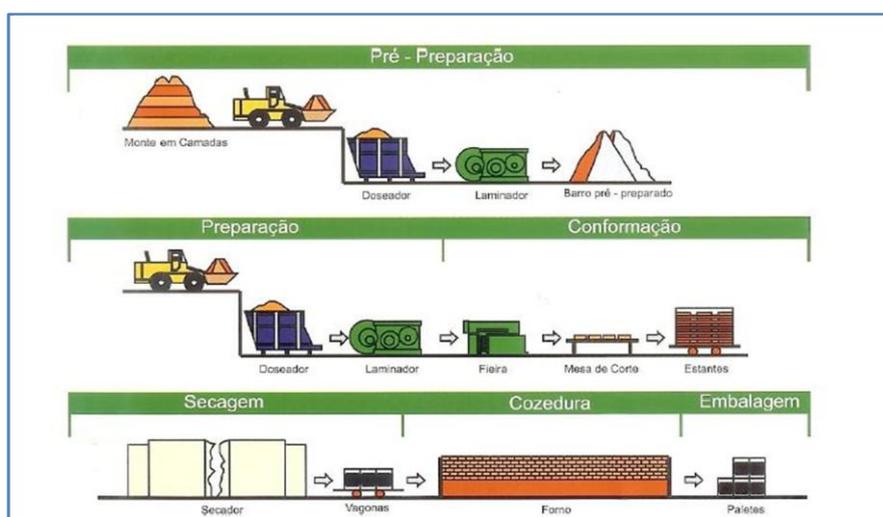


Figura 2.1.1 - Representação esquemática do processo de fabrico do tijolo cerâmico (Sousa e Silva, 2000)

Existem vários tipos de fornos, tais como: o forno de câmara (intermitentes), forno de Hoffman, túnel de vagonetas, túnel de vagonetas monostrato, túnel de rolos monocanal e túnel de rolos pluricanal (Fonseca, 2000).

A qualidade do material cerâmico está muito dependente da natureza da argila utilizada no seu fabrico uma vez que a argila, sendo uma matéria-prima natural, pode ter características diversas (Nero, 1996/1997). Uma forma de minimizar o efeito destas variações, correntemente empregue pela indústria, é utilizar argilas com mais plasticidade (argila gorda) e menos plasticidade (argila magra), doseadas de forma a obter uma mistura com características mais ou menos constantes (Sousa e Silva, 2000). As argilas gordas e magras são extraídas nos meses mais secos, sendo

depositadas em camadas intercaladas, cuja espessura é definida de modo a se obter uma mistura com características específicas, ao ar livre (Fernandes, 2006).

Segundo Sousa e Silva (2000) o processo actual de fabrico do tijolo cerâmico consiste geralmente em seis fases principais: i) Pré-preparação; ii) Preparação; iii) Conformação; iv) Secagem; v) Cozedura; vi) Embalagem.

A pré-preparação tem por finalidade garantir a homogeneização e redução da granulometria da matéria-prima. Nesta fase, o material resulta do corte vertical das camadas intercaladas que haviam sido depositadas ao ar livre, de forma a garantir que todas as camadas são colhidas. Posteriormente o material segue para os laminadores, constituídos por dois cilindros metálicos em rotação, obtendo-se pequenas lâminas de pasta. Por fim, esta pasta é armazenada e protegida das condições atmosféricas.

A preparação tem por finalidade garantir que a matéria-prima apresenta condições homogêneas de humidade e plasticidade. Nesta fase o material é colocado novamente num doseador e levado para os laminadores, onde será realizada uma segunda laminagem da pasta, seguida da amassadura com água (Fernandes, 2006).

Na fase da conformação o material é levado até feiras, que forçam a passagem da pasta através de moldes com a configuração do tijolo. Pode ser utilizado vácuo durante este processo (que se denomina “extrusão”), com a finalidade de expulsar o ar que se encontra no interior da pasta (Simões, 1966). De seguida o material é colocado sobre uma mesa, onde é cortado em blocos com a dimensão pretendida.

Na fase da secagem, os tijolos já com a sua configuração final, são secos em câmaras durante aproximadamente 16h, a temperaturas que variam entre os 30°C e os 70°C. Durante esta fase o material perde a maior parte da água livre e adquire resistência mecânica. As câmaras de secagem são em geral constituídas por ventiladores que introduzem ar quente proveniente do arrefecimento do forno da cozedura (Mesquita, 2007).

O tijolo é cozido a temperaturas que variam entre os 800 e os 1000°C durante cerca de 24h (Mesquita, 2007). Nesta fase ocorrem importantes reacções químicas que dependem de diversos factores, como a temperatura, a velocidade de aquecimento e arrefecimento, o meio ambiente (oxidante, redutor ou neutro), o tipo de forno e o tipo de combustível utilizado (Nero, 1996/1997).



Figura 2.1.2 – Tijolo cerâmico empilhado antes da cozedura.

A fase da secagem e a fase da cozedura são críticas pois é quando ocorrem as transformações de estrutura e de composição que determinam as propriedades dos tijolos.

Após a cozedura e posterior arrefecimento do tijolo, este é colocado em paletes e protegido com filme plástico, encontrando-se finalmente pronto a ser comercializado (Sousa e Silva, 2000).

2.1.4 – Defeitos no tijolo cerâmico

Os materiais cerâmicos podem apresentar defeitos que levam a uma redução da qualidade dos produtos. Segundo Nero (1996/1997), os principais são os seguintes: as eflorescências, a dilatação causada pela humidade, as fissuras, as explosões de pré-cozedura, roturas provocadas por cal e o coração negro.

As eflorescências podem ocorrer com a secagem, com a cozedura ou posteriormente, devido à acção de humidade proveniente do exterior. As eflorescências de secagem resultam quase sempre de sais solúveis que se encontram nas matérias-primas. Podem também resultar dos gases utilizados no forno para a secagem do material. Estes gases contêm trióxido de enxofre (SO_3) que, ao reagir com a água presente no material, dá origem a ácido sulfúrico (H_2SO_4). Por sua vez, este, ao reagir com o carbonato de cálcio (CaCO_3) do material, origina sulfato de cálcio (CaSO_4) que pode dissolver-se e migrar para a superfície, formando manchas esbranquiçadas.

Em seguida temos as eflorescências de humidade que surgem devido à posterior absorção de água pelas peças cozidas que são normalmente deixadas ao ar livre. Durante a subsequente secagem, esta água leva consigo os sais solúveis

eventualmente contidos no material até a superfície, formando-se eflorescências. Os tipos de eflorescência mais comuns são de sulfato de cálcio (CaSO_4), sulfato de sódio (Na_2SO_4) ou carbonato de cálcio (CaCO_3).

A dilatação de peças secas devido à humidade é bastante comum, uma vez que as peças quando saem do secador e são deixadas ao ar livre acabam por adquirir humidade existente no ar. Este fenómeno depende da humidade relativa (HR) do ar e da natureza da argila, entre outros factores. O resultado é a dilatação das peças, que pode ser acompanhada do aparecimento de fendas.

As fissuras que podemos encontrar nos tijolos cerâmicos podem também dever-se ao próprio processo de pré-aquecimento e a arrefecimento. As fissuras devidas ao pré-aquecimento apresentam-se bastante abertas, pouco onduladas, com bordos denteados irregulares. As fissuras devidas ao arrefecimento apresentam-se como muito finas, de forma ondulada e bordos nítidos não denteados.

As explosões por cozedura podem resultar, por exemplo, do excesso de humidade nas peças aquando da cozedura, da existência de uma pasta muito compacta que impossibilita a saída de gases ou de um aquecimento demasiado rápido (de 20 a 550°C) que faz com que a saída de água ocorra demasiado depressa.

As roturas provocadas por cal são originadas por pequenos pedaços de cal viva (óxido de cálcio – CaO) que não reagiram durante o processo de fabrico. Este óxido hidrata-se posteriormente, devido à presença da humidade do ar, formando hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2), num processo expansivo que dá origem a roturas no material.

Por fim, o coração negro corresponde a manchas de cor negra no interior do material, eventualmente associadas ao inchamento deste. A formação do coração negro ocorre devido a uma redução do Fe_2O_3 para FeO , causada pelo ambiente redutor gerado pela formação de CO , que em geral resulta de uma combustão incompleta da matéria orgânica presente na pasta (Nero, 1996/1997).

2.1.5 – Aparelhos de alvenaria de tijolo

Existem várias disposições possíveis no assentamento de tijolos. Pinho (2000) indica que o tijolo maciço pode ser disposto **ao alto** (figura 2.1.2), **a meia vez** (figura 2.1.3), **a uma vez** (figura 2.1.4) ou **a duas vezes** (figura 2.1.5).

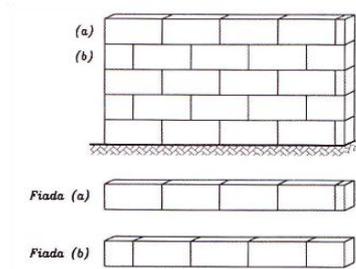


Figura 2.1.2 – Pano de tijolo ao alto (Pinho, 2000)

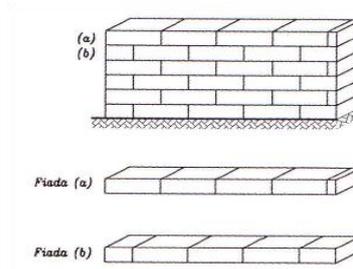


Figura 2.1.3 – Pano ou parede a meia vez (Pinho, 2000)

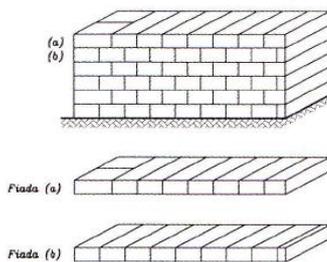


Figura 2.1.4 – Pano ou parede a uma vez (perpiano) (Pinho, 2000)

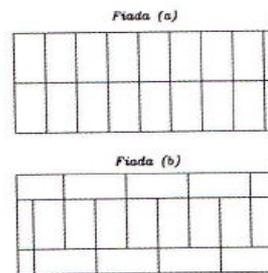


Figura 2.1.5 – Parede de duas vezes (aparelho inglês) (Pinho, 2000)

2.2 – Secagem dos materiais porosos

2.2.1 – Características gerais

Os materiais de construção, de acordo com a sua microestrutura, podem ser classificados em materiais porosos (exemplo: tijolo cerâmico) ou não-porosos (exemplo: vidro), sendo que a maioria dos materiais de construção são porosos. Os materiais porosos incluem pequenos vazios disseminados na sua massa, que se denominam poros.

A porosidade pode ser de dois tipos: a porosidade aberta (figura 2.2.1), em que os pequenos vazios comunicam entre si, e a porosidade fechada (figura 2.2.2), em que os pequenos vazios se encontram isolados uns dos outros. Importa referir que apenas a porosidade aberta é responsável pela percolação do fluido na rede interna do material.

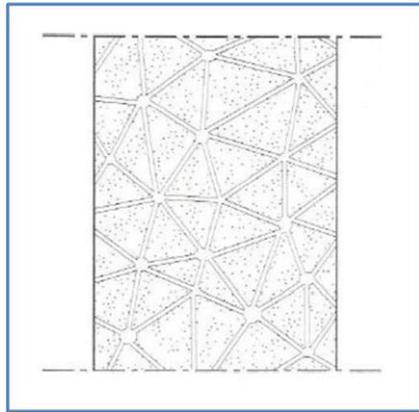


Figura 2.2.1 – Porosidade aberta
(Freitas e Torres, 2008)

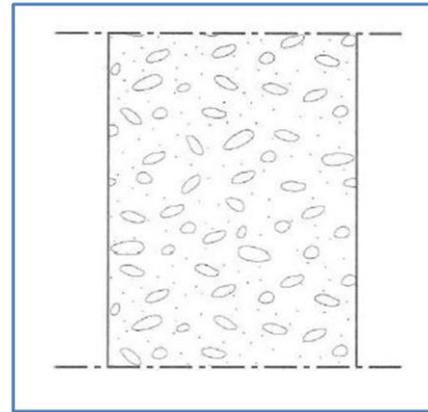


Figura 2.2.2 – Porosidade fechada
(Freitas e Torres, 2008)

A classificação dos poros pode ser realizada, segundo o seu diâmetro, em três tipos: microporos, mesoporos e macroporos. Os microporos não permitem a movimentação da água neles contida porque as forças capilares são muito elevadas. Os mesoporos (ou poros capilares) constituem a rede por onde ocorre a percolação de água líquida. Os macroporos são responsáveis pela condução de vapor de água. De acordo com os valores-limite indicados segundo a norma DIN 66131 (citada por Rato 2006) os microporos têm diâmetro inferior a $0,002 \mu m$, os mesoporos entre $0,002$ e $0,05 \mu m$ e os macroporos superior a $0,05 \mu m$.

Os materiais de construção porosos podem fixar a humidade segundo três mecanismos físicos: adsorção de vapor de água, condensação de vapor de água e sucção capilar de água líquida (Ramos, 2000).

Na generalidade, os materiais de construção são higroscópicos, ou seja, quando a humidade relativa do ar varia, o seu teor de humidade também varia. Isto deve-se à adsorção ou desadsorção de moléculas de água do ar na superfície interna dos poros. O fenómeno de adsorção é constituído por duas fases, em que numa primeira fase ocorre a fixação de uma camada de moléculas de água na superfície interior do poro (adsorção monomolecular), e numa segunda fase segue-se a disposição de várias camadas de moléculas (adsorção plurimolecular) (Freitas, 1992).

Quanto à condensação, esta pode ser de dois tipos: condensação do ponto de orvalho e a condensação capilar. A condensação do ponto de orvalho pode dar-se na superfície ou no interior dos materiais. Ela acontece quando, numa massa de ar, a pressão do vapor se torna igual à pressão de saturação, ou seja, quando a quantidade de vapor de água que o ar contém atinge o valor correspondente à quantidade máxima

de vapor que o ar pode conter a essa temperatura. A condensação capilar é um fenómeno diferente e pode ocorrer nos materiais higroscópicos quando, nos poros de menor dimensão, a camada de água adsorvida se torna tão espessa que todo o poro fica preenchido por água. Quando ocorrem condensações num material pode passar a dar-se transporte de humidade na fase líquida (Freitas, 1992).

A capilaridade, mecanismo que ocorre quando um material é posto em contacto com água na fase líquida (Freitas, 1992), é tratada na secção que se segue.

2.2.2 – Transporte de água líquida

O transporte de água líquida em materiais porosos ocorre sobretudo por capilaridade. Este mecanismo é o resultado de as forças de atracção entre o líquido e o material sólido serem maiores do que as forças de coesão do líquido, o que corresponde ao caso em que a superfície do líquido no interior do capilar forma um menisco convexo (figura 2.2.3).

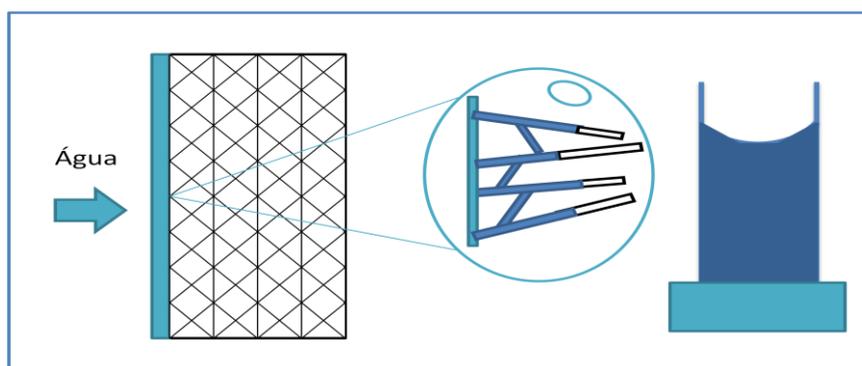


Figura 2.2.3 - Fenómeno de capilaridade (adaptado de Freitas, 1992)

O fenómeno de ascensão de líquido (por capilaridade) que se verifica num capilar resulta da diferença de pressão líquido-gás. Esta diferença de pressão é denominada pressão capilar e dada pela seguinte expressão:

$$P_c = - \frac{2 \times \sigma \times \cos \theta}{r}$$

(Equação 2.2.1)

Em que P_c é a pressão capilar (Pa), σ a tensão superficial do líquido (N.m^{-1}), e o r o raio do capilar (m).

A tensão superficial resulta do equilíbrio de forças entre as moléculas de água da superfície e do interior do líquido. Esta propriedade faz com que a superfície se comporte como uma espécie de membrana e tenha, portanto, alguma capacidade para resistir a forças exteriores.

O ângulo de contacto ou de molhagem é o ângulo formado entre a superfície do sólido e a tangente à superfície do líquido no ponto de contacto (figura 2.2.4). Quando o ângulo de contacto de um sólido com a água é superior a 90° estamos perante um material hidrófugo. Para estes materiais, o menisco formado pela água nos capilares é convexo, não havendo portanto progressão de água por capilaridade no sólido poroso. No caso de este ângulo ser inferior a 90° , estamos perante um material hidrófilo. O menisco formado nos capilares é côncavo e há penetração de água por capilaridade no material.

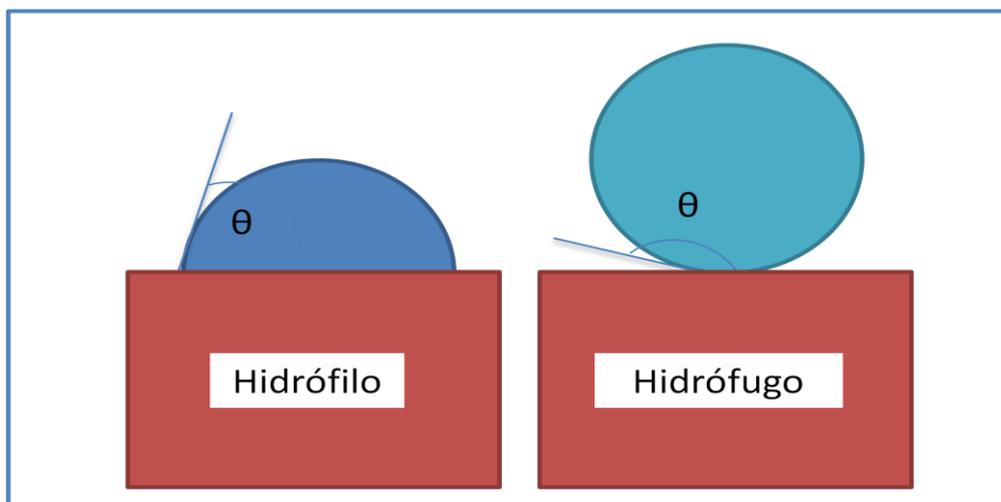


Figura 2.2.4 - Gotas de água sobre uma superfície plana de materiais hidrófilo e hidrófugo, respectivamente (adaptado de Brito, 2009)

Devido à complexidade da rede capilar dos materiais de construção porosos como o tijolo cerâmico, a capilaridade não pode ser analisada para cada capilar, com base na equação 2.2.1, recorrendo-se antes à determinação de coeficientes globais que são obtidos através do chamado ensaio de capilaridade.

Este ensaio baseia-se no facto de, a nível macroscópico, a quantidade de água absorvida e a altura de ascensão capilar no material serem função da raiz quadrada do tempo:

$$W(t) = A \times \sqrt{t}$$

(Equação 2.2.2)

$$H(t) = B \times \sqrt{t}$$

(Equação 2.2.3)

Em que W representa a quantidade de água absorvida ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$), H representa a altura de ascensão capilar (m), t representa o tempo (s), A é o coeficiente de absorção de água por capilaridade ou simplesmente coeficiente de capilaridade ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1/2}$) e B o coeficiente de penetração capilar ($\text{m}/\text{s}^{1/2}$). A é um parâmetro mais usado do que B , pois B pode ser difícil de se obter uma vez que a fronteira entre as zonas húmida e seca pode não ser simples de distinguir ou ser irregular.

O ensaio para determinação do coeficiente de capilaridade consiste simplifadamente em colocar um material em imersão parcial, de forma a permitir que ocorra absorção pela sua base, e depois efectuar pesagens periódicas para avaliar a quantidade de água absorvida ao longo do tempo.

O resultado deste ensaio é um gráfico que expressa a quantidade de água absorvida em função da raiz quadrada do tempo, correspondendo o coeficiente de capilaridade à inclinação do primeiro troço linear da curva (figura 2.2.5).

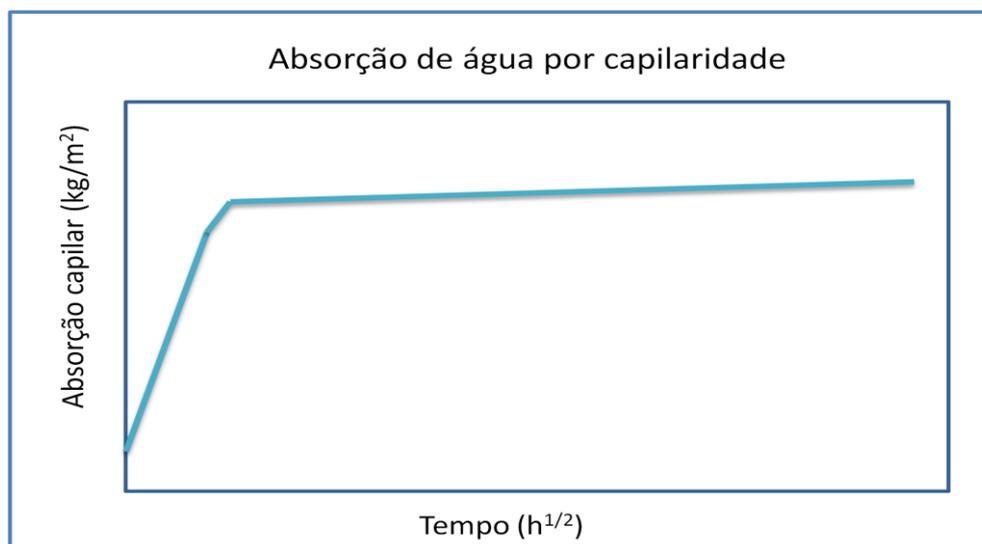


Figura 2.2.5 - Curva típica de absorção de água por capilaridade de um material poroso

A quantidade de água absorvida por unidade de superfície (M_w) ao fim de um determinado tempo (t) é dada pela relação entre a diferença de massa do provete no instante t (M) e no estado seco (M_0), dividida pela área da face do provete que se encontra em contacto com a água (S), de acordo com a seguinte expressão:

$$M_w = \frac{M - M_0}{S}$$

(Equação 2.2.4)

2.2.3 – Transporte de vapor de água

O transporte de vapor de água ocorre quando o material é sujeito a um gradiente de pressão de vapor. Obedecendo esse movimento de vapor às leis da difusão, a humidade desloca-se de uma zona de maior pressão de vapor para uma zona de menor pressão de vapor. O fluxo de difusão é proporcional ao gradiente de concentração de vapor de água, e pode ser expresso através da primeira lei de Fick:

$$\vec{j} = -D_v \times \vec{\nabla}c$$

(Equação 2.2.5)

Em que, \vec{j} representa ao fluxo de vapor ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), D_v representa o coeficiente de difusão ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$) e c representa a concentração de vapor de água ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$). A existência de um sinal negativo na equação significa que o movimento ocorre das zonas de maior concentração para as zonas de menor concentração de vapor.

Partindo do pressuposto de que o ar se comporta como um gás ideal, então têm-se:

$$p_v = \frac{C \times R \times T}{M_w}$$

(Equação 2.2.6)

Em que R representa a constante de gás ideal ($8.3144 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$), T representa a temperatura (K) e M_w representa a massa molar da água ($\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$).

A permeabilidade ao vapor, Π ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$), é uma grandeza específica de cada material e diz respeito à quantidade de vapor (kg) que atravessa uma espessura unitária de material (m), por unidade de tempo (s), de superfície (m^2) e de unidade de pressão do vapor (Pa):

$$\Pi = \frac{D_v \times M_w}{R \times T}$$

O transporte de vapor pode ser analisado experimentalmente através do método da cápsula, que traduz um regime estacionário de transporte unidireccional de vapor através do material. O ensaio consiste em fixar um provete do material sobre uma cápsula contendo uma solução salina capaz de originar determinada humidade relativa a uma determinada temperatura de ensaio (figura 2.2.6).

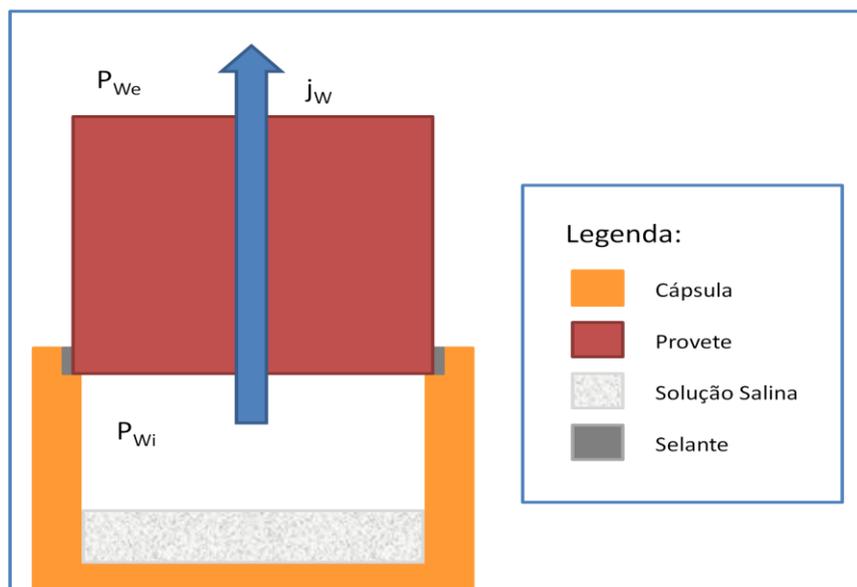


Figura 2.2.6 - Ensaio de permeabilidade ao vapor de água pelo método da cápsula seca (adaptado de Brito, 2009) – o sentido de transmissão é correspondente ao método da cápsula húmida.

O método da cápsula apresenta duas vertentes: o método da “cápsula húmida”, quando a humidade relativa no interior da cápsula é superior à humidade relativa no exterior da cápsula, existindo perda de massa; o método da “cápsula seca”, quando a humidade relativa no interior da cápsula é inferior à humidade relativa no exterior da cápsula, existindo a ganho de massa. Nestas condições, o fluxo de vapor de água que atravessa o provete é expresso pela seguinte equação:

$$j_w = \Pi \times \frac{(p_{wi} - p_{we})}{e}$$

(Equação 2.2.8)

Em que, $p_{wi} - p_{we}$ corresponde à diferença de pressão do vapor entre o interior e o exterior da cápsula (Pa) e e corresponde à espessura da amostra (m).

O cálculo da permeabilidade ao vapor Π deriva da equação 2.2.8, quando o fluxo de difusão j_w ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) é substituído pela razão entre a taxa de difusão G ($\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$) e a secção sujeita a esse fluxo S (m^2), sendo dado pela seguinte equação:

$$\Pi = \frac{G \times e}{S \times \Delta P \times 36 \times 10^5}$$

(Equação 2.2.9)

Em que ΔP representa o diferencial de pressão de vapor de água entre as duas faces do provete (Pa) e é obtido através da seguinte equação:

$$\Delta P = P_e - P_i = P_s \times \frac{H_{re}}{100} - P_s \times \frac{H_{ri}}{100}$$

(Equação 2.2.10)

P_e e P_i (Pa) e H_{re} e H_{ri} (%) representam a pressão de vapor e a humidade relativa existentes na câmara climática e no interior da cápsula, respectivamente. P_s (Pa) representa a pressão de saturação do ar à temperatura T ($^{\circ}\text{C}$) existente no interior da câmara climática, sendo dada pela equação:

$$P_s = 610,5 \times e^{\frac{17,269 \times T}{273,3 + T}}$$

(Equação 2.2.11)

O factor de resistência à difusão do vapor de água, μ , é uma grandeza adimensional que indica quantas vezes a permeabilidade ao vapor do material é maior que a de uma camada de ar de igual espessura em condições ambientais semelhantes (Oliveira, C. 1996), sendo expresso pela seguinte equação:

$$\mu = \frac{\Pi_{ar}}{\Pi}$$

(Equação 2.2.12)

Em que, Π_{ar} corresponde ao coeficiente de difusão de vapor de água no ar à pressão atmosférica ($1,95 \times 10^{-10} \text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}$).

A espessura da camada de ar de difusão equivalente, S_a , é outro parâmetro muito importante que corresponde à espessura de uma camada de ar com a mesma

resistência à difusão do vapor de água que uma camada com espessura e do material em análise, sendo expresso pela seguinte equação:

$$S_d = \mu \times e$$

(Equação 2.2.13)

2.2.4 – Secagem

A secagem dos materiais porosos é, macroscopicamente, um processo que tem três fases principais (figura 2.2.7). Considerando um provete saturado, ou seja, em que os poros do material se encontram preenchidos por água, e selado em todas as faces excepto uma (para que o transporte de humidade seja predominantemente unidireccional), temos as seguintes fases de secagem:

- **1ª Fase de secagem:** A água líquida é transportada até a superfície do material por forças de capilaridade. Na superfície dá-se o processo de evaporação, havendo uma diminuição do teor de humidade do material no decorrer do tempo. Não obstante esta diminuição, o teor de humidade mantém-se uniforme em todo o material. A taxa de secagem depende de parâmetros externos tais como a temperatura, a humidade relativa do ambiente e a velocidade do ar junto à superfície do material.
- **2ª Fase de secagem:** Inicia-se quando a alimentação da água à superfície se torna insuficiente para compensar a procura evaporativa. Nesta altura, o teor de água atinge o valor crítico. Se a evaporação continuar, a frente de secagem começa a recuar para o interior do material, passando o transporte de humidade a ser realizado por capilaridade até à frente de secagem e depois por difusão do vapor até à superfície. O recuo progressivo da frente húmida aumenta o percurso de difusão do vapor, levando a uma secagem cada vez mais lenta.
- **3ª Fase de secagem:** Com a diminuição do teor de água no material, a certa altura, a continuidade líquida quebra-se também nos capilares atrás da frente húmida, passando o transporte de humidade a dar-se por difusão do vapor em todo o material. Esta última fase da secagem é bastante lenta, ocorrendo à

medida que o teor de humidade se aproxima do valor correspondente ao equilíbrio higroscópico.

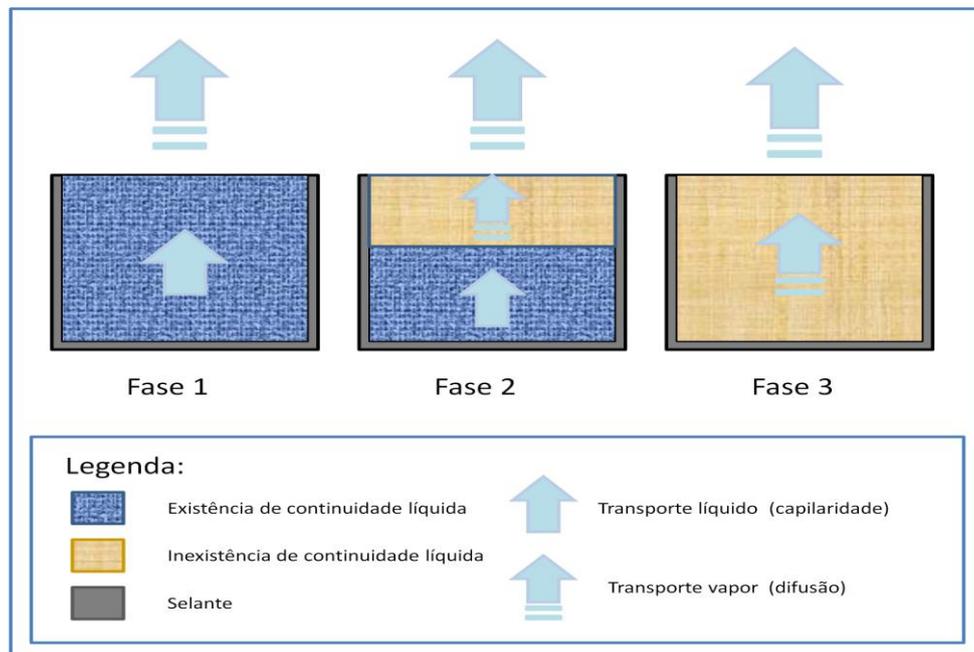


Figura 2.2.7 - Fases do processo de secagem (adaptado de Gonçalves, 2007)

O estudo do processo de secagem dos materiais porosos pode ser feito experimentalmente, em condições ambientais controladas, através da determinação da curva da secagem (RILEM, 1980).

Neste ensaio de secagem utilizam-se usualmente provetes cúbicos ou prismáticos. O ensaio consiste em levar o provete à saturação capilar, por imersão em água, sendo este depois colocado a secar em condições ambientes definidas. Durante a secagem, o provete deve ter cinco das suas seis faces seladas, de forma a permitir o transporte unidireccional de humidade do interior do provete para a face que não se encontra selada. A curva de secagem é obtida através de pesagens periódicas, pelas quais se determina a variação do teor de água ao longo do tempo (figura 2.2.8). O teor de água é dado pela seguinte equação:

$$W_i = \frac{m_i - m_{seca}}{m_{seca}} \times 100 \text{ [%]}$$

(Equação 2.2.13)

Em que W_i (%) representa o teor de água do provete no instante t_i , m_i (g) a massa do provete no instante t_i e m_{seca} (g) a massa seca do provete.

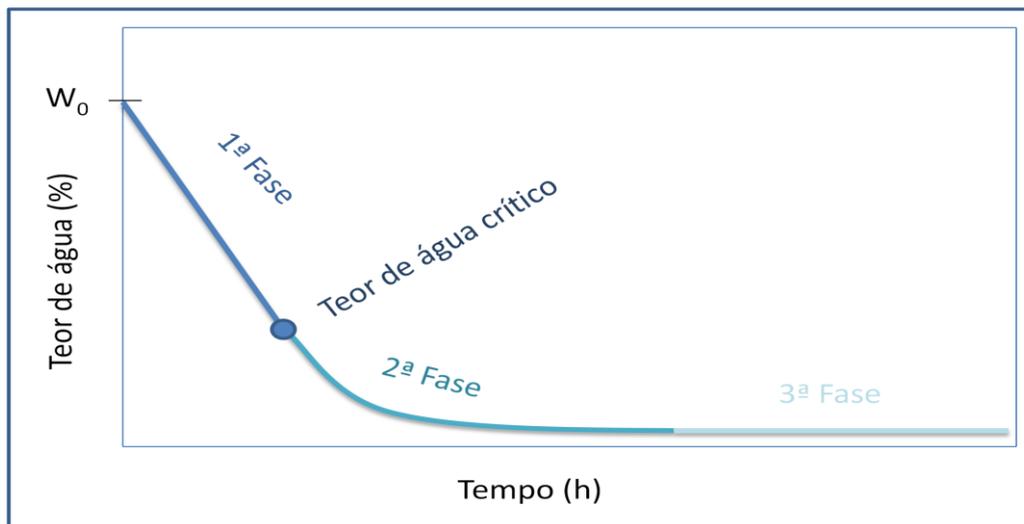


Figura 2.2.8 - Curva típica de secagem de materiais porosos

A transição entre a 1ª fase da curva e a 2ª fase é identificada através do ponto de inflexão, que corresponde ao teor de água crítico e se situa na transição entre o troço recto (1ª fase de secagem) e o troço curvo (2ª e 3ª fases). Relativamente à transição entre a 2ª fase e a 3ª fase, esta é em geral indefinida (Gonçalves, 2007).

A forma das curvas de secagem depende das propriedades do material, das condições ambientais, forma da amostra, teor de água inicial e da evaporação ser uni- ou multi-direccional (RILEM 1980).

É usual que o primeiro troço de recta da curva de secagem possa variar entre materiais distintos. Este facto é atribuído ao facto de os materiais poderem apresentar diferente porosidade e rugosidade, o que conduz a superfícies efectivas de evaporação distintas e, conseqüentemente, a diferentes taxas de secagem (Gonçalves, 2007)

O resultado do ensaio de secagem pode ser expresso de forma quantitativa através do índice de secagem (*IS*) que é obtido através da seguinte expressão (Commissione Normal 1991):

$$I.S = \frac{\int_0^{t_i} f(w) \times dt}{W_0 \times t_i}$$

(Equação 2.2.14)

Em que $f(w)$ representa o teor de água do provete (%) em função do tempo t , W_0 o teor de água inicial (%) e t_i o tempo total de ensaio (h). Este tempo total é caracterizado pelo aparecimento de uma assíntota horizontal no gráfico da secagem (Bourguignon, 2000).

2.3 – Sais Solúveis

2.3.1 – Relevância, causas e mecanismos de degradação

Os sais solúveis podem causar grandes prejuízos nos materiais de construção, e em, casos extremos de construções mais antigas, pode afectar mesmo a segurança da própria edificação. Além da degradação física dos materiais, os sais causam problemas a nível estético e de salubridade nos edifícios e envolvem muitas vezes repetidas reparações com elevados custos. Outra consequência grave desta patologia é a progressiva e irreparável perda de material histórico.

A acção dos sais tem origem em iões (cloreto, sulfato, nitrato, entre outros) com origens variadas. Segundo Charola (2000) algumas dessas origens são a poluição atmosférica, o solo, a água do mar (nevoeiro salino, contaminação de solos por água salgada, etc.), ou os próprios materiais de construção. Estes iões podem dissolver-se na água líquida presente na rede porosa, migrando assim nas soluções formadas, por capilaridade, até zonas onde ocorre a evaporação da água e a consequente deposição dos sais.

A cristalização de sais pode dar-se à superfície do material, ocorrendo eflorescências, ou no interior dos poros, ocorrendo cripto-eflorescências (ou subflorescências). Quando a cristalização ocorre no interior do material poroso, pode originar a degradação deste devido às tensões internas geradas (LNEC, 1971).

Tal como sumariado por Gonçalves (2007), a degradação dos materiais porosos devido à cristalização de sais depende da conjugação de três factores essenciais, sendo eles: a presença simultânea de sais solúveis e humidade, as propriedades do meio físico em que ocorre o processo e a existência de condições ambientes propícias à ocorrência de cristalização.

A degradação causada pela acção dos sais solúveis é de extrema relevância para os edifícios antigos devido, segundo Gonçalves (2007), devido aos seguintes factores principais:

- Sais e água – Esses edifícios são constituídos por materiais porosos e hidrófilos, que favorecem a entrada e permanência dos sais solúveis e da água na sua rede porosa. Por outro lado, as paredes destes edifícios encontram-se normalmente em contacto directo com o solo, proporcionado o aparecimento de humidade ascensional. Por fim, sais e humidade com diferentes origens podem acumular-se na alvenaria ao longo dos anos.
- Meio físico – O processo de deterioração por acção dos sais em alvenarias antigas é frequentemente mais rápido por estas incluírem materiais mais fracos, em comparação com os das novas construções, nomeadamente as argamassas de cal aérea.
- Impacto estrutural – Os danos causados em paredes de função estrutural afectadas pela acção dos sais podem acabar por comprometer a segurança estrutural do edifício.
- Relevância histórica – Os edifícios antigos possuem por si mesmos ou incluem elementos com valor histórico, sendo por isso necessário garantir a sua preservação para as gerações futuras (ICATHM, 1964), o que significa que devem ser preservados por tempo indefinido.
- Relevância artística – Os edifícios antigos incluem muitas vezes elementos artísticos que podem ser prejudicados pela acção dos sais solúveis.

O tijolo cerâmico é um material de construção que apresenta de uma forma geral uma excelente durabilidade. No entanto, alguns mecanismos de deterioração podem levar a uma redução desta sua eficiência (Robinson, 1982). Segundo Andrés, *et al* (2009), uma das anomalias frequentemente detectadas nas fachadas de tijolo é o aparecimento de eflorescências devidas à cristalização de sais (Emery e Charola, 2007). A chamada “doença do tijolo”, que consiste na pulverização progressiva do material, é também devida à cristalização de sais, neste caso, no interior dos poros.

Segundo Robinson (1982), são as repetidas acções de molhagem e secagem que, dando origem a ciclos de cristalização, acabam por ter como consequência a desagregação do material.

Além da degradação física e estética, os sais podem agravar os problemas de humidades, sendo a causa disto a influência que podem ter na secagem destes materiais. Os sais tornam mais lenta a secagem dos materiais, o que tem como consequência uma maior prolongada permanência da humidade no material, e o agravamento dos sintomas (ex: aumento da altura de ascensão capilar).

Foi devido à influência que os sais podem ter na secagem dos materiais porosos que foi necessário avaliar previamente a presença de sal nos diferentes tipos de tijolo utilizados nesta tese. Essa avaliação foi realizada através do método do teor de humidade higroscópica (HMC), cujos fundamentos se apresentam a seguir, na secção 2.3.2.

2.3.2 – Avaliação do teor de sais (método HMC)

Para a avaliação do teor de sal de materiais de construção porosos, como a pedra, as argamassas ou os materiais cerâmicos, pode, segundo Gonçalves (2007) e Lubelli *et al* (2004), ser utilizado o método do HMC (*hygroscopic moisture content*). Este método, que recorre a pressupostos teóricos e determinações experimentais, é de execução bastante simples e surge como alternativa ou complemento de métodos de análise química como a CI (cromatografia iónica) ou a condutividade (Gonçalves, 2007).

O método do HMC exige uma pequena quantidade de trabalho laboratorial, que consiste essencialmente em colocar as amostras numa câmara climática, onde estas são sujeitas a certas condições de temperatura e humidade relativa (HR), e proceder a pesagens periódicas até que seja atingido o equilíbrio higroscópico. Este ensaio permite testar em simultâneo um grande número amostras (da ordem das dezenas ou mesmo centenas).

A avaliação do teor de sal pelo método do HMC baseia-se em dois factos:

- Os sais solúveis usualmente são muito higroscópicos: em condições de equilíbrio, possuem um teor de humidade face ao qual o teor de humidade (nas mesmas condições) de materiais higroscópicos como as argamassas, a pedra ou o tijolo cerâmico, se torna desprezável.
- O teor de humidade higroscópica (teor de humidade existente em condições de equilíbrio) de um determinado sal apresenta um valor preciso. Desta forma, o

método poderá permitir quantificar o teor de sal, pelo menos em termos relativos por comparação entre diferentes amostras contaminadas pelo mesmo tipo de sal.

O método do HMC foi já objecto de duas publicações específicas (Gonçalves e Rodrigues 2006; Gonçalves *et al.* 2006a). Inicialmente, as amostras são secas em estufa e depois são pesadas de modo a determinar a sua massa seca. Em seguida, são sujeitas às condições ambientes escolhidas, numa câmara climática, até a sua massa permanecer constante ao longo do tempo, ou seja, até se atingir o equilíbrio higroscópico. Nestas condições, o teor de humidade higroscópica (HMC) da amostra é dado pela seguinte expressão:

$$HMC = 100 \times \frac{Q}{m_s} [\%]$$

(Equação 2.3.1)

Em que, Q é a quantidade de humidade higroscópica na amostra (g), correspondente à diferença entre a massa seca da amostra m_s (g) e a massa em equilíbrio higroscópico.

Se desprezarmos o HMC do material que, para materiais como as argamassas, a pedra ou o tijolo cerâmico, é normalmente muito baixo em comparação com o dos sais solúveis, o teor de humidade higroscópica (HMC) da amostra é directamente proporcional ao seu teor de sal.

Se, se conhecer o HMC do sal (possível por determinação directa utilizando amostras só de sal ou através da actividade da água, parâmetro termodinâmico que se encontra tabelado para vários sais e temperaturas), pode determinar-se quantitativamente o teor de sal. Na presente tese a avaliação efectuada foi em termos relativos, pelo que não se aprofundará a metodologia de cálculo do teor absoluto de sal, que se encontra descrita em Gonçalves e Rodrigues (2006).

2.4 – Hidrófugos de superfície

2.4.1 – Princípios de funcionamento

A água é uma das causas mais importantes da deterioração dos materiais de construção porosos, sendo os produtos hidrófugos um dos métodos utilizados com o intuito de limitar a sua acção.

A molécula de água é uma substância química constituída por hidrogénio (carga positiva) e oxigénio (carga negativa). As pedras e os tijolos são também constituídos por cargas negativas e positivas, de onde resulta uma atracção entre as cargas destes materiais e as cargas positivas e negativas da água (Charola, 1995).

O modo de aplicação de produtos hidrófugos pode ser efectuada, segundo Santana (2002), a pincel, por capilaridade ou por imersão, e têm por finalidade reduzir a sucção capilar das superfícies dos materiais através da sua acção repelente por via química sem afectar a permeabilidade ao vapor de água destes. São tradicionalmente produtos incolores (Henriques, 1992), embora actualmente existam hidrófugos de superfície comercializados em diferentes cores que, segundo Batista (2010), apresentam exactamente as mesmas propriedades e características que o produto análogo incolor.

Os siliconatos devem a sua acção hidrófuga à polimerização dos seus elementos em contacto com o dióxido de carbono do ar. Contudo, podendo esta polimerização ser bastante demorada, pode acontecer a remoção do hidrófugo pela chuva, caso esta ocorra logo após aplicação do produto (Henriques, 1992).

Os silicones são caracterizados por apresentar fortes propriedades hidrófugas, boa ligação ao suporte, elevada durabilidade e boa resistência aos agentes atmosféricos, produtos químicos e aos microorganismos. Os silicones apresentam uma baixa viscosidade, o que favorece a penetração do produto nos suportes (Santana, 2002).

Os silicones englobam os silanos, os siloxanos e as resinas silicónicas. A diferença entre os silicones provém do número de repetições da unidade O-Si e pelo tamanho das cadeias poliméricas formadas (Santana, 2002).

Os silanos são compostos de silicone mais simples apresentando moléculas mais pequenas (Santana, 2002) e têm a capacidade de penetrar em materiais com

poros muito finos devido às suas moléculas apresentarem dimensões muito pequenas. A desvantagem deste tipo de composto reside no facto de a sua polimerização apresentar perdas entre os 60 e os 80% devido ao carácter volátil do produto e à formação de álcool durante a reacção (Henriques, 1992).

Os siloxanos são constituídos por várias ligações de silício-oxigenio, Si-O. Comparativamente com os silanos, apresentam maior estabilidade, eficácia e menores perdas dos componentes activos, entre os 20 e os 30% (Santana, 2002).

As resinas silicónicas são compostos parecidos com os silanos e os siloxanos, apresentando como diferença o facto de serem aplicadas já polimerizadas. A sua acção encontra-se relacionada com a formação de moléculas orgânicas hidrófobas que após a evaporação do solvente se fixam aos suportes (Henriques, 1992).

Os organo-metálicos são produtos constituídos por compostos orgânicos de titânio e de estearatos de alumínio, estes produtos segundo Santana (2002), não são adequados para todos os suportes.

As resinas acrílicas assim como os poliuretanos são usualmente utilizados como produtos consolidantes, concedendo algumas propriedades hidrorrepelentes as superfícies tratadas. (Santana, 2002). Segundo Charola (1995), as resinas acrílicas são provavelmente os polímeros mais utilizados na conservação de superfícies.

Os perfluorpoliéteres são produtos de protecção que foram introduzidos nos anos 80, contudo alguns estudos revelaram que a utilização destes produtos parecem apontar para uma acção pouco eficaz (Santana, 2002 citando Beloyannis, 1988; Pinto *et al.*, 1994).

A aplicação de hidrófugos de superfície pode por vezes resultar em efeitos indesejados tais como alterações do aspecto visual, retardar a secagem ou a redução da permeabilidade ao vapor, sendo pois necessário avaliar o grau de nocividade associado ao tratamento (Pinto, 1993; Santana, 2002).

Rodrigues e Charola (1996) consideram que o estudo dos tratamentos hidrófugos deve avaliar a eficácia, a nocividade e a durabilidade dos mesmos. A avaliação da eficácia pode ser feita verificando a alteração da aptidão de molhagem do material poroso após a aplicação do hidrófugo. Em relação à durabilidade, pode tentar estimar-se esta com base em ensaios de envelhecimento artificial acelerados. Quanto à nocividade os trabalhos experimentais realizados por Santana (2002) e Fojo (2006)

mostram que a aplicação dos hidrófugos nas superfícies estudadas afecta a secagem, revelando o seu carácter nocivo.

Como já foi mencionado, é de extrema importância que a aplicação dos produtos hidrófugos na superfície não afecte a secagem, visto que a presença de água é muito frequente em edifícios antigos e quando a secagem é prolongada isso pode resultar num agravamento dos seus efeitos (exemplo: do desenvolvimento biológico, etc.), pelo prolongamento no tempo da presença de humidade e aumento da área afectada.

Apesar da importância demonstrada relativamente a avaliação da nocividade dos hidrófugos em materiais cerâmicos, especialmente no que se refere à influência na secagem, não é conhecido nenhum estudo que permita verificar esta avaliação.

3 – Campanha experimental sobre diferentes tipos de tijolo

3.1- Planeamento

A primeira campanha experimental desta tese incidiu sobre 6 tipos de tijolo cerâmico. Esta campanha teve por objectivo analisar o comportamento à secagem dos diferentes tipos de tijolo, bem como caracterizar e compreender as suas características mais relevantes. O trabalho teve em vista a selecção do tipo de tijolo a utilizar nos ensaios subseqüentemente realizados sobre diferentes hidrófugos de superfície.

Considerou-se inicialmente a utilização de tijolo cerâmico antigo proveniente da Praça de Touros do Campo Pequeno, em Lisboa. Verificou-se contudo, por observação visual após corte do material, que este tijolo apresentava uma grande heterogeneidade que poderia não permitir uma avaliação em condições controladas dos vários hidrófugos, objecto principal deste trabalho. Desta forma, foram também testados dois tipos de tijolo cerâmico maciço de fabrico recente, seleccionados com base numa pesquisa de mercado e provenientes das Cerâmicas Torreense e de Vale de Gândara.

A campanha experimental incluiu os seguintes ensaios: avaliação do teor de sal pelo método HMC, absorção de água por capilaridade e secagem.

Os ensaios de absorção de água por capilaridade e de secagem foram realizados sobre o mesmo conjunto de provetes para minimizar a possível ocorrência de variações devidas à heterogeneidade dos materiais (particularmente relevantes no caso do tijolo antigo), facilitando o cruzamento dos resultados dos dois ensaios.

O ensaio de HMC foi o primeiro a ser realizado, com o intuito de se verificar se era necessário proceder à dessalinização dos provetes, já que o sal pode afectar a secagem dos materiais (Gonçalves, 2007). Em seguida, realizou-se o ensaio de absorção de água por capilaridade. O ensaio de secagem foi realizado imediatamente a seguir ao de capilaridade, sobre os mesmos provetes, aproveitando-se a condição (próxima) da saturação capilar que se atinge no fim do ensaio de capilaridade como condição de partida do ensaio de secagem.

Neste capítulo descreve-se a preparação dos provetes (secção 3.2), apresentando-se depois para cada ensaio (secções 3.3 a 3.5) os métodos, os resultados e a respectiva análise. No final do capítulo (secção 3.6) discutem-se globalmente os resultados obtidos nos três ensaios.

3.2 – Materiais

Os tijolos cerâmicos foram cortados em provetes cúbicos com dimensões de 50mm x 50mm x 50mm (figura 3.2.1).



Figura 3.2.1 - Tijolo cerâmico na máquina de corte

Os tijolos antigos provenientes do Campo Pequeno possuíam bastante sujidade e restos de argamassa acumulados na superfície (figura 3.2.2). Assim, só após o corte destes foi possível verificar que se tratava provavelmente não de um, mas de diferentes tipos de tijolo. A nomenclatura adoptada designa a cor do tijolo (**E** – escuro; **C** – claro), única característica que era distinguível antes do corte, indicando-se depois entre parênteses um descritor do material que é frequentemente indicativo do tipo de defeito nele predominante.



Figura 3.2.2 - Tijolo cerâmico do Campo Pequeno antes do corte

De facto, verificou-se que a generalidade dos tijolos do Campo Pequeno possuía defeitos extremamente marcados, existindo poucos tijolos uniformes, tal como abaixo se descreve e ilustra.

Os tipos de tijolo estudados foram os seguintes:

- **C (alveolar)** – tijolo antigo claro que é caracterizado por apresentar lacunas de forma alveolar em todas as faces do material (figura 3.2.3).
- **C (uniforme)** – tijolo antigo claro, caracterizado por apresentar uma superfície bastante homogénea mas que, contudo, revela algumas pequenas fissuras (figura 3.2.4).
- **E (alveolar)** – tijolo antigo escuro que é caracterizado por apresentar defeitos significativos tais como coração negro e fissuras em todas as faces do material (figura 3.2.5).
- **E (fissurado)** – tijolo antigo escuro que é caracterizado por apresentar bastantes fissuras; devido à abundância de fissuras e ao facto de se dispor de material em quantidade suficiente, a disposição predominante das fissuras (paralelas ou perpendiculares à superfície) foi tida em conta (figura 3.2.6).
- **T (fissurado)** – tijolo novo da Cerâmica Torreense (23x11x7 cm) que se verificou apresentar também bastantes fissuras (figura 3.2.7); como no caso anterior, foram testadas duas orientações das fissuras (paralelas e perpendiculares à base).
- **G (fissurado)** – tijolo novo da Cerâmica de Vale de Gândara (24x11,5x6,5 cm) que se verificou apresentar também fissuras, embora em menos quantidade e com menor largura do que o tijolo da Cerâmica Torreense; também neste caso, foi decidido testar provetes com fissuras paralelas e provetes com fissuras perpendiculares à base.

A designação dada a cada provete inclui a letra que caracteriza a família de tijolo a que este pertence, um primeiro algarismo que identifica o tijolo de onde o provete foi cortado e um segundo algarismo que se refere ao número do próprio provete. Nos casos em que a orientação das fissuras foi estudada, “-“ é utilizado para referir as fissuras paralelas, e “|” as fissuras perpendiculares à base.



Figura 3.2.3 - Tijolo antigo claro alveolar



Figura 3.2.4 - Tijolo antigo claro uniforme



Figura 3.2.5 - Tijolo escuro alveolar



Figura 3.2.6 – Tijolo antigo escuro fissurado



Figura 3.2.7 – Tijolo novo da Cerâmica Torreense (o "N" foi uma primeira designação dada a este tipo de tijolo)



Figura 3.2.8 – Tijolo novo de Vale de Gândara

Após o corte e a identificação, os provetes destinados aos ensaios de capilaridade e secagem foram impermeabilizados nas quatro faces laterais (figura 3.2.9) com uma resina epoxi bicomponente (Icosit 101 da Sika). A resina foi aplicada em duas camadas, dadas em sentidos cruzados com intervalo de aproximadamente 24h. Esta resina foi escolhida devido aos bons resultados demonstrados em trabalhos anteriores do LNEC (não escorre durante a aplicação, é impermeável ao vapor de água e não migra para o interior do provete).



Figura 3.2.9 – Pormenor de aplicação da impermeabilização no provete

3.3 - HMC

3.3.1 – Método

O ensaio de HMC, que tem por finalidade a avaliação do teor de sal e cujos fundamentos se apresentam na secção 2.3.3, foi realizado sobre os seguintes tipos de tijolo: tijolo antigo claro **C alveolar** (2 provetes); antigo escuro **E Alveolar** (3 provetes); antigo escuro **E fissurado** (1 provetes); tijolo novo **T fissurado** (2 provetes) e tijolo novo **G fissurado** (2 provetes).

O ensaio de HMC não foi realizado para o tijolo claro uniforme, uma vez que, à data da selecção das amostras para este ensaio, não tinham ainda sido estabelecidas as diferenças entre ele e o tijolo claro alveolar, cuja cor e textura são muito parecidas. Face aos resultados obtidos e ao facto de o tijolo seleccionado para aplicação dos hidrófugos não ter sido este, considerou-se não ser importante repetir o ensaio para este tijolo.

Antes de se dar início ao ensaio de HMC, os cubos (50 mm x 50 mm x 50 mm) de tijolo foram divididos em 3 partes (figura 3.3.1), as quais constituíram os provetes sujeitos ao ensaio. Utilizaram-se dois cubos, portanto seis provetes, para os tijolo antigo claro alveolar (**C**) e para os tijolos novos (**T;G**). No caso do tijolo antigo escuro alveolar (**E**) utilizaram-se três cubos, logo, nove provetes. No caso do tijolo antigo escuro uniforme (**E**) utilizou-se um cubo, logo, três provetes. Número dos provetes utilizado variou consoante a heterogeneidade que o material apresentava, utilizando-se mais provetes para representar os materiais mais heterogéneos.



Figura 3.3.1 - Tijolo partido em três porções

O material de cada provete foi esmigalhado (figura 3.3.2) e colocado em caixas *petri* (sem tampa) com diâmetro de 89,60 mm. Estas caixas foram devidamente identificadas, sendo posteriormente colocadas numa estufa ventilada a uma temperatura de 60°C até se obter massa constante, o que permitiu determinar a massa seca dos provetes. As caixas *petri* contendo os provetes foram então, depois de arrumadas em recipientes de plástico sem tampa, colocadas dentro de uma câmara climática a uma temperatura de 20°C e humidade relativa de 95% (figura 3.3.3). A utilização dos recipientes de plástico destinou-se a proteger os provetes de possíveis efeitos da circulação de ar na câmara, que podia originar alguma perda de material em pó. Juntamente com os provetes de tijolo, colocaram-se na câmara 8 caixas *petri* contendo amostras-padrão de pó de cloreto de sódio (NaCl).



Figura 3.3.2 – Provetes de tijolo em caixas petri



Figura 3.3.3 – Provetes na câmara climática

Para avaliar a evolução do teor de água das amostras e determinar o atingir de condições de equilíbrio, foi realizada a sua pesagem periódica (numa balança com resolução de 0,001g). As pesagens iniciaram-se ao fim de 7 dias, sendo depois realizadas com um intervalo de três a quatro dias. O ensaio teve uma duração total de 27 dias. Este período foi necessário para estabilização dos provetes constituídos só por sal. Os provetes de tijolo estabilizaram ao fim de apenas de 7 dias.

O teor de humidade higroscópica das amostras (*HMC*) foi calculado pela equação 2.3.1. A aferição da HR na câmara climática foi feita, tal como explicado na secção 2.3.3, através da equação 2.3.2.

3.3.2 – Apresentação e análise dos resultados

Na tabela 3.3.1 que segue são apresentados os valores do teor de humidade higroscópica dos provetes, bem como os valores médios e o desvio padrão de cada família.

Tabela 3.3.1 – Resultados do ensaio de HMC

Designação	Identificação do cubo de tijolo de onde foram extraídos os provetes	Teor de humidade higroscópica (%)		
		Valores individuais	Média	Desvio Padrão
Antigo claro (alveolar)	C37.2	4,4	3,4	0,9
		3,1		
		2,6		
	C37.3	1,2	1,0	0,2
		0,9		
		0,8		
Antigo escuro (Alveolar)	E4.2	0,2	0,1	0,1
		0,1		
		0,1		
	E12.3	0,0	0,0	0,0
		0,1		
		0,0		
	E17.2	0,0	0,0	0,0
		0,1		
		0,0		
Antigo escuro (fissurado)	E5.4	0,0	0,1	0,0
		0,1		
		0,0		
Novo Torreense	T10.3	0,2	0,2	0,0
		0,2		
		0,1		
	T16.3	0,1	0,1	0,0
		0,1		
		0,1		
Novo Vale de Gândara	G7.1	0,1	0,0	0,0
		0,0		
		0,0		
	G20.1	0,0	0,0	0,0
		0,0		
		0,0		
NaCl	P1	1535,9	1579,8	55,8
	P2	1571,6		
	P3	1606,5		
	P4	1691,2		
	P5	1566,3		
	P6	1546,2		
	P7	1512,2		
	P8	1608,2		

Da análise da tabela 3.3.1 pode-se verificar que, com excepção do tijolo cerâmico antigo claro (em particular o provete C37.2), o HMC dos materiais testados é quase nulo, o que aponta no sentido de o seu teor de sal ser desprezável. De acordo com os resultados apresentados no artigo de Gonçalves *et al* (2006) os valores obtidos para 4 dos 5 tipos de tijolo são aceitáveis visto o teor de humidade

higroscópica ser inferior 0,5%, (nesse artigo são apresentados valores de HMC entre 0,2% e 0,5% para um tijolo não contaminado por sais).

O tijolo cerâmico antigo claro (alveolar) é o único que apresenta um valor de HMC um pouco mais elevado (da ordem dos 1,0% a 3,4%), não sendo portanto possível afirmar que o seu teor de sal é desprezável.

O HMC das amostras-padrão serve, tal como descrito no secção 2.3.3, para estimar o valor actual da HR na câmara climática. Na tabela 3.3.2 apresentam-se os valores individuais e médios estimados. Os valores de \underline{m} foram obtidos a partir da equação 2.3.2 e os valores de $\underline{a_w}$ foram obtidos por interpolação numérica com base numa tabela que se encontra em Robinson e Stokes (2002).

Tabela 3.3.2 – Humidade relativa na câmara climática (estimada a partir do HMC das amostras de NaCl)

		HMC (%)	m	a_w	HR (%)	Média (HR %)	Desvio padrão (HR%)
Padrões	P1	1535,882	1,114	0,963	96,3	96,4	0,1
	P2	1571,627	1,089	0,964	96,4		
	P3	1606,522	1,065	0,965	96,5		
	P4	1691,159	1,012	0,967	96,7		
	P5	1566,281	1,092	0,964	96,4		
	P6	1546,228	1,107	0,963	96,3		
	P7	1512,181	1,132	0,962	96,2		
	P8	1608,151	1,064	0,965	96,5		

Da análise da tabela 3.3.2 é possível verificar que, apesar de se ter colocado o *set point* da câmara climática relativamente à humidade relativa a 95%, na realidade esta encontrava-se a 96,4%. Contudo, é importante referir que o desvio padrão é muito baixo (cerca de 0,1%), o que significa que a humidade relativa é aceitavelmente uniforme na câmara climática e, desta forma, os valores de HMC obtidos para os vários provetes são comparáveis.

3.4 – Ensaio de absorção de água por capilaridade

3.4.1 – Método

O ensaio de absorção de água por capilaridade, que se apresenta na secção 2.2.2, foi realizado com base no procedimento No. II.6 “Water absorption coefficient (capillarity)” (RILLEM 1980). O referido ensaio teve por finalidade, caracterizar a

absorção de água dos seguintes tipos de tijolo cerâmico: tijolo antigo claro **C alveolar** (4 provetes); tijolo antigo claro **C uniforme** (4 provetes); antigo escuro **E Alveolar** (5 provetes, mais um do que nos outros casos porque este era um material mais heterogéneo); antigo escuro **E fissurado** (4 provetes, 2 de fissuras paralelas e 2 de fissuras perpendiculares à base); tijolo novo **T fissurado** (4 provetes, 2 de fissuras paralelas e 2 de fissuras perpendiculares à base) e tijolo novo **G fissurado** (4 provetes, 2 de fissuras paralelas e 2 de fissuras perpendiculares à base).

Antes de se dar início ao ensaio, os provetes foram secos em estufa ventilada a uma temperatura de 60°C até se obter massa constante, o que permitiu determinar a sua massa seca. Em seguida, foram colocados em imersão parcial, mantendo-se a superfície livre de água cerca de 5mm acima da face inferior dos provetes. O ensaio foi realizado dentro de caixas de plástico abertas e teve a duração total de 12 dias (figura 3.4.1).

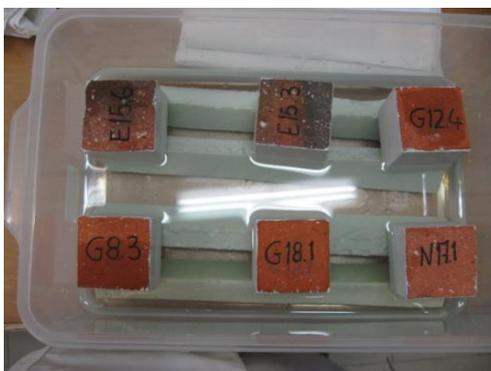


Figura 3.4.1 – Provetes em imersão parcial (vista de cima)

A pesagem dos provetes foi realizada aos 1min, 3min, 5min, 10min, 15min, 30min, 1h, 8h e 24h e a seguir diariamente. Depois, através dos valores obtidos pela equação 3.4.2, traçou-se um gráfico expressando a quantidade de água absorvida por unidade de área ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$) em função da raiz quadrada do tempo decorrido ($h^{-1/2}$). Como referido em 2.2.2, a inclinação do primeiro troço linear recto desta curva corresponde ao coeficiente de capilaridade. A quantidade de água absorvida foi calculada a partir da equação 2.2.4.

3.4.2 – Apresentação e análise dos resultados

Os resultados do ensaio de capilaridade apresentam-se nas figuras 3.4.2 a 3.4.7 e nas tabelas 3.4.1 a 4.4.6. Para cada tipo de tijolo, apresentam-se as curvas de absorção capilar dos diferentes provetes e uma tabela com os valores individuais do coeficiente de capilaridade, sua média, desvio padrão e coeficiente de variação (o coeficiente de variação traduz o valor do desvio padrão como percentagem da média,

sendo uma boa forma de avaliar a importância relativa da dispersão de um conjunto de valores). No fim, na figura 3.4.8, é feita uma comparação dos resultados obtidos para os diferentes tipos de tijolo utilizando os valores médios do coeficiente de capilaridade e o respectivo desvio padrão.

3.4.2.1 – Tijolo Antigo Claro (Uniforme)

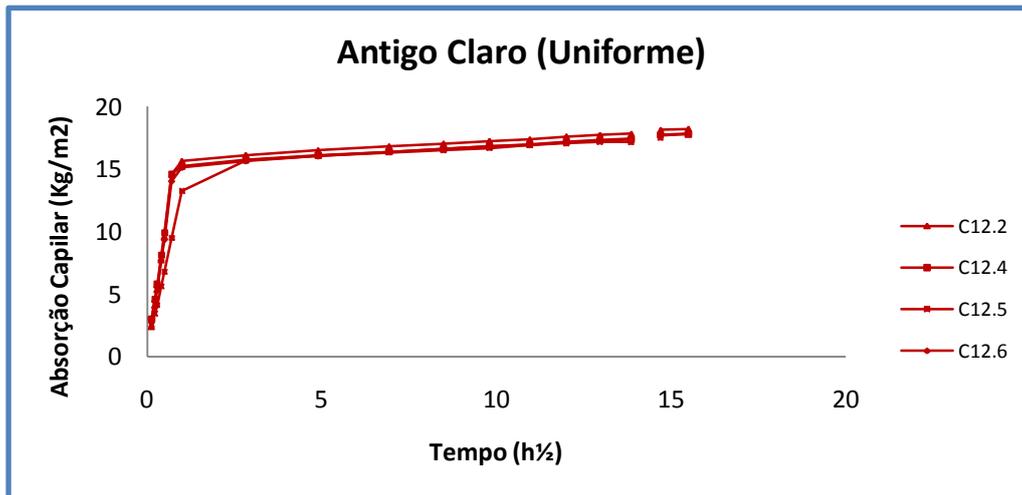


Figura 3.4.2 – Absorção capilar do tijolo antigo claro uniforme

Tabela 3.4.1 – Coeficiente de capilaridade do tijolo antigo claro uniforme

Designação	Identificação dos provetes	Coeficiente de capilaridade ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1/2}$)			
		Valores individuais	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de variação (%)
Antigo claro (Uniforme)	C12.2	19,487	16,992	3,147	18,5
	C12.4	18,765			
	C12.5	12,488			
	C12.6	17,228			

Da análise da figura 3.4.2 e da tabela 3.4.1 pode-se verificar que a absorção capilar dos provetes que constituem esta família de tijolo é bastante próxima. Apenas o comportamento do provete C12.5 é um pouco distinto (apesar de este provete ser proveniente do mesmo tijolo que os restantes), o que justifica o coeficiente de variação obtido.

3.4.2.2 – Tijolo Antigo Claro (Alveolar)

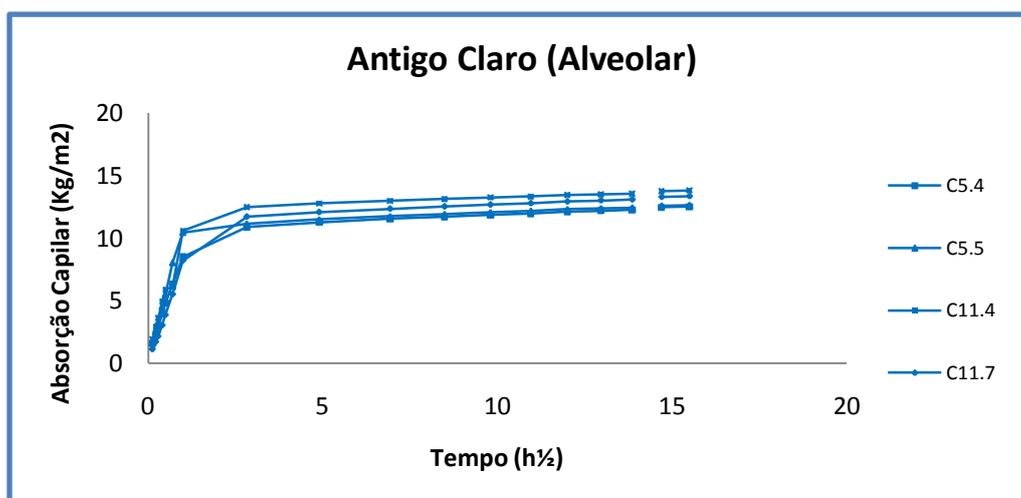


Figura 3.4.3 – Absorção capilar do tijolo antigo claro alveolar

Tabela 3.4.2 – Coeficiente de capilaridade do tijolo antigo claro alveolar

Designação	Identificação dos provetes	Coeficiente de capilaridade ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1/2}$)			
		Valores individuais	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de variação (%)
Antigo claro (Alveolar)	C5.4	7,921	9,456	1,646	17,4
	C5.5	11,023			
	C11.4	10,727			
	C11.7	8,152			

A figura 3.4.3 e a tabela 3.4.2, mostram que o comportamento em absorção capilar é aproximadamente semelhante para todos os provetes desta família de tijolo. De facto (apesar de os provetes serem neste caso proveniente de dois tijolos distintos), o coeficiente de variação é até menos significativo do que no caso anterior. Note-se que a variação verificada é mais devida a diferenças entre os dois provetes de cada tijolo do que entre os dois tijolos.

3.4.2.3 – Tijolo Antigo Escuro (Alveolar)

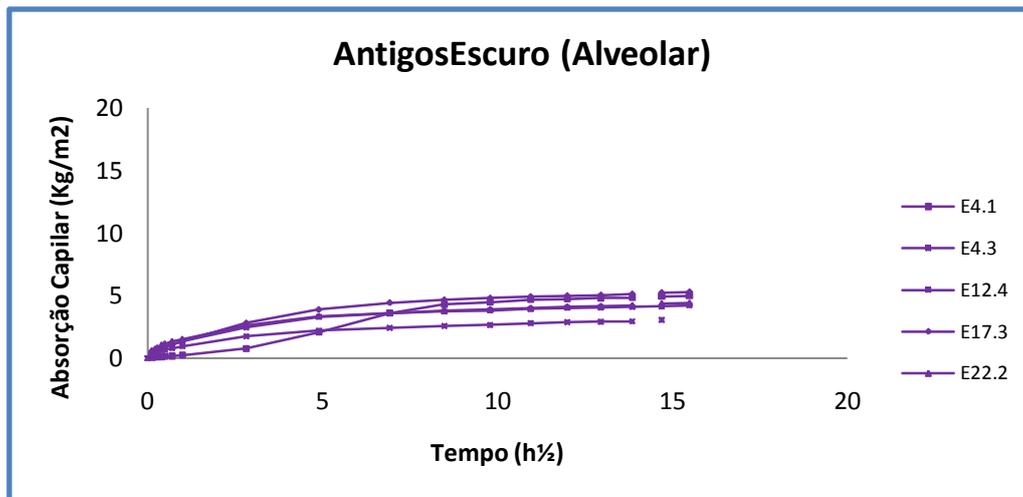


Figura 3.4.4 – Absorção capilar do tijolo antigo escuro alveolar

Tabela 3.4.3 – Coeficiente de capilaridade do tijolo antigo escuro alveolar

Designação	Identificação dos provetes	Coeficiente de capilaridade ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1/2}$)			
		Valores individuais	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de variação (%)
Antigo escuro (Alveolar)	E4.1	0,261	0,797	0,354	44,4
	E4.3	1,077			
	E12.4	0,612			
	E17.3	0,969			
	E22.2	1,066			

A análise da figura 3.4.4 e da tabela 3.4.3 permite verificar que a absorção capilar deste tipo de tijolo é muito reduzida. Não obstante, a dispersão dos resultados individuais não é pequena em termos relativos. De facto, o coeficiente de variação é significativo, o que é largamente devido ao (extremamente baixo) coeficiente de capilaridade do provete E4.1 e, embora menos, do provete E17.3. Mais uma vez, esta variação não pode ser explicada por os provetes serem provenientes de diferentes tijolos, sendo atribuível à heterogeneidade do próprio material.

3.4.2.4 – Tijolo Antigo Escuro (Fissurado)

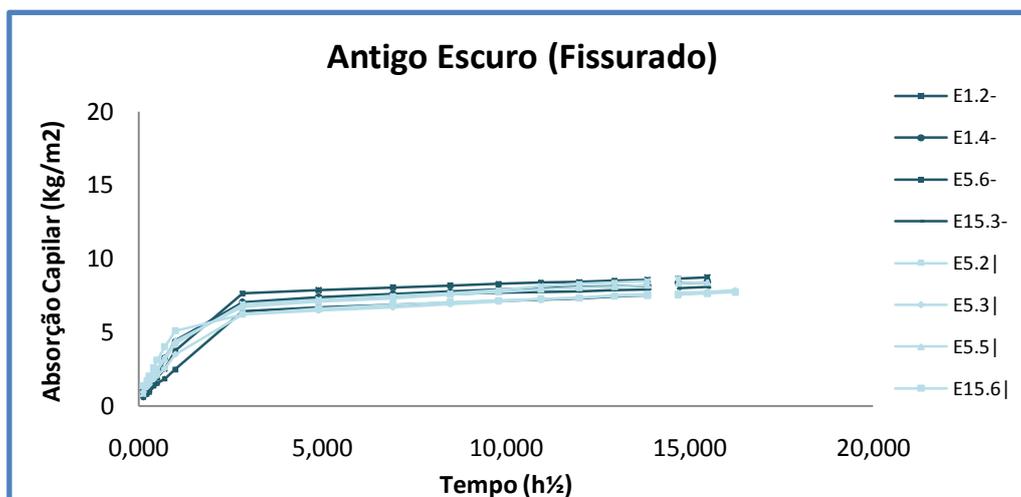


Figura 3.4.5 – Absorção capilar do tijolo antigo escuro fissurado

Tabela 3.4.4 – Coeficiente de capilaridade do tijolo antigo escuro

Designação	Identificação dos provetes	Coeficiente de capilaridade ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1/2}$)			Coeficiente de variação (%)
		Valores individuais	Média	Desvio Padrão	
Antigo escuro (fissuras paralelas à base)	E1.2	3,405	3,387	0,859	25,4
	E1.4	3,874			
	E5.6	2,173			
	E15.3	4,096			
Antigo escuro (fissuras perpendiculares à base)	E5.2	3,658	3,600	0,629	17,5
	E5.3	2,858			
	E5.5	3,494			
	E15.6	4,389			

A figura 3.4.5 indica que o comportamento em absorção capilar é relativamente próximo para os provetes ensaiados (independentemente da diferente orientação das fissuras). A tabela 3.4.4 revela no entanto que, em rigor, a dispersão do coeficiente de capilaridade não é desprezável (coeficientes de variação de 17,5% e 25,4%). O comportamento geral é, contudo, bastante semelhante entre as duas famílias, o que indica que neste caso, a (aparente) orientação preferencial das fissuras não tem consequências significativas.

3.4.2.5 – Tijolo Novo da Cerâmica Torreense

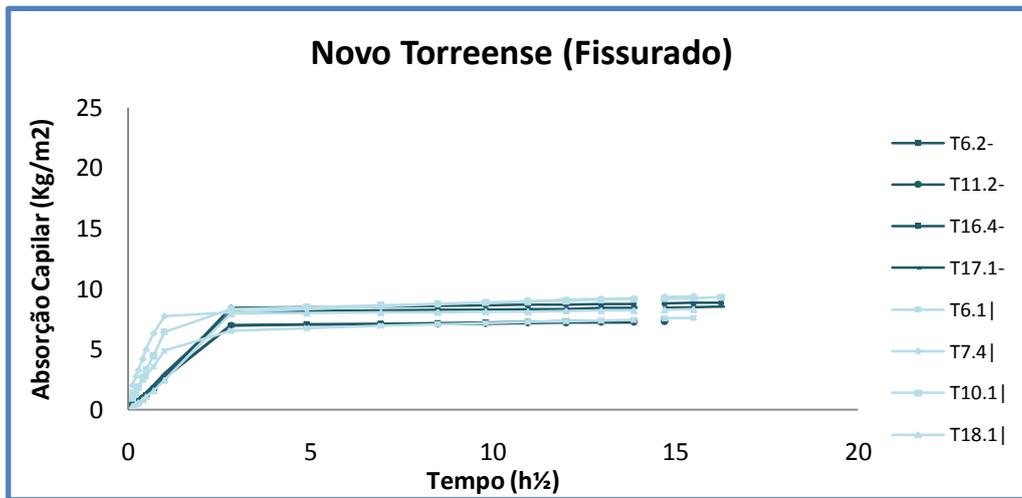


Figura 3.4.6 – Absorção capilar do tijolo novo do Torreense fissurado

Tabela 3.4.5 – Coeficiente de capilaridade do tijolo novo da Cerâmica Torreense

Designação	Identificação dos provetes	Coeficiente de capilaridade ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1/2}$)			
		Valores individuais	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de variação (%)
Novo Torreense (fissuras paralelas à base)	T6.2	2,527	2,607	0,143	5,5
	T11.2	2,509			
	T16.4	2,575			
	T17.1	2,818			
Novo Torreense (fissuras perpendiculares à base)	T6.1	3,992	5,143	2,413	46,9
	T7.4	7,913			
	T10.1	6,227			
	T18.1	2,441			

Quanto aos tijolos novos da Cerâmica Torreense, a figura 3.4.6 e a tabelas 3.4.5 permitem verificar que a dispersão dos resultados individuais é pequena para o caso das fissuras paralelas à base. Contudo, no caso das fissuras perpendiculares à base, a figura 3.4.6 e a tabela 3.4.5), mostram uma relevante divergência de comportamento entre os provetes que constituem esta família, ultrapassando o coeficiente de variação os 45%. Esta divergência pode ser em parte devida ao facto de os provetes terem sido seleccionados com base em simples observação visual da sua superfície, não havendo dados sobre a efectiva orientação das fissuras no interior do material. De facto, o bastante significativo coeficiente de variação é explicado pela

divergência dos valores dos provetes T18.1 e T7.4 que se aproximam dos valores obtidos para o caso das fissuras paralelas à base.

O aspecto mais relevante deste ensaio é, no entanto, a diferença obtida para as duas orientações de fissuras, sendo maior o coeficiente de capilaridade obtido para as fissuras perpendiculares relativamente ao das fissuras paralelas à base.

3.4.2.6 – Tijolo Novo da Cerâmica de Vale de Gândara

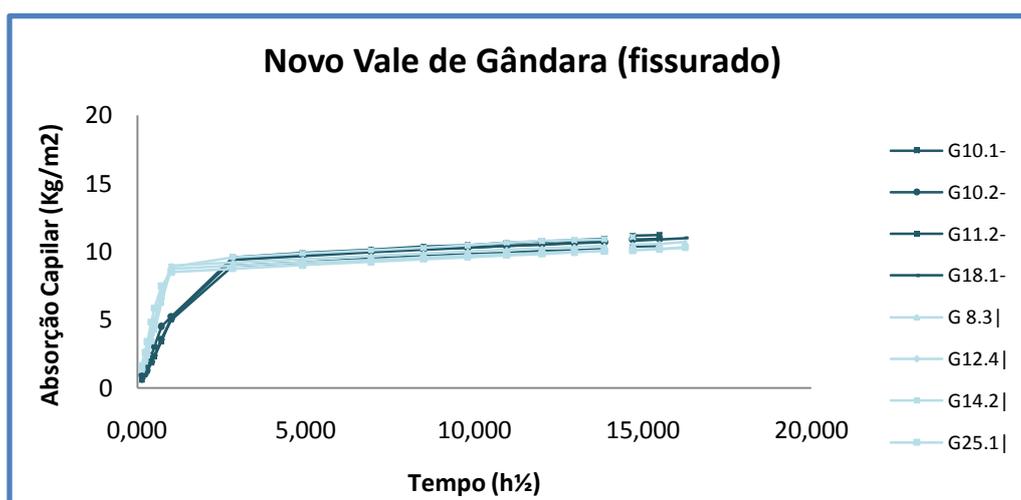


Figura 3.4.7 – Absorção capilar do tijolo novo de Vale de Gândara fissurado

Tabela 3.4.6 – Coeficiente de capilaridade do tijolo novo da Cerâmica de Vale de Gândara

Designação	Identificação dos provetes	Coeficiente de capilaridade ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1/2}$)			
		Valores individuais	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de variação (%)
Novo Vale de Gândara (fissuras paralelas à base)	G10.1	5,122	5,198	0,078	1,5
	G10.2	5,303			
	G11.2	5,204			
	G18.1	5,163			
Novo Vale de Gândara (fissuras perpendiculares à base)	G8.3	9,391	9,642	1,299	13,5
	G12.4	9,048			
	G14.2	8,601			
	G25.1	11,529			

No que diz respeito aos tijolos novos de Vale de Gândara (figuras 3.4.7 e tabela 3.4.6), verifica-se que os provetes que constituem cada uma das duas famílias

apresentam um comportamento capilar muito semelhante entre si. Esta menor dispersão dos valores individuais traduz-se em coeficientes de variação de valor mais baixo do que os obtidos para o tijolo da Torreense. O coeficiente de variação é, no entanto, também aqui um pouco mais elevado para o caso das fissuras perpendiculares. Neste caso, é o comportamento do provete G25.1 que se desvia um pouco mais do dos restantes provetes da mesma família.

Não obstante a baixa dispersão observada dentro de cada família de provetes, também aqui se nota uma significativa influência da orientação das fissuras: mais uma vez se verifica que o coeficiente de capilaridade é superior nos provetes de fissuras perpendiculares à base.

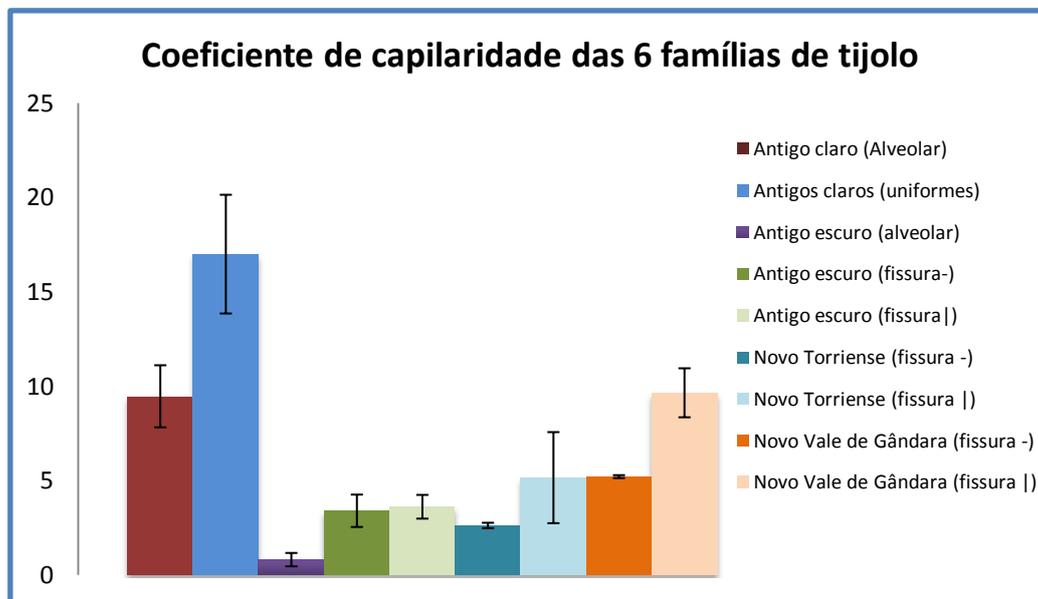


Figura 3.4.8 – Média e desvio padrão do coeficiente de capilaridade das cinco famílias de tijolo

A figura 3.4.8 mostra que o coeficiente de capilaridade pode variar bastante com o tipo de tijolo. Os tijolos antigos claros (alveolar e uniforme) são os que apresentam um maior coeficiente de capilaridade, existindo uma grande diferença relativamente aos valores obtidos para os tijolos antigos escuros (alveolar e fissurados). Esta variação é indício da presença de tijolos de natureza diferente na Praça de Touros do Campo Pequeno. Isto é consistente com o facto de, ao longo dos anos, segundo o Inventário do Património Arquitectónico (Direcção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais), o Campo Pequeno, ter sofrido algumas intervenções,

sendo razoável supor que no decorrer dessas intervenções tenham sido usados novos tipos de tijolo.

O coeficiente de capilaridade dos tijolos novos (Torreense e de Vale de Gândara) apresentam semelhante ordem de grandeza e no caso do tijolo de Vale de Gândara com fissuras perpendiculares, este é superior ao dos tijolos antigos escuros.

O efeito da orientação das fissuras é pouco nítido no caso do tijolo antigo escuro. No entanto, ele é muito significativo para os dois tijolos novos, sendo o coeficiente de capilaridade superior nos provetes com fissuras perpendiculares à base.

3.5 - Ensaio de secagem

3.5.1 – Método

O ensaio de secagem, que se apresenta na secção 2.2.4, foi realizado com base no procedimento No. II.5 “Evaporation curve” da RILLEM (1980). O ensaio foi realizado sobre os mesmos materiais e provetes utilizados no ensaio de absorção de água por capilaridade (secção 3.4).

O início do ensaio de secagem coincidiu com o fim do ensaio de absorção de água por capilaridade, aproveitando o facto de os provetes se encontrarem próximos da saturação capilar.

Logo após os provetes terem sido retirados da imersão parcial, a face que se encontrava em contacto com a água foi selada com folha de polietileno (figura 3.5.1), de forma a garantir que a secagem fosse unidireccional e ocorresse somente através da face superior.



Figura 3.5.1 – Base dos provetes selada com folha de polietileno.

A secagem foi realizada numa sala condicionada, com temperatura de 20°C e humidade relativa de 50%, com baixa velocidade do ar. Os provetes foram colocados afastados entre si, como é visível na figura 3.5.2, assim como de outros obstáculos que pudessem influenciar a circulação de ar e, conseqüentemente, o processo de secagem.



Figura 3.5.2 – Ensaio de secagem

Para avaliar a evolução do teor de água dos provetes durante a secagem, foram realizadas pesagens periódicas numa balança com resolução de 0,001g. As pesagens foram realizadas de 1h em 1h durante as primeiras 8h. Na primeira semana as pesagens foram realizadas 3 vezes ao dia. Após essa semana, os provetes passaram a ser pesados uma vez por semana, o que ocorreu até ao fim do ensaio.

Os resultados do ensaio de secagem são expressos, conforme se encontra descrito na secção 2.2.4, através da curva de evaporação e do índice de secagem (*Commissione Normal 1991*). No cálculo do teor de água (equação 2.2.12), foi descontado o valor da massa da folha de polietileno. Para a determinação do índice de secagem, o cálculo do integral da curva de evaporação foi realizado numericamente por intermédio do método do trapézio.

3.5.2 – Apresentação e análise dos resultados

Em seguida são apresentados os resultados do ensaio de secagem. As figuras 3.5.3 a 3.5.8 mostram as curvas de secagem determinadas para cada família de provetes. As tabelas 3.5.1 a 3.5.6 indicam os valores do índice de secagem dos diferentes provetes, bem como a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação obtidos para cada uma das famílias. A figura 3.5.9 permite comparar o valor médio (que se apresenta associado ao respectivo desvio padrão) do índice de secagem das diferentes famílias de provetes.

3.5.2.1 – Tijolo Antigo Claro (Uniforme)

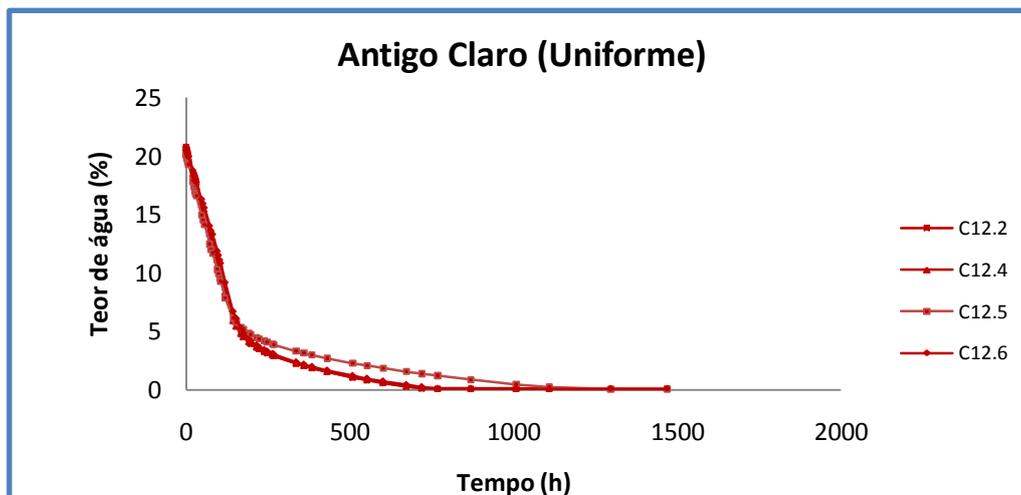


Figura 3.5.3 – Curva de secagem do tijolo antigo claro (uniforme)

Tabela 3.5.1 – Índice de secagem do tijolo antigo claro (uniforme)

Designação	Identificação dos provetes	Índice de Secagem			
		Valores individuais	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de variação (%)
Antigo Claro (uniforme)	C12.2	0,106	0,109	0,014	12,8
	C12.4	0,101			
	C12.5	0,130			
	C12.6	0,100			

Como se verifica na figura 3.5.3, os provetes que constituem esta família de tijolo (Antigo claro uniforme) têm um comportamento bastante semelhante entre si, A análise da tabela 3.5.1 mostra que, de facto, o coeficiente de variação não é muito elevado.

3.5.2.2 – Tijolo Antigo Claro (Alveolar)

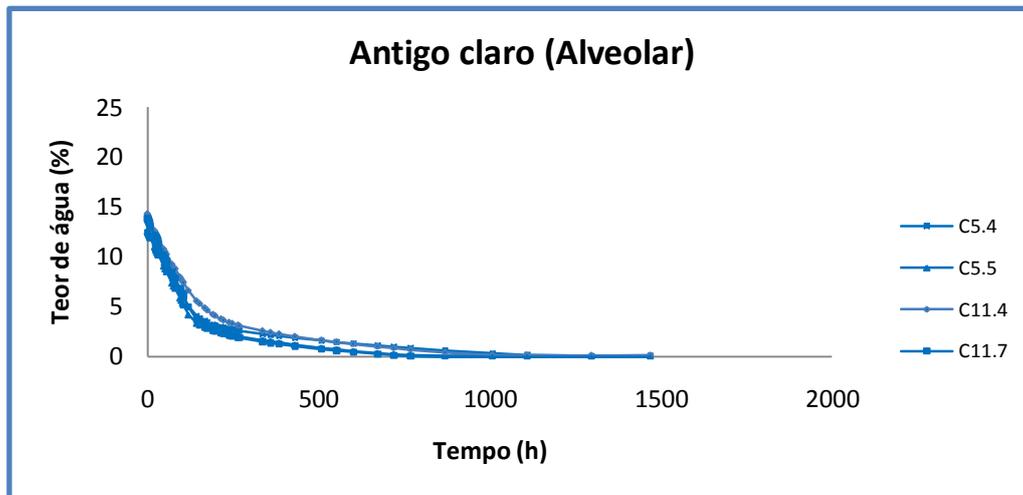


Figura 3.5.4 – Curva de secagem do tijolo antigo claro (alveolar)

Tabela 3.5.2 – Índice de secagem do tijolo antigo claro (alveolar)

Designação	Identificação dos provetes	Índice de Secagem			
		Valores individuais	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de variação (%)
Antigo Claro (alveolar)	C5.4	0,139	0,119	0,021	17,6
	C5.5	0,104			
	C11.4	0,136			
	C11.7	0,097			

Da análise da figura 3.5.4 pode-se verificar que os provetes que constituem esta família de tijolo apresentam também um comportamento próximo. A tabela 3.5.2 revela que, de facto, embora um pouco mais alto do que no anterior caso, o coeficiente de variação é ainda inferior a 20%.

3.5.2.3 – Tijolo Antigo Escuro (Alveolar)

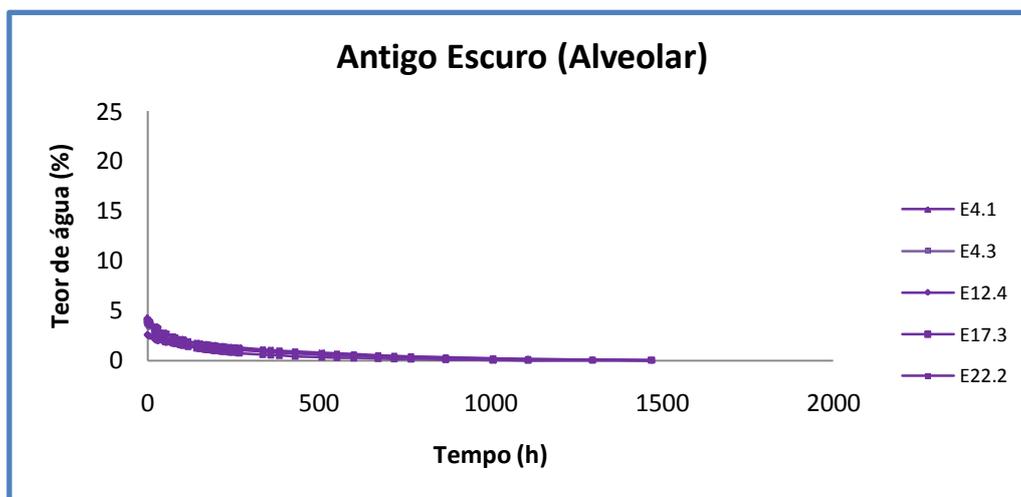


Figura 3.5.5 – Curva de secagem do tijolo antigo escuro (alveolar)

Tabela 3.5.3 – Índice de secagem do tijolo antigo escuro (alveolar)

Designação	Identificação dos provetes	Índice de Secagem			
		Valores individuais	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de variação (%)
Antigo Escuro (Alveolar)	E4.1	0,103	0,159	0,048	30,2
	E4.3	0,146			
	E12.4	0,229			
	E17.3	0,138			
	E22.2	0,179			

Pela análise da figura 3.5.5, os provetes que constituem esta família de tijolo parecem ter um comportamento à secagem bastante semelhante. Contudo, a análise da tabela 3.5.3 mostra que a variação relativamente ao valor médio (dada pelo coeficiente de variação) é bastante significativa. No anexo III (figura IV.3) encontra-se a figura 3.5.5, com outra escala, que permite visualizar melhor as curvas de secagem dos provetes.

3.5.2.4 – Tijolo Antigo Escuro (fissurado)

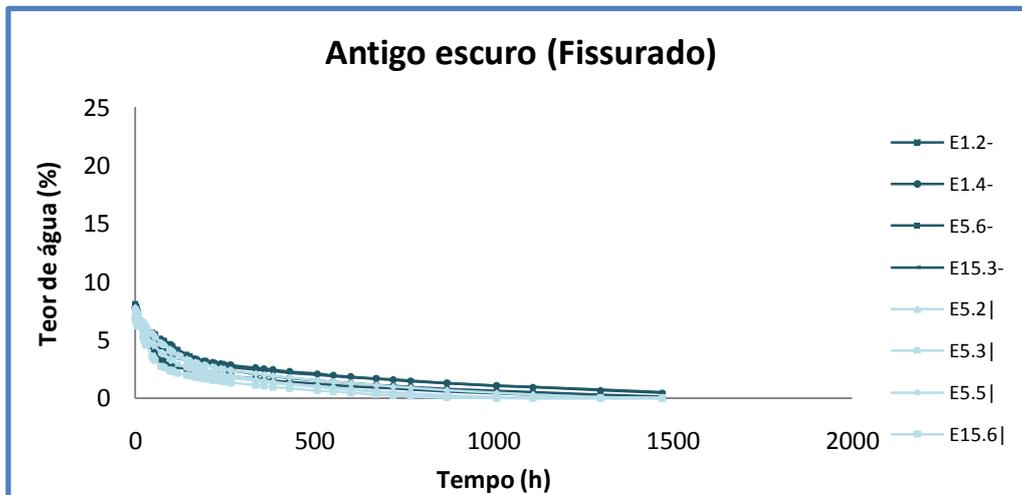


Figura 3.5.6 – Curva de secagem do tijolo antigo escuro (fissurado)

Tabela 3.5.4 – Índice de secagem do tijolo antigo escuro

Designação	Identificação dos provetes	Índice de Secagem			
		Valores individuais	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de variação (%)
Antigo Escuro (fissuras paralelas à base)	E1.2	0,146	0,217	0,049	22,6
	E1.4	0,244			
	E5.6	0,223			
	E15.3	0,256			
Antigo Escuro (fissuras perpendiculares à base)	E5.2	0,142	0,143	0,032	22,4
	E5.3	0,138			
	E5.5	0,185			
	E15.6	0,107			

Quanto ao tijolo antigo escuro, a figura 3.5.6 aponta para o comportamento dos provetes ser apenas relativamente uniforme para as duas famílias de tijolo. E, de facto, os valores do desvio padrão e do coeficiente de variação do índice de secagem (tabela 3.5.4) não são muito baixos.

Comparando o comportamento das duas famílias, observa-se que o índice de secagem é mais baixo no caso das fissuras perpendiculares à base, o que corresponde a uma secagem mais rápida e acaba por ser consistente com a hipótese de que as fissuras perpendiculares proporcionar uma certa “ventilação” do interior do provete.

3.5.2.5 – Tijolo Novo da Cerâmica Torreense

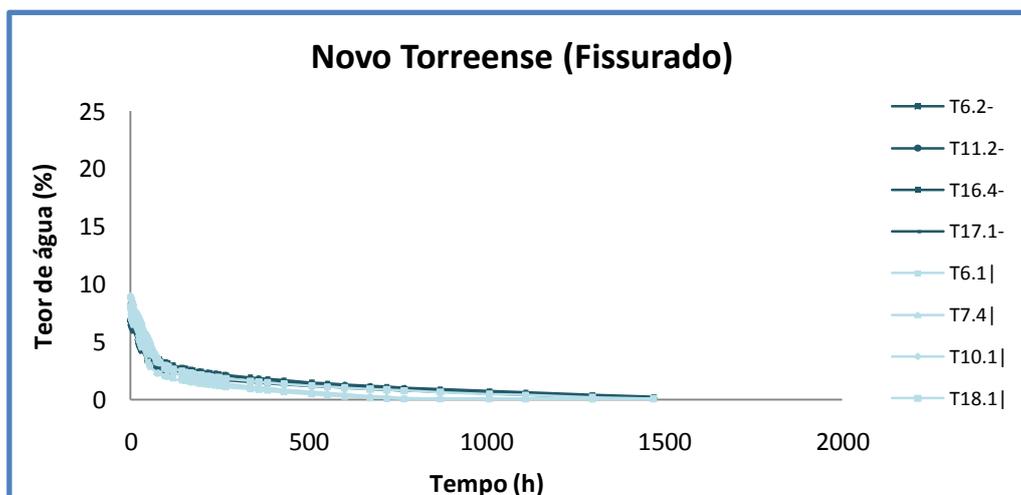


Figura 3.5.7 – Curva de secagem do tijolo novo da Cerâmica Torreense (fissurado)

Tabela 3.5.5 – Índice de secagem do tijolo novo da Cerâmica Torreense

Designação	Identificação dos provetes	Índice de Secagem			
		Valores individuais	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de variação (%)
Novo Torreense (fissuras paralelas à base)	T6.2	0,173	0,168	0,007	4,2
	T11.2	0,162			
	T16.4	0,175			
	T17.1	0,161			
Novo Torreense (fissuras perpendiculares à base)	T6.1	0,087	0,106	0,029	27,4
	T7.4	0,093			
	T10.1	0,096			
	T18.1	0,149			

A figura 3.5.7, do tijolo novo da Torreense, parece revelar um comportamento dos provetes que é bastante uniforme para as duas famílias de tijolo, com curvas de secagem quase coincidentes. Contudo, o valor do coeficiente de variação do índice de secagem (tabela 3.5.5) para as fissuras perpendiculares não é muito baixo.

Comparando o comportamento das duas famílias, observa-se que o índice de secagem é, como no caso anterior, mais baixo para as fissuras perpendiculares à base.

3.5.2.6 – Tijolo Novo da Cerâmica de Vale de Gândara

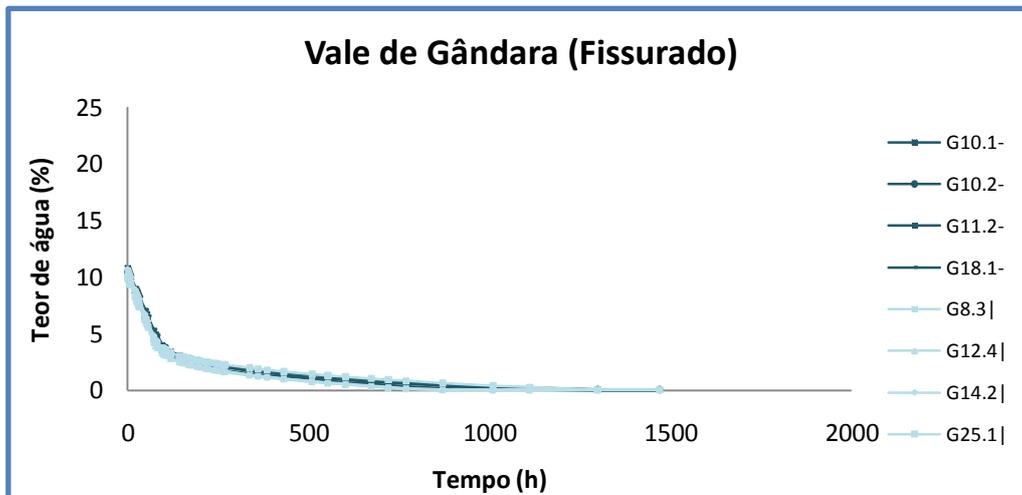


Figura 3.5.8 – Curva de secagem do tijolo novo de Vale de Gândara (fissurado)

Tabela 3.5.6 – Índice de secagem do tijolo novo de Vale de Gândara

Designação	Identificação dos provetes	Índice de Secagem			
		Valores individuais	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de variação (%)
Novo Vale de Gândara (fissuras paralelas à base)	G10.1	0,131	0,122	0,014	11,5
	G10.2	0,105			
	G11.2	0,134			
	G18.1	0,118			
Novo Vale de Gândara (fissuras perpendiculares à base)	G8.3	0,095	0,107	0,022	20,6
	G12.4	0,100			
	G14.2	0,093			
	G25.1	0,140			

O tijolo novo de Vale de Gândara, figura 3.5.8, evidencia um comportamento dos provetes bastante uniforme, tal como acontece com as famílias anteriores, em que as curvas de secagem se apresentam muito coincidentes. Contudo, verifica-se que o coeficiente de variação do índice de secagem (tabela 3.5.6) para as fissuras perpendiculares, também é um pouco elevado, como acontece no caso das fissuras perpendiculares do tijolo do Torreense.

Comparando o comportamento das duas famílias, observa-se que o índice de secagem é mais baixo no caso das fissuras perpendiculares à base, tal como aconteceu nas restantes famílias de tijolo, o que corresponde a uma secagem mais rápida, e mais uma vez, como mencionado, acabado ser consistente com o facto de as fissuras perpendiculares proporcionar uma secagem mais rápida.

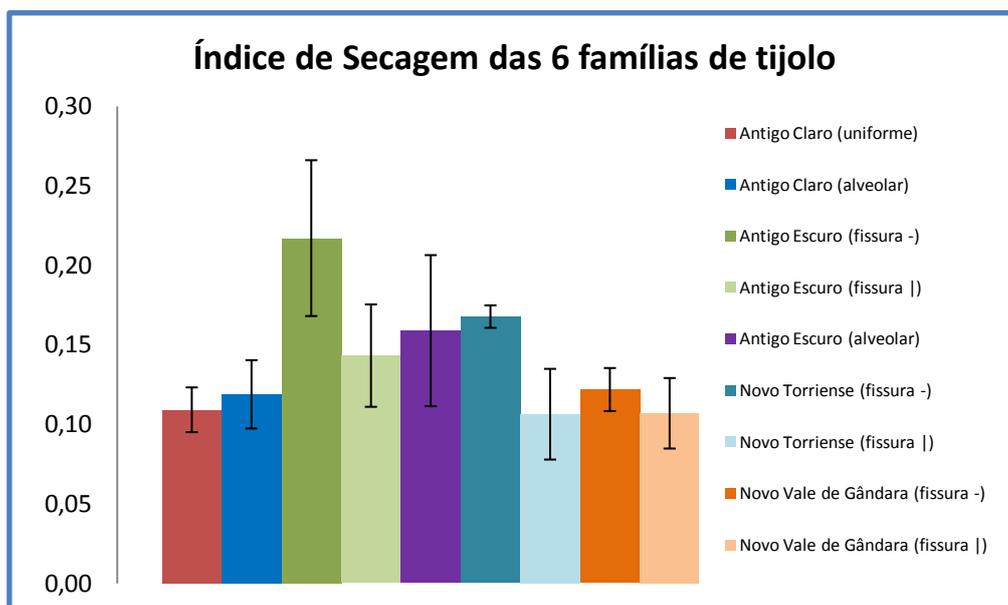


Figura 3.5.9 – Índice de secagem (I.S) médio e desvio padrão das 5 famílias de tijolo

Da análise da figura 3.5.9 verifica-se que o maior índice de secagem (secagem globalmente mais lenta) acontece no tijolo antigo de fissuras paralelas à base.

Verifica-se também que:

- O tijolo proveniente do Campo Pequeno (tijolo antigo) tem características algo variáveis. As diferenças não são, no entanto tão marcadas como para o ensaio de capilaridade, sendo, no caso do tijolo escuro fissurado (que é o que mais se distingue dos restantes), muito devidas à orientação das fissuras.
- Dentro de cada família, os tijolos com fissuras perpendiculares à base apresentam um menor índice de secagem. Tal é provavelmente devido ao facto de este tipo de fissuras proporcionar uma certa “ventilação” interna do material. Pelo contrário, as fissuras paralelas à base poderão introduzir uma resistência adicional ao transporte de humidade durante a secagem (Freitas, 1992).
- Comparando os dois tipos de tijolo novos, Torreense e Vale de Gândara, verifica-se que o primeiro apresenta uma maior variação face à orientação das fissuras. Tal poderá ser justificado pelo facto do material de Vale de Gândara apresentar menor quantidade de fissuras e menos largas.

3.6 – Discussão

O ensaio de HMC realizado sobre as cinco famílias de provetes sugere que o teor de sal dos tijolos será baixo, com exceção talvez do tijolo antigo claro alveolar (C). Estes resultados de acordo com Gonçalves (2006) justificaram que não se procedesse à dessalinização dos tijolos antes dos ensaios de capilaridade e secagem, em particular, no âmbito da avaliação do comportamento dos hidrófugos.

No ensaio de absorção de água por capilaridade verificou-se que em geral, independentemente de os tijolos serem novos ou velhos, aqueles que mais absorvem água são os tijolos com fissuras perpendiculares à base, sendo também para estes tijolos que a dispersão dos valores do coeficiente de capilaridade é maior.

Relativamente ao ensaio de secagem, os tijolos que apresentam fissuras perpendiculares secam mais rapidamente do que os com fissuras paralelas à superfície. Pode-se ainda verificar-se que o ensaio de secagem parte de valores que diferem muito, de acordo com o tipo de tijolo (o que indica que os teores de saturação capilar serão bastante diferentes), sendo o tijolo escuro no geral aquele que apresenta um teor de saturação capilar mais baixo, principalmente o tijolo escuro alveolar.

Como já foi anteriormente referido, os tijolos antigos encontravam-se com bastante sujidade e restos de argamassa na superfície e quando se procedeu ao corte dos provetes verificou-se que existia uma grande variedade de tipologias. Desta forma, tentou-se organizar e estudar os materiais por famílias com características semelhantes. Contudo, devido à variabilidade dessas características (defeitos), o número de provetes de cada tipo disponíveis era limitado. Surgiu assim a necessidade de arranjar um tijolo com maior uniformidade, que permitisse a avaliação de vários hidrófugos, tendo-se escolhido numa primeira fase tijolo novo maciço da Cerâmica Torreense. Contudo, após ao corte deste tijolo, verificou-se que se tratava de um material extremamente fissurado. Procurou-se então uma outra marca de tijolo, optando-se pelo tijolo maciço da Cerâmica de Vale de Gândara. Este acabou, contudo, por revelar também a presença de fissuras, embora menores e em menor quantidade (aparentemente).

Decidiu-se assim tomar como variável a orientação das fissuras no tijolo, o que faz sentido uma vez que a fissuração parece ser um defeito comum e os tijolos podem ser assentes em diferentes posições, como explicado na secção 2.1.5.

Os resultados obtidos nesta campanha experimental mostram que o tijolo de Vale de Gândara apresenta, de facto, menos variações decorrentes da presença de fissuras do que o tijolo da Cerâmica Torreense, quer no que se refere à capilaridade, quer à secagem. Assim sendo, o tijolo de Vale de Gândara foi considerado o material mais adequado para utilizar na campanha experimental que a seguir se apresenta, onde serviu de substrato de aplicação de diferentes hidrófugos de superfície.

4 - Campanha experimental sobre diferentes hidrófugos de superfície

4.1 – Planeamento

Esta segunda campanha experimental teve por finalidade o estudo de vários tratamentos hidrófugos disponíveis no mercado nacional e indicados para aplicação em materiais cerâmicos. Os produtos foram aplicados no tijolo de Vale de Gândara. Este tipo de tijolo foi seleccionado com base na campanha experimental descrita na secção 3.6, por ser o mais homogéneo, tanto visualmente como em termos de resultados experimentais, não obstante apresentar alguma fissuração.

A escolha dos hidrófugos foi feita com base numa pesquisa de mercado que implicou contactos com cerca de 7 empresas fornecedoras a operar no espaço nacional e permitiu a selecção de 5 produtos.

A campanha experimental incluiu ensaios para estimar a eficácia (no curto prazo) dos produtos, bem como ensaios para avaliar a sua nocividade, particularmente em termos dos efeitos na secagem. A eficácia dos hidrófugos foi avaliada em termos da redução que provocam na absorção de água por capilaridade do tijolo, pela realização de um ensaio de capilaridade invertida (em que a absorção se dá pela face tratada). A avaliação da nocividade foi feita através dos ensaios de permeabilidade ao vapor de água e de secagem (RILEM 1980).

Os ensaios de absorção de água por capilaridade, permeabilidade ao vapor e secagem foram realizados sobre os mesmos provetes. Isto permitiu minimizar a ocorrência de variações devidas à heterogeneidade do material, facilitando a análise global dos resultados obtidos nos três ensaios.

No presente capítulo 4 são primeiro indicadas as características dos hidrófugos testados e descrito o procedimento utilizado na preparação dos provetes (secção 4.2). Depois, para cada ensaio, descreve-se os respectivos métodos e apresentam-se e analisam-se os resultados obtidos (secções 4.3 a 4.5). No final, na secção 4.6, efectua-se uma discussão global dos resultados dos três ensaios.

4.2 – Materiais

Com base nos resultados da primeira campanha experimental foi decidido utilizar o tijolo cerâmico de Vale de Gândara como substrato de aplicação dos hidrófugos de superfície. Contudo, não obstante ser o material menos heterogêneo, este tijolo não deixa de apresentar também alguma fissuração. Para eliminar a variável resultante da presença das fissuras, foram testados sempre dois grupos de provetes para cada hidrófugo, cada um correspondendo a uma diferente orientação preferencial das fissuras relativamente à superfície do provete (paralelas ou perpendiculares).

O tijolo cerâmico foi cortado em provetes cúbicos (50x50x50 mm). A seguir, foi feita a distribuição dos cubos por um e outro grupo, consoante a orientação aparente das fissuras, com base numa cuidada observação visual das seis faces de cada cubo. Os cubos foram depois lateralmente impermeabilizados com uma resina epoxi bicomponente (Icosit 101 da Sika), exactamente como feito com os provetes da 1ª campanha experimental (figuras 3.2.1 e 3.2.2). A letra utilizada para designar os tijolos de Vale de Gândara permaneceu o **G**.

Após secagem da resina, foram aplicados os cinco tratamentos hidrófugos. Estes hidrófugos são a seguir descritos, de acordo com os dados de cada fornecedor, indicando-se a negrito itálico a letra adoptada para identificar cada um deles:

- Fabricante: IMPERREVIS – **A**
Referência comercial: Thoro Clear 777
Descrição: dispersão de polisiloxano em terebintina mineral
- Fabricante: MATESICA – **B**
Referência comercial: Hidrófugo 405
Descrição: verniz à base de copolímeros acrílicos e silicone, em dispersão aquosa
- Fabricante: MATESICA – **C**
Referência comercial: Hidrófugo 410
- Fabricante: HEMPEL – **D**
Referência comercial: HEMPEL´S SILICONE 06910
Descrição: solução de um polisiloxano em hidrocarbonetos alifáticos.
- Fabricante: RUNADOL – **E**
Referência comercial: IMPERMIL isolante de água
Descrição: solução de silicone reactivo em dispersão aquosa.

Como se vê, todos os tratamentos se baseiam em compostos silicónicos (tal como exposto em 2.4.1, os polisiloxanos pertencem à família dos silicones), que parecem ser actualmente o tipo mais comum no mercado nacional.

Nesta campanha experimental foram também utilizados provetes de referência **R** sem hidrófugo, cuja finalidade foi servir como termo de comparação. Estes provetes foram sujeitos às mesmas condições e ensaios que os provetes hidrofugados, de forma a ser possível comparar resultados.

Os hidrófugos foram aplicados com pincel, seguindo as indicações de cada fabricante, nomeadamente no que se refere ao número de demãos, período de secagens entre demãos e eventual diluição.

Para a maioria dos hidrófugos são indicadas duas demãos. Para dois produtos (**D** e **E**) são aconselhadas duas a três. Contudo, apenas no caso do hidrófugo **E** se aplicaram as três demãos e isto porque ao fim das duas primeiras se verificou que o consumo teórico indicado pelo fabricante era tão baixo que não era possível garantir uma boa cobertura da superfície com apenas duas demãos (tabela 4.2.5). Nas fichas técnicas do Anexo I podem encontrar-se os valores de rendimentos indicados (em geral em m²/l) pelos fabricantes, que correspondem ao inverso do consumo teórico (apresentado em g/cm²).

Em alguns casos não eram referidos o intervalo de tempo entre demão e em outros casos era explícito um tempo mínimo de secagem. Para os casos em que apenas se dizia para deixar secar antes de cada demão (hidrófugo **D**), o período de secagem adoptado (após algumas experiências prévias) foi de 2h30min. Para os casos em que era referido que se devia aplicar a segunda camada enquanto a primeira ainda estivesse húmida (hidrófugo **A**), foi adoptado um intervalo de 30min entre demãos. Para os restantes hidrófugos, o período de secagem recomendado foi cumprido com exactidão. A aplicação da totalidade das camadas de cada hidrófugo foi sempre efectuada em menos de um dia.

A técnica de aplicação foi semelhante em todos os casos, sendo os hidrófugos sempre aplicados em demãos cruzadas.

Quanto aos rendimentos indicados pelos fabricantes, no caso dos hidrófugos **A**, **B** e **C** são dados intervalos de variação e no dos hidrófugos **D** e **E** valores únicos. Procurou-se respeitar tanto quanto possível estes rendimentos. Contudo, para manter constante para os diferentes produtos a técnica de aplicação (que é o que acontecerá na prática para um mesmo aplicador), nem sempre foi possível respeitar 100% os limites indicados (e não apenas nos casos em que não é dado um intervalo de variação). Em particular no caso do hidrófugo **E**, cujo consumo teórico pelo indicado

fabricante é extremamente baixo, acabou por se ultrapassar bastante o valor recomendado pelo fabricante.

Nas tabelas 4.2.1 a 4.2.5 que se seguem são apresentados os consumos de cada hidrófugo, sendo feita uma comparação com os consumos teóricos indicados pelo respectivo fabricante. Marcam-se a cor os consumos que ultrapassaram em mais de 10% o rendimento teórico (azul - consumos inferiores ao consumo teórico; vermelho - consumos superiores ao consumo teórico). Na figura 4.2.1 é feita uma comparação global dos consumos dos cinco hidrófugos.

Tabela 4.2.1 – Consumo real e teórico do hidrófugo A

Designação	Identificação dos provetes	Consumos do hidrófugo A (g/cm ²)						
		1ª demão		2ª demão		Média	Desvio Padrão	Coeficiente de variação (%)
		Real	Teórico	Real	Teórico			
Hidrófugo A	G1.1-	0,604	0,395- 0,988	0,636	0,395- 0,988	0,640	0,041	6,4
	G4.4-	0,591		0,615				
	G13.4-	0,630		0,716				
	G21.3-	0,613		0,717				
	G4.3	0,654		0,620		0,639	0,034	
	G8.1	0,638		0,697				
	G17.3	0,618		0,645				
	G19.2	0,581		0,656				

Tabela 4.2.2 – Consumo real e teórico do hidrófugo B

Designação	Identificação dos provetes	Consumos do hidrófugo B (g/cm ²)						
		1ª demão		2ª demão		Média	Desvio Padrão	Coeficiente de variação (%)
		Real	Teórico	Real	Teórico			
Hidrófugo B	G2.2-	0,236	0,181- 0,253	0,228	0,181- 0,253	0,238	0,042	13,9
	G7.2-	0,302		0,270				
	G8.2-	0,186		0,205				
	G26.2-	0,277		0,241				
	G5.4	0,238		0,239		0,266	0,035	
	G23.3	0,304		0,249				
	G24.3	0,280		0,220				
	G24.4	0,304		0,241				

Tabela 4.2.3 – Consumo real e teórico do hidrófugo C

Designação	Identificação dos provetes	Consumos do hidrófugo C (g/cm ²)						
		1ªdemão		2ªdemão		Média	Desvio Padrão	Coeficiente de variação (%)
		Real	Teórico	Real	Teórico			
Hidrófugo C	G11.4-	0,345	0,317- 0,422	0,318	0,317- 0,422	0,350	0,030	9,2
	G13.3-	0,347		0,391				
	G24.2-	0,388		0,337				
	G25.3-	0,390		0,372				
	G4.2	0,375		0,333		0,377	0,033	
	G18.2	0,426		0,338				
	G23.2	0,433		0,349				
	G26.4	0,395		0,390				

Tabela 4.2.4 – Consumo real e teórico do hidrófugo D

Designação	Identificação dos provetes	Consumos do hidrófugo D (g/cm ²)						
		1ªdemão		2ªdemão		Média	Desvio Padrão	Coeficiente de variação (%)
		Real	Teórico	Real	Teórico			
Hidrófugo D	G1.2-	0,455	0,500	0,457	0,500	0,457	0,002	6,5
	G11.1-	0,540		0,516				
	G11.3-	0,459		0,454				
	G12.3-	0,488		0,460				
	G1.4	0,458		0,459		0,486	0,033	
	G17.1	0,476		0,534				
	G19.3	0,513		0,466				
	G20.3	0,443		0,482				

Tabela 4.2.5 – Consumo real e teórico do hidrófugo E

Designação	Identificação dos provetes	Consumos do hidrófugo E (g/cm ²)			Teórico / demão	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de variação (%)
		1ª demão	2ª demão	3ª demão				
		Real	Real	Real				
Hidrófugo E	G5.3-	0,220	0,155	0,177	0,125	0,154	0,027	17,6
	G9.2-	0,132	0,166	0,116				
	G18.4-	0,150	0,148	0,164				
	G21.2-	0,189	0,179	0,173				
	G3.1	0,206	0,150	0,159		0,167	0,030	
	G6.4	0,157	0,121	0,225				
	G16.3	0,209	0,194	0,136				
	G25.2	0,185	0,150	0,209				

Da análise das tabelas 4.2.1 a 4.2.5 pode-se verificar que os consumos nem sempre se encontram totalmente de acordo com o indicado pelos fabricantes dos produtos em questão. Tendo-se utilizado a mesma técnica (e o mesmo aplicador) para todos os hidrófugos, isso pode significar que este tipo de desvio ocorrerá também em obra, onde não são feitas medições rigorosas mas apenas aproximadas das quantidades utilizadas. Contudo, os rendimentos teóricos são aproximadamente cumpridos, com excepção do hidrófugo **E** e, em menor escala, do hidrófugo **B** (primeira demão), em que os consumos foram maioritariamente superiores ao rendimento apresentado pelo fabricante. Note-se que estes dois produtos são também aqueles em que o rendimento teórico é menor, especialmente o hidrófugo **E**. A tendência de ultrapassar os valores indicados tende portanto a ser maior para os menores rendimentos teóricos, o que faz sentido.

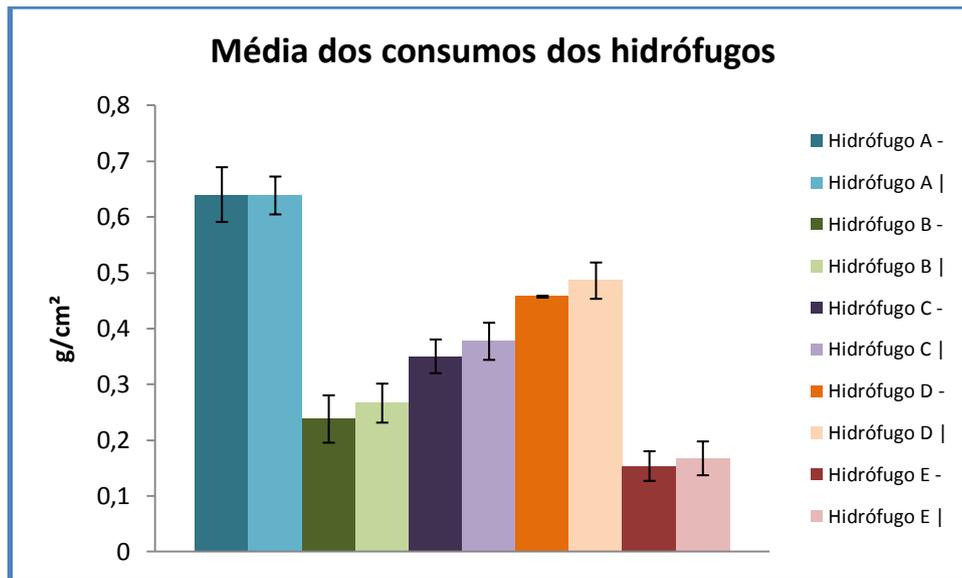


Figura 4.2.1 – Comparação entre os consumos de cada hidrófugo

Da análise da figura 4.2.1 pode-se verificar que o consumo dos cinco produtos é bastante diferente. O hidrófugo **A** é aquele que apresenta um maior consumo, mas que se encontra de acordo com o consumo indicado pelo fabricante. O hidrófugo **E** é aquele que apresenta um consumo mais baixo, tendo, mesmo assim, um consumo superior ao indicado pelo fabricante. Verifica-se ainda, que os provetes hidrofugados de fissuras perpendiculares têm um consumo um pouco maior em relação aos provetes de fissuras paralelas à base, à excepção do hidrófugo **A** em que esta diferença é praticamente inexistente.

Verifica-se que o desvio padrão é sempre relativamente baixo, o que indica que a aplicação foi bastante uniforme de provete para provete. É interessante notar que o valor do desvio padrão é na maioria dos casos semelhante para os diferentes hidrófugos embora, devido à variação do valor médio, isso se reflecta em coeficientes de variação distintos, como se vê nas tabelas 4.2.1 a 4.2.5. Essa semelhança sugere que a dispersão dos valores do consumo está associada à própria técnica de aplicação e às características do tijolo.

4.3 - Ensaio de absorção de água por capilaridade

4.3.1 – Método

O ensaio de absorção de água por capilaridade, cujos fundamentos se apresentam na secção 2.2.2, foi realizado com base no procedimento No. II.6 “Water absorption coefficient (capillarity)” da RILLEM (1980). O ensaio serviu para avaliar a redução da absorção de água induzida pelos vários tratamentos hidrófugos, por comparação com os resultados obtidos com os provetes não-hidrofugados

O ensaio foi realizado sobre 48 provetes, 40 dos quais correspondentes aos cinco tratamentos hidrófugos e os restantes 8 ao tijolo sem hidrófugo. Para cada hidrófugo e para os provetes de referência sem hidrófugo foram sempre utilizados 4 provetes com fissuras predominantemente paralelas à base e 4 provetes com fissuras predominantemente perpendiculares à base.

O método seguido no ensaio de capilaridade é semelhante ao descrito na secção 3.4.1 para os diferentes tipos de tijolo. Contudo, no presente caso, a absorção é feita através da face hidrófugada (e por isso se chama “absorção capilar invertida”) que funciona, portanto, neste caso como a base dos provetes.

Antes de proceder ao ensaio propriamente dito, os provetes foram secos em estufa a 40°C. Esta baixa temperatura de secagem foi escolhida visto que não se sabe exactamente se as propriedades dos hidrófugos podem sofrer alterações com a temperatura.

4.3.2 - Apresentação e análise dos resultados

Nas figuras 4.3.1 a 4.3.5 e nas tabelas 4.3.1 a 4.3.5 são apresentados os resultados do ensaio de capilaridade para o material não-hidrofugado (provetes de referência) e para os cinco hidrófugos de superfície. Nos gráficos apresentam-se as curvas de absorção capilar e nas tabelas os valores individuais e médios do coeficiente de capilaridade, seu desvio padrão e coeficiente de variação. Por fim, na figura 4.3.7, é feita uma comparação dos valores médios do coeficiente de capilaridade e respectivo desvio padrão para os vários tipos de hidrófugos e provetes de referência.

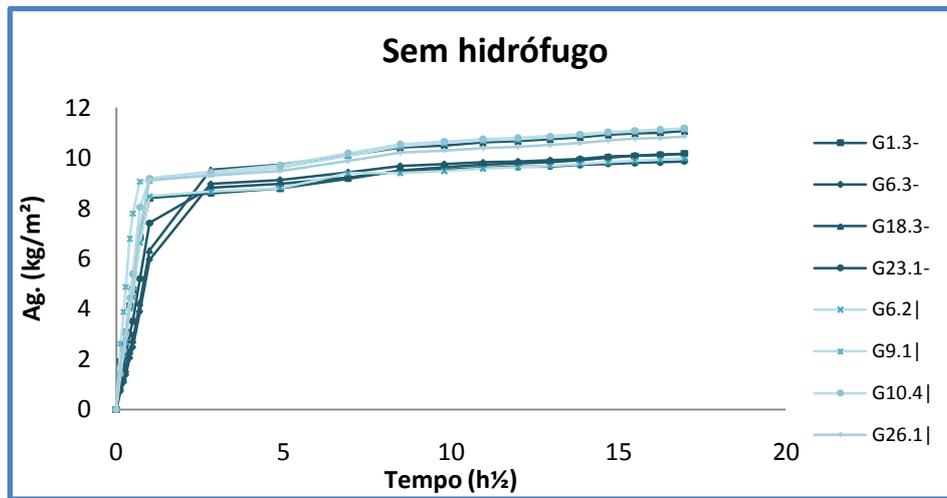


Figura 4.3.1 - Absorção capilar do tijolo novo de Vale de Gândara sem hidrófugo

Tabela 4.3.1 – Coeficiente de capilaridade do tijolo novo de Vale de Gândara sem hidrófugo

Designação	Identificação dos provetes	Coeficiente de capilaridade ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1/2}$)			
		Valores individuais	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de variação (%)
Sem hidrófugo	G1.3 -	8,572	7,031	1,124	16,0
	G6.3 -	6,079			
	G18.3 -	6,326			
	G23.1 -	7,146			
	G6.2	8,713	10,810	2,490	23,0
	G9.1	14,305			
	G10.4	10,821			
	G26.1	9,402			

A figura 4.3.1 mostra que os provetes de referência apresentam um comportamento próximo para cada orientação das fissuras. A tabela 4.3.1 permite verificar que os provetes com fissuras perpendiculares à base têm coeficiente de capilaridade um pouco maior. Esta tabela mostra também que o desvio padrão e o coeficiente de variação são limitados, embora, em particular no caso das fissuras perpendiculares, não sejam insignificantes.

Esta dispersão pode ser explicada pelo facto de não se saber a orientação das fissuras no interior do provete uma vez que, como explicado antes, a selecção foi feita com base na observação da superfície dos provetes. Não obstante estes factores de variação, os valores médios do coeficiente de capilaridade são bastante próximos dos

apresentados na tabela 3.4.1, que corresponde a um ensaio semelhante realizado no âmbito da primeira campanha experimental (avaliação de vários tipos de tijolo).

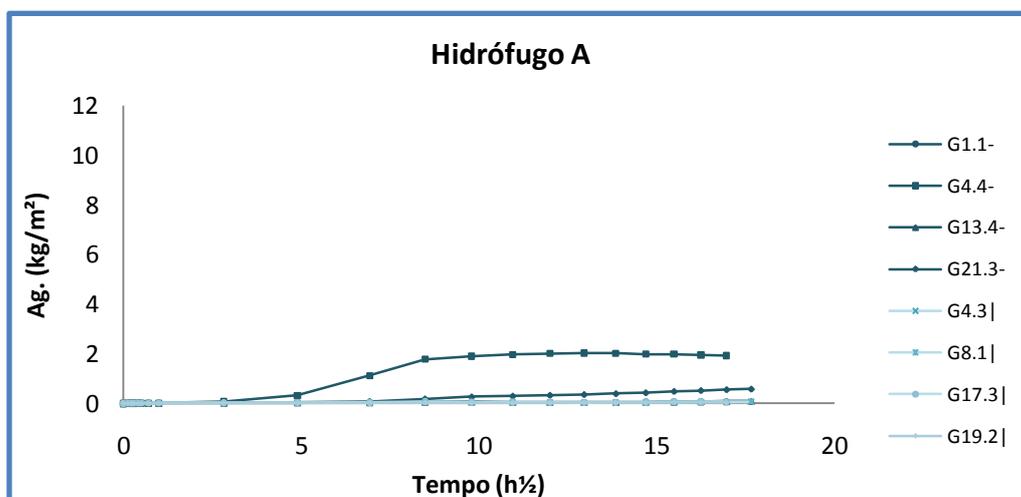


Figura 4.3.2 - Absorção capilar do tijolo novo de Vale de Gândara com o hidrófugo A

Tabela 4.3.2 – Coeficiente de capilaridade do tijolo novo de Vale de Gândara com o hidrófugo A

Designação	Identificação dos provetes	Coeficiente de capilaridade ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1/2}$)			
		Valores individuais	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de variação (%)
Hidrófugo A	G1.1 -	0,0343	0,059	0,084	142,4
	G4.4 -	0,1836			
	G13.4 -	0,0057			
	G21.3 -	0,0105			
	G4.3	0,0038	0,004	0,002	50,0
	G8.1	0,0031			
	G17.3	0,0066			
	G19.2	0,0032			

A principal informação que ressalta da figura 4.3.2 e da tabela 4.3.2 é que a absorção capilar do tijolo tratado com o hidrófugo **A** é muitíssimo inferior à do tijolo não-tratado (figura 4.3.1 e tabela 4.3.1). O coeficiente de capilaridade do tijolo tratado representa, de facto, cerca de 0,8% ou 0,04%, para as fissuras paralelas ou perpendiculares respectivamente, do coeficiente de capilaridade do tijolo não-tratado. Isto significa que o hidrófugo **A** é bastante eficaz.

Da análise da figura 4.3.2 verifica-se ainda que o provete G4.4, com fissuras paralelas à base, apresenta um comportamento que a partir de cerca das 24h diverge

relativamente ao dos restantes provetes da mesma família. Este facto não influencia o coeficiente de capilaridade que se refere ao 1º troço linear da curva de absorção

Quanto à dispersão dos valores do coeficiente de capilaridade, verifica-se que o coeficiente de variação é extremamente elevado. Isto deve-se ao facto de o desvio padrão, embora baixo, representar uma percentagem muito significativa (maior até do que 100% para as fissuras paralelas) do valor médio, que é extremamente baixo.

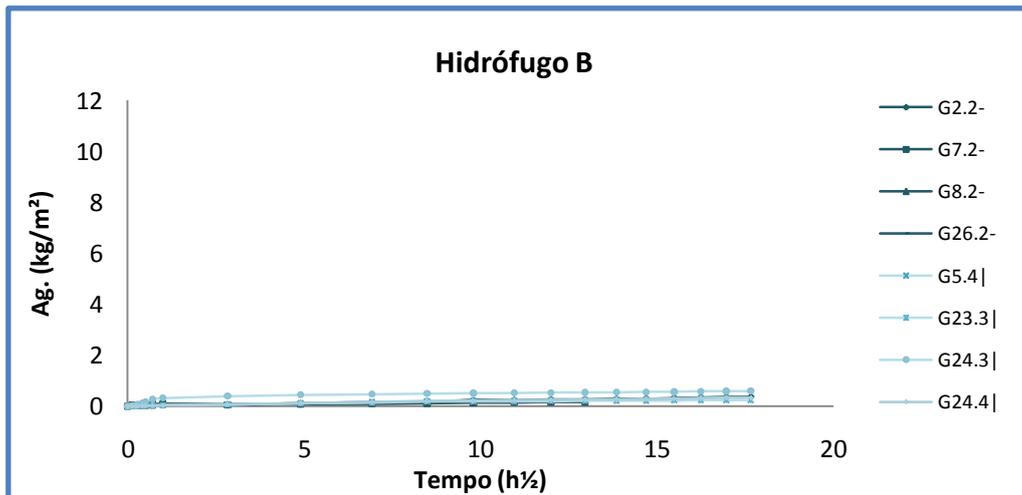


Figura 4.3.3 - Absorção capilar do tijolo novo de Vale de Gândara com o hidrófugo B

Tabela 4.3.3 – Coeficiente de capilaridade do tijolo novo de Vale de Gândara com o hidrófugo B

Designação	Identificação dos provetes	Coeficiente de capilaridade ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1/2}$)			
		Valores individuais	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de variação (%)
Hidrófugo B	G2.2 -	0,021	0,015	0,005	33,3
	G7.2 -	0,009			
	G8.2 -	0,014			
	G26.2 -	0,018			
	G5.4	0,018	0,123	0,204	165,9
	G23.3	0,022			
	G24.3	0,430			
	G24.4	0,023			

Da análise da figura 4.3.3 e da tabela 4.3.3 verifica-se que a absorção capilar do tijolo tratado com o hidrófugo **B** é também muitíssimo inferior à do tijolo não-tratado (figura 4.3.1 e tabela 4.3.1). Verifica-se que o coeficiente de capilaridade do tijolo tratado é muito inferior, tanto para as fissuras paralelas como para as perpendiculares,

em relação ao coeficiente de capilaridade do tijolo não-tratado. O que significa que o hidrófugo **B** é também bastante eficaz.

Quanto à dispersão dos valores do coeficiente de capilaridade, o coeficiente de variação é mais uma vez extremamente elevado, principalmente para as fissuras perpendiculares à base do tijolo. Isto deve-se ao facto de o desvio padrão, embora baixo, representar uma percentagem muito significativa do valor médio, que é extremamente baixo como se verifica na tabela 4.3.3

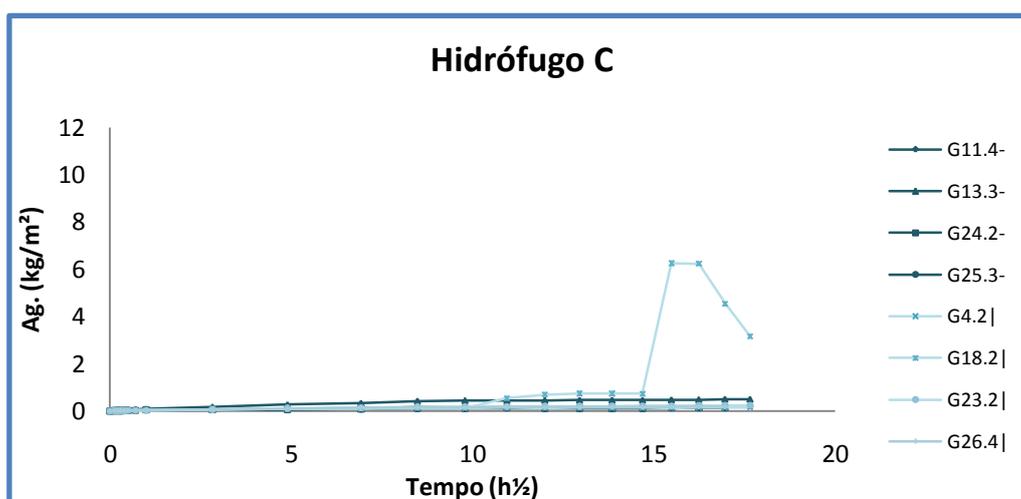


Figura 4.3.4 - Absorção capilar do tijolo novo de Vale de Gândara com o hidrófugo C

Tabela 4.3.4 – Coeficiente de capilaridade do tijolo novo de Vale de Gândara com o hidrófugo C

Designação	Identificação dos provetes	Coeficiente de capilaridade ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-\frac{1}{2}}$)			
		Valores individuais	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de variação (%)
Hidrófugo C	G11.4 -	0,013	0,109	0,164	150,5
	G13.3-	0,062			
	G24.2 -	0,352			
	G25.3 -	0,010			
	G4.2	0,019	0,019	0,006	31,6
	G18.2	0,013			
	G23.2	0,027			
	G26.4	0,017			

A figura 4.3.4 e da tabela 4.3.4 permite verificar que a absorção capilar do tijolo tratado com o hidrófugo **C** é também muitíssimo inferior à do tijolo não-tratado (figura 4.3.1 e tabela 4.3.1). O coeficiente de capilaridade do tijolo tratado é muito reduzido,

tanto para as fissuras paralelas como para as perpendiculares, demonstrando assim a eficácia do hidrófugo **C**.

Na figura 4.3.2 verifica-se, a partir das 120h e mais ainda a partir das 240h, o comportamento do provete G18.2, com fissuras perpendiculares à base, diverge relativamente ao dos restantes provetes da mesma família. Tal como no caso do hidrófugo **A**, este facto não influencia o coeficiente de capilaridade que se refere ao 1º troço linear da curva de absorção.

Da tabela 4.3.4 ainda é possível verificar-se que o coeficiente de variação é extremamente elevado, principalmente para o tijolo com fissuras paralelas à base. Isto deve-se, como nos casos anteriores, ao facto de o desvio padrão, embora baixo, representar uma percentagem muito significativa do valor médio que é extremamente baixo.

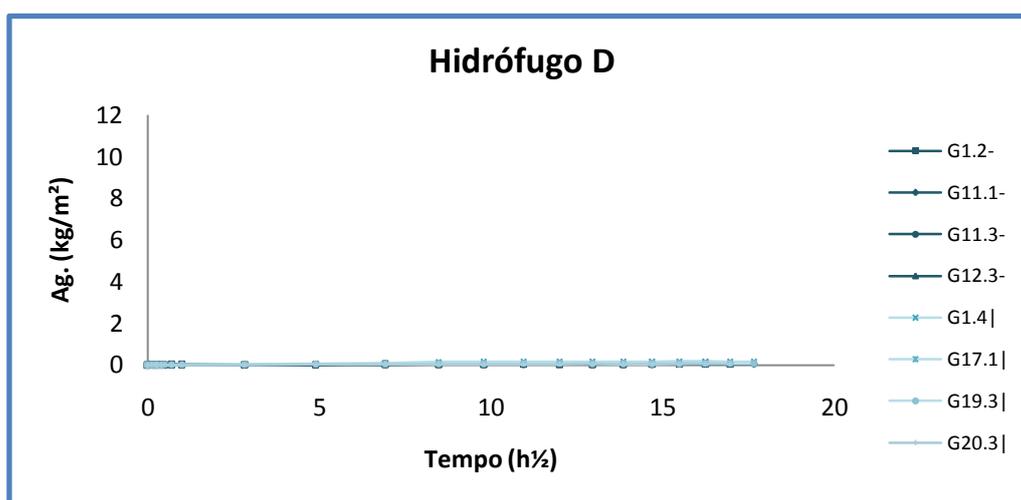


Figura 4.3.5 - Absorção capilar do tijolo novo de Vale de Gândara com o hidrófugo D

Tabela 4.3.5 – Coeficiente de capilaridade do tijolo novo de Vale de Gândara com o hidrófugo D

Designação	Identificação dos provetes	Coeficiente de capilaridade ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1/2}$)			
		Valores individuais	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de variação (%)
Hidrófugo D	G1.2 -	0,030	0,011	0,013	118,2
	G11.1 -	0,007			
	G11.3 -	0,003			
	G12.3 -	0,003			
	G1.4	0,016	0,008	0,006	75,0
	G17.1	0,004			
	G19.3	0,007			
	G20.3	0,004			

O hidrófugo **D** apresenta uma absorção capilar (figura 4.3.5 e da tabela 4.3.5) muitíssimo inferior à do tijolo não-tratado (figura 4.3.1 e tabela 4.3.1). Isto demonstra a eficácia do hidrófugo **D**.

O coeficiente de variação é extremamente elevado, o que também aqui se deve ao facto de o desvio padrão, embora baixo, representar uma percentagem muito significativa do valor médio.

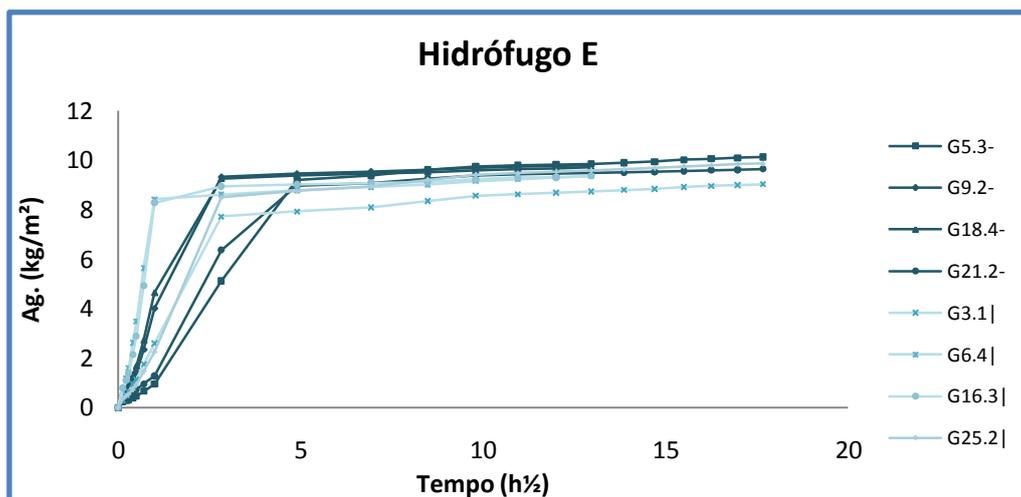


Figura 4.3.6 - Absorção capilar do tijolo novo de Vale de Gândara com o hidrófugo E

Tabela 4.3.6 – Coeficiente de capilaridade do tijolo novo de Vale de Gândara com o hidrófugo E

Designação	Identificação Dos provetes	Coeficiente de capilaridade ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1/2}$)			
		Valores individuais	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de variação (%)
Hidrófugo E	G5.3 -	1,855	2,549	1,464	57,4
	G9.2 -	1,424			
	G18.4 -	4,688			
	G21.2 -	2,227			
	G3.1	8,745	7,100	3,268	46,0
	G6.4	8,710			
	G16.3	8,745			
	G25.2	2,198			

Da figura 4.3.6 e da tabela 4.3.6 verifica-se que a absorção capilar do tijolo tratado com o hidrófugo **E** é superior à dos restantes hidrófugos e mais próxima da do tijolo não-tratado (figura 4.3.1 e tabela 4.3.1). Isto pode ser verificado pelo andamento das curvas e também pelos valores do coeficiente de capilaridade e significa que o hidrófugo **E** não é muito eficaz.

A tabela 4.3.6 permite verificar, contudo, que os provetes com fissuras perpendiculares à base têm coeficiente de capilaridade médio um pouco maior. Esta tabela mostra também que o desvio padrão é maior do que para os outros hidrófugos (o que é consistente com a grande variação observada na figura 4.3.6). O coeficiente de variação também é elevado (embora menor do que em muitos dos casos anteriores, o que se deve ao facto de o valor médio ser aqui maior).

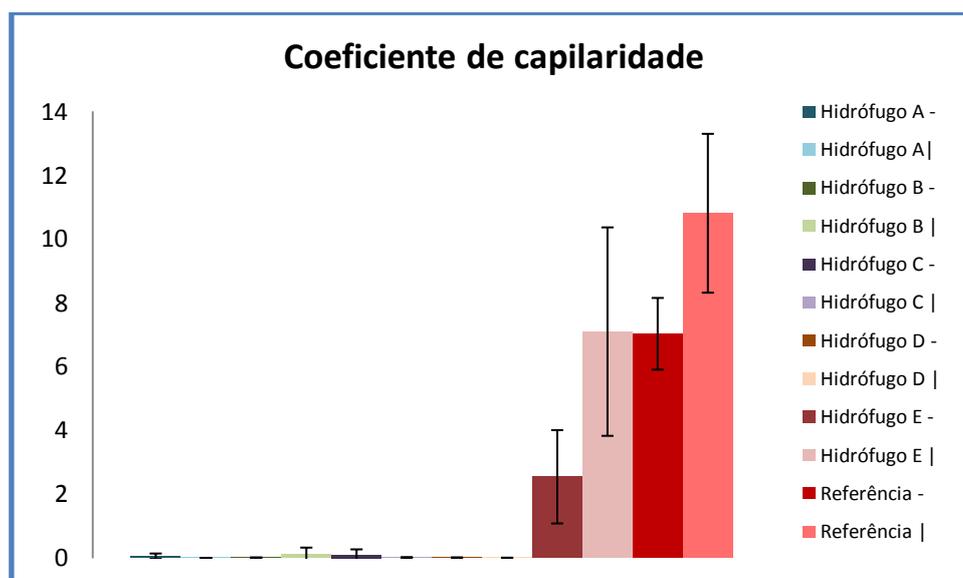


Figura 4.3.7 – Coeficiente de Capilaridade médio e desvio padrão do tijolo novo de Vale de Gândara de hidrófugos e sem hidrófugos

Este gráfico-síntese (figura 4.3.7) permite verificar que, apesar de a dispersão dos valores ser por vezes significativa, há tendências gerais claras:

a) Os provetes com hidrófugo apresentam uma absorção capilar muito baixa, excepto o hidrófugo E que apresenta um coeficiente de capilaridade mais próximo dos provetes de referência;

b) Tal como se havia concluído para o caso da absorção capilar de vários tipos de tijolo (secção 3.4.2), o coeficiente de capilaridade dos provetes com fissuras paralelas à base é inferior ao dos provetes com fissuras perpendiculares à base. Isto é claro para os provetes de referência e para o hidrófugo E. Para os restantes hidrófugos, isto em rigor por vezes não acontece (hidrófugos A, B, C e D) mas estes desvios não são considerados significativos porque, como se vê na figura 4.3.7, a absorção capilar é quase nula em todos estes casos.

4.4 - Ensaio de permeabilidade ao vapor de água

4.4.1 – Método

O ensaio de permeabilidade ao vapor de água, que se apresenta no ponto 2.2.3, foi realizado com base no procedimento No.II 2 – “Coefficient of water vapour conductivity” da RILEM (1980). O procedimento apresenta, no entanto, apenas recomendações gerais, pelo que foi complementado com detalhes indicados na norma EN ISO 12572 (CEN 2001).

Este ensaio teve por finalidade determinar a influência dos produtos hidrófugos na permeabilidade ao vapor de água do tijolo maciço de Vale de Gândara.

O método de ensaio seguido foi o método da cápsula seca. Neste método é utilizado um dessecante (produto que atrai e fixa a humidade do ar), que é colocado no interior da cápsula com a finalidade de provocar um fluxo de vapor do exterior para o interior desta.

O ensaio foi realizado sobre os mesmos provetes sujeitos ao ensaio de capilaridade, os quais incluem, para cada tipo de hidrófugo e para o material não-hidrofugado, quatro provetes com fissuras predominantemente paralelas e quatro com fissuras predominantemente perpendiculares à superfície.

O ensaio de permeabilidade ao vapor foi realizado logo após o ensaio de capilaridade invertida. Após a finalização deste último, os provetes foram deixados secar livremente numa sala condicionada durante cinco dias e depois levados a uma estufa ventilada a 40°C, de forma a acabarem de secar, até se obter uma massa constante. A pré-secagem dos provetes na sala condicionada destinou-se a evitar que estes tivessem que passar depois muito tempo na estufa, uma vez que, como já foi mencionado, não se sabe se as propriedades dos hidrófugos podem sofrer alterações com a temperatura. A utilização de uma baixa temperatura de secagem (40°C) teve o mesmo fim.

Após a secagem dos provetes na estufa deixaram-se arrefecer os mesmos e, em seguida, procedeu-se à sua montagem nas caixas acrílicas (figura 4.4.1). Os provetes foram colocados com a face não-hidrófugada virada para o interior da cápsula e a face hidrófugada para o exterior.



Figura 4.4.1 – Provetes sobre caixa acrílica, sendo a ligação vedada com mástique.

No interior das caixas acrílicas foi colocado cloreto de cálcio anidro (em pó) que é um dos dessecantes indicados pela norma EN ISO 12572 (CEN 2001), deixando no interior da caixa uma distância livre de cerca de 1,5 cm até à base do provete. O cloreto de cálcio anidro é um sal que induz uma humidade relativa de 0% à temperatura de 23°C (CEN 2001). As caixas possuem um rebordo interno que permite assentar o provete. A ligação entre a cápsula e o provete foi selada com mástique de forma a vedar a passagem de ar (figura 4.4.1). Por fim, de forma a garantir a total estanquidade ao ar, esta zona foi coberta com fita adesiva (figura 4.4.2). Realizou-se então a pesagem dos conjuntos, cápsula + provete, numa balança com resolução de 0,001g para determinar a massa seca.



Figura 4.4.2 – Provetes cobertos com fita adesiva no interior da câmara climática

Os conjuntos cápsula+proвете foram colocados numa câmara climática, FITOCLIMA 500 EDTU® da Aralab (figura 4.4.4), à temperatura de 23°C e com uma

humidade relativa de 50%. Os conjuntos foram pesados periodicamente, com o intuito de se conhecer a quantidade de vapor de água difundida ao longo do tempo através do provete.



Figura 4.4.3 – Câmara Climática

O ensaio termina quando a quantidade de vapor de água que atravessa o provete por unidade de tempo é constante (regime estacionário de difusão de vapor), ou seja, quando os três últimos pontos do gráfico que expressa a variação da massa por unidade de área (g/m^2) em função do tempo (h) definem uma recta. O quociente entre a taxa de difusão G e a área de ensaio S (equação 2.2.9) é o fluxo de difusão e corresponde ao declive desta recta.

A espessura destes provetes, e , é 0,05m. A área de ensaio, S , foi calculada segundo a norma EN ISO 12572 (CEN 2001), segundo a qual S é dada pela média aritmética da área exposta inferior e superior dos provetes. A área inferior é mais reduzida devido à presença do rebordo onde assenta o provete. Sendo a área superior de $0,05 \times 0,05 \text{ m}^2 = 0,0025 \text{ m}^2$ e a área inferior de $0,048 \times 0,048 \text{ m}^2 = 0,0023 \text{ m}^2$, temos que a área de ensaio é de $0,024 \text{ m}^2$.

Através da equação 2.2.10 foi obtido o diferencial de pressão de vapor de água. Para uma temperatura de 23°C , o valor de $P_s=2808^\circ\text{C}$, e para $H_{re}=50\%$ e $H_{ri}=0\%$, o valor de $\Delta P=1404 \text{ Pa}$. A espessura da camada de ar de difusão equivalente, S_a , foi então determinada com base nas equações 2.2.9, 2.2.11 e 2.2.13.

4.4.2 - Apresentação e análise dos resultados

Nas tabelas 4.4.1 a 4.4.7, apresentam-se os resultados obtidos para cada família de hidrófugos e para o material não-hidrofugado. Estes resultados encontram-se expressos em função da espessura da camada de ar equivalente (que é

inversamente proporcional à permeabilidade ao vapor de água). Apresentam-se os valores individuais obtidos para cada provete, bem como o desvio padrão e coeficiente de variação. Por fim, na figura 4.4.4 é feita uma comparação geral entre os valores médios obtidos para as diferentes famílias de hidrófugos e provetes de referência.

Tabela 4.4.1 – Espessura da camada de ar de difusão equivalente média dos provetes sem hidrófugos respectivo desvio padrão

Designação	Identificação dos provetes	Espessura da camada de ar de difusão equivalente (m)			
		Valores individuais	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de variação (%)
Sem hidrófugo	G1.3-	0,907	1,608	0,467	29,0
	G6.3-	1,861			
	G18.3-	1,811			
	G23.1-	1,851			
	G6.2	0,915	0,848	0,048	5,7
	G9.1	0,819			
	G10.4	0,810			
	G26.1	0,850			

Tabela 4.4.2 – Espessura da camada de ar de difusão equivalente média do hidrófugo A e respectivo desvio padrão

Designação	Identificação dos provetes	Espessura da camada de ar de difusão equivalente (m)			
		Valores individuais	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de variação (%)
Hidrófugo A	G1.1-	3,472	2,613	0,707	27,1
	G4.4-	2,740			
	G13.4-	1,760			
	G21.3-	2,479			
	G4.3	0,935	0,933	0,052	5,6
	G8.1	0,866			
	G17.3	0,937			
	G19.2	0,994			

Tabela 4.4.3 – Espessura da camada de ar de difusão equivalente média do hidrófugo B e respectivo desvio padrão

Designação	Identificação dos provetes	Espessura da camada de ar de difusão equivalente (m)			
		Valores individuais	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de variação (%)
Hidrófugo B	G2.2-	2,217	2,299	0,111	4,8
	G7.2-	2,302			
	G8.2-	2,222			
	G26.2-	2,456			
	G5.4	0,881	1,068	0,274	25,7
	G23.3	0,935			
	G24.3	1,474			
	G24.4	0,981			

Tabela 4.4.4 – Espessura da camada de ar de difusão equivalente média do hidrófugo C e respectivo desvio padrão

Designação	Identificação dos provetes	Espessura da camada de ar de difusão equivalente (m)			
		Valores individuais	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de variação (%)
Hidrófugo C	G11.4-	1,565	1,587	0,503	31,7
	G13.3-	1,002			
	G24.2-	1,549			
	G25.3-	2,231			
	G4.2	1,066	1,139	0,207	18,2
	G18.2	1,017			
	G23.2	1,448			
	G26.4	1,025			

Tabela 4.4.5 – Espessura da camada de ar de difusão equivalente média do hidrófugo D e respectivo desvio padrão

Designação	Identificação dos provetes	Espessura da camada de ar de difusão equivalente (m)			
		Valores individuais	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de variação (%)
Hidrófugo D	G1.2-	2,259	2,264	0,211	9,3
	G11.1-	2,079			
	G11.3-	2,156			
	G12.3-	2,560			
	G1.4	1,007	0,896	0,165	18,4
	G17.1	0,882			
	G19.3	1,026			
	G20.3	0,667			

Tabela 4.4.6 – Espessura da camada de ar de difusão equivalente média do hidrófugo E e respectivo desvio padrão

Designação	Identificação dos provetes	Espessura da camada de ar de difusão equivalente (m)			
		Valores individuais	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de variação (%)
Hidrófugo E	G5.3-	1,032	1,755	0,503	28,7
	G9.2-	1,832			
	G18.4-	1,974			
	G21.2-	2,181			
	G3.1	1,013	0,904	0,073	8,1
	G6.4	0,867			
	G16.3	0,859			
	G25.2	0,878			

As tabelas 4.4.1 a 4.4.6 mostram que a espessura da camada de ar de difusão equivalente é sempre maior no caso dos provetes com fissuras paralelas à base.

Estas tabelas permitem também verificar que, não deixando de configurar tendências gerais, a dispersão dos resultados individuais é por vezes acentuada. Como referido no caso dos ensaios anteriores, é provável que tal dispersão se deva em parte às variações de consumo dos hidrófugos e ao facto de os provetes conterem fissuras, em particular:

- (i) À heterogeneidade do espaço fissural de provete para provete;
- (ii) Ao facto de a orientação preferencial das fissuras ter sido determinada só com base em observação visual, não havendo dados sobre o que efectivamente se passa no interior dos provetes – por exemplo no caso do tijolo não-hidrofugado (tabela 4.4.1), o provete G1.3 foi classificado como incluindo fissuras paralelas mas o seu valor de S_d está na gama dos valores obtidos para os provetes com fissura perpendicular.

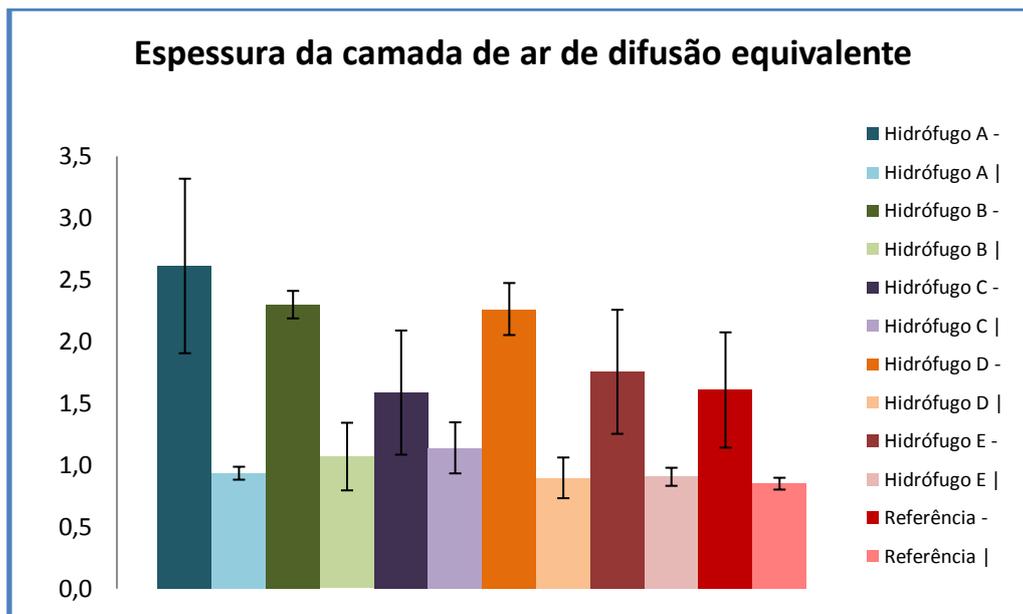


Figura 4.4.4 – Espessura da camada de ar de difusão equivalente média das famílias de hidrófugos e de referência e o respectivo desvio padrão

A análise do gráfico 4.4.4 permite verificar que a espessura da camada de ar de difusão equivalente é de facto sistematicamente maior quando as fissuras se encontram paralelas à base do provete, isso significa que a orientação da fissura influencia o transporte de vapor de água nos provetes e que as fissuras que se encontram paralelas à base do provete dificultam este transporte.

No caso da espessura de ar de difusão equivalente para as fissuras perpendiculares verifica-se que este é muito semelhante para todos os tipos de hidrófugos, isso poderá indicar que o transporte de vapor se dá essencialmente pelas fissuras neste caso.

Quanto à influência dos hidrófugos no transporte de vapor, os valores médios obtidos para os provetes com fissuras paralelas à superfície sugerem que os tratamentos **A**, **B** e **D** dificultam esse transporte, enquanto o **C** e o **E** não o fazem significativamente. Esta conclusão tem contudo uma incerteza elevada, que decorre dos elevados valores do desvio padrão obtidos na maior parte dos casos.

4.5 - Ensaio de Secagem

4.5.1 – Método

O ensaio de secagem, cujos fundamentos se apresentam na secção 2.2.4, foi realizado com base no procedimento No. II.5 “Evaporation curve” da RILLEM (1980), seguindo um protocolo semelhante ao descrito na secção 3.5. O referido ensaio teve por finalidade caracterizar influência dos cinco hidrófugos de superfície na secagem do tijolo utilizado como substrato.

O ensaio foi realizado sobre os mesmos provetes usados no ensaio de capilaridade invertida (secção 4.3) e permeabilidade ao vapor de água (secção 4.4). Para cada um dos cinco hidrófugos e para o material não-hidrofugado (de referência) foram utilizados 4 provetes com fissuras predominantemente paralelas à base e 4 provetes com fissuras predominantemente perpendiculares à base.

A saturação inicial dos provetes foi realizada mantendo os provetes em imersão parcial em água dentro de caixas de plástico fechadas. Este período de tempo foi considerado, com base nos gráficos de capilaridade (figuras 3.4.2 a 3.4.7), suficiente para se atingir um teor de água próximo da saturação capilar.

A secagem foi realizada numa sala condicionada, à temperatura de 20°C, humidade relativa de 50% e baixa velocidade do ar, os provetes permaneceram afastados uns dos outros, bem como, de eventuais obstáculos (exemplo: parede). Durante a secagem, a pesagem dos provetes foi realizada de 1h em 1h durante as primeiras 8h e depois de 48h em 48h durante 3 semanas, passando posteriormente a ser pesado semanalmente até ao fim do ensaio. O ensaio teve uma duração de cerca de um mês para os provetes não-tratados com fissuras perpendiculares e mais de dois mês e quinze dias para os provetes do hidrófugo **A**, **C** e **D** com fissuras paralelas.

Os resultados do ensaio de secagem são expressos, conforme descrito nas secções 2.2.4 (fundamentos teóricos) e 3.5 (ensaio de secagem realizado sobre diferentes tipos de tijolo), através da curva de evaporação e do índice de secagem (*Commissione Normal 1991*). O índice de secagem é determinado através da equação

2.2.11, tendo o cálculo do integral da curva de evaporação sido realizado pelo método de integração numérica do trapézio. No cálculo do teor de água (equação 2.2.12), foi descontado o valor da massa da folha de polietileno.

4.5.2– Apresentação e análise dos resultados

Nas figuras 4.5.2 a 4.5.7 são apresentadas as curvas de secagem correspondentes ao material não-hidrofugado e a cada tipo de hidrófugo. Nas tabelas 4.5.1 a 4.5.5 são apresentados os valores individuais do índice de secagem, bem como a média, desvio padrão e coeficiente de variação de cada família de hidrófugo. Na figura 4.6.8 é feita uma comparação do valor médio do índice de secagem obtido para os diferentes tipos de hidrófugo e para o tijolo não-hidrofugado.

Note-se que a secagem de alguns tipos de provete (provetes hidrofugados com fissuras paralelas à base) foi tão prolongada (mais de dois meses) que acabou por não ser totalmente compatível com os prazos desta tese. O índice de secagem apresentado não corresponde por isso nestes casos a uma secagem completa dos provetes, sendo um valor aproximado que, no entanto e como se verá, acabou por ser suficiente para justificar as conclusões a que se chegou.

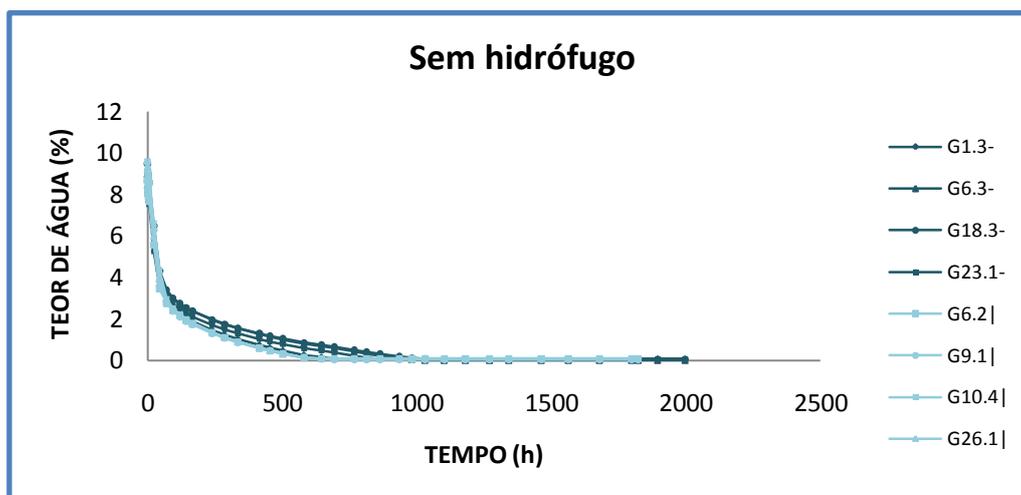


Figura 4.5.2 – Curva de secagem do tijolo novo de Vale de Gândara sem hidrófugo

Tabela 4.5.1 – Índice de secagem do tijolo novo de Vale de Gândara sem hidrófugo

Designação	Identificação dos provetes	Índice de Secagem (%)			
		Valores individuais	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de variação
Sem hidrófugo	G1.3-	0,062	0,074	0,009	12,0
	G6.3-	0,079			
	G18.3-	0,082			
	G23.1-	0,075			
	G6.2	0,057	0,054	0,003	4,9
	G9.1	0,051			
	G10.4	0,054			
	G26.1	0,055			

Da análise da figura 4.5.2 verifica-se que o comportamento das duas famílias de provetes (fissuras paralelas ou perpendiculares, respectivamente) é bastante uniforme e próximo. A tabela 4.5.1 confirma a baixa dispersão (valores relativamente baixos do desvio padrão e do coeficiente de variação) mas revela que o índice de secagem é ligeiramente mais elevado (secagem mais lenta) nos provetes de fissuras paralelas à base.

É de referir que os resultados deste ensaio comparados com o ensaio (similar) realizado sobre vários tipos de tijolo na primeira campanha experimental (figura 3.5.8 e tabela 3.5.6) são bastante semelhantes.

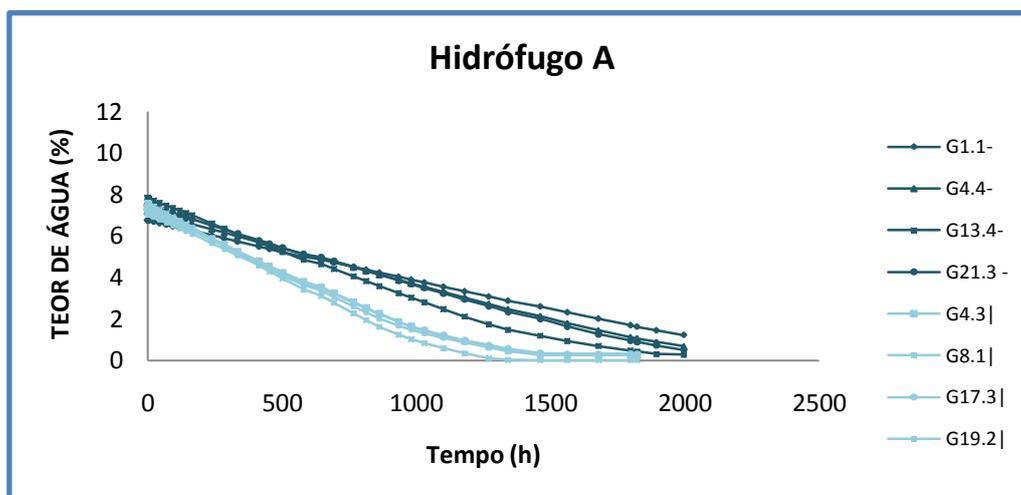


Figura 4.5.3 – Curva de secagem do tijolo novo de Vale de Gândara com o hidrífugo A

Tabela 4.5.2 – Índice de secagem do tijolo novo de Vale de Gândara com o hidrífugo A

Designação	Identificação dos provetes	Índice de Secagem (%)			
		Valores individuais	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de variação
Hidrífugo A	G1.1-	0,574	0,502	0,064	12,7
	G4.4-	0,519			
	G13.4-	0,420			
	G21.3-	0,496			
	G4.3	0,329	0,317	0,025	7,9
	G8.1	0,279			
	G17.3	0,331			
	G19.2	0,327			

Da análise da figura 4.5.3 verifica-se que a secagem é muito mais lenta do que para o material não-hidrofugado (figura 4.5.1) e que as fissuras têm influência na secagem, sendo as fissuras paralelas à base aquelas que mais dificultam o processo de secagem. A tabela 4.5.2 confirma que o índice de secagem é mais elevado (secagem mais lenta) nos provetes de fissuras paralelas à base. Revela ainda, através dos valores do desvio padrão e coeficiente de variação, que a dispersão dos valores individuais deste índice é, neste caso, bastante baixa, não se registando grandes disparidades dentro de nenhuma das famílias.

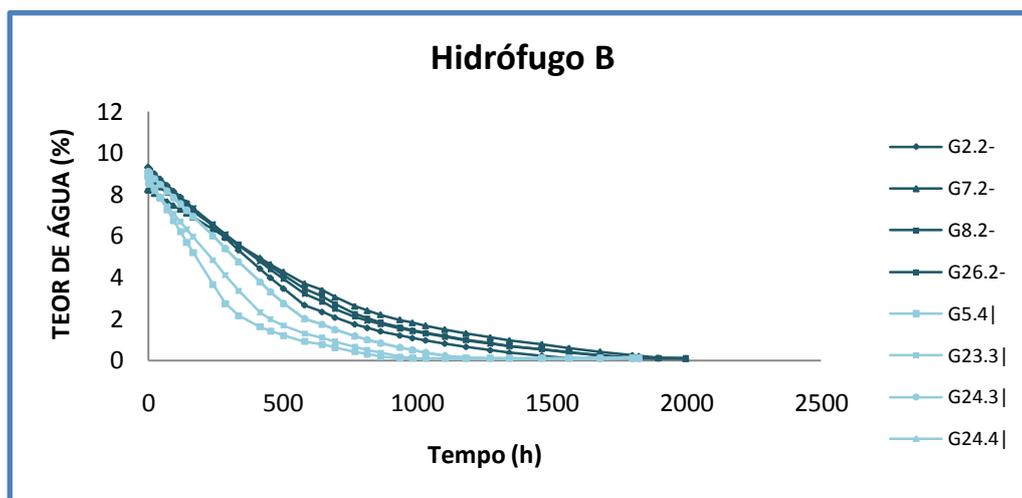


Figura 4.5.4 – Curva de secagem do tijolo novo de Vale de Gândara com o hidrífugo B

Tabela 4.5.3 – Índice de secagem do tijolo novo de Vale de Gândara com o hidrífugo B

Designação	Identificação dos provetes	Índice de Secagem (%)			
		Valores individuais	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de variação
Hidrífugo B	G2.2-	0,241	0,280	0,033	11,9
	G7.2-	0,321			
	G8.2-	0,274			
	G26.2-	0,286			
	G5.4	0,134	0,192	0,055	28,7
	G23.3	0,166			
	G24.3	0,262			
	G24.4	0,206			

A figura 4.5.4 mostra que também no caso do hidrífugo B a secagem é significativamente mais lenta do que para o material não-hidrofugado (figura 4.5.1). Verifica-se também que, mais uma vez, os provetes de fissuras perpendiculares apresentam uma secagem mais rápida que os provetes de fissuras paralelas à base. Da tabela 4.5.3 verifica-se que o índice de secagem é, de facto, mais elevado nos provetes de fissuras paralelas à base. A dispersão dos valores individuais é neste caso mais significativa para o caso das fissuras perpendiculares à base.

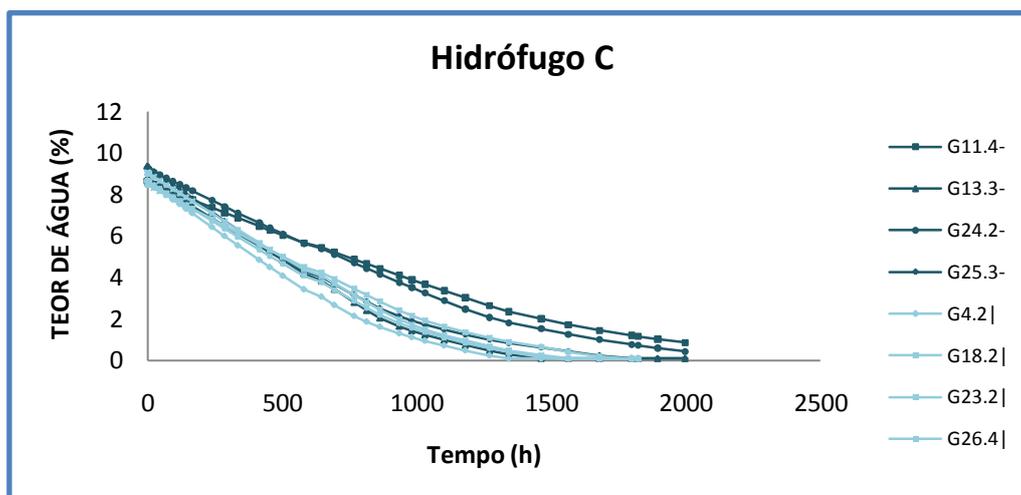


Figura 4.5.5 – Curva de secagem do tijolo novo de Vale de Gândara com o hidrôfugo C

Tabela 4.5.4 – Índice de secagem do tijolo novo de Vale de Gândara com o hidrôfugo C

Designação	Identificação dos provetes	Índice de Secagem (%)			
		Valores individuais	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de variação
Hidrôfugo C	G11.4-	0,474	0,377	0,086	22,7
	G13.3-	0,287			
	G24.2-	0,421			
	G25.3-	0,327			
	G4.2	0,265	0,304	0,032	10,5
	G18.2	0,308			
	G23.2	0,342			
	G26.4	0,300			

A figura 4.5.5 mostra que, por comparação com o comportamento do tijolo não-hidrôfugado (figura 4.5.1) também o hidrôfugo **C** dificulta significativamente a secagem. Quanto à influência da orientação das fissuras, verifica-se que são, uma vez mais, as fissuras paralelas à base as que mais dificultam o processo de secagem. A tabela 4.5.4 revela que o índice de secagem é, de facto um pouco, mais elevado nos provetes de fissuras paralelas à base. A dispersão dos valores individuais é também maior para os provetes com fissuras paralelas à base.

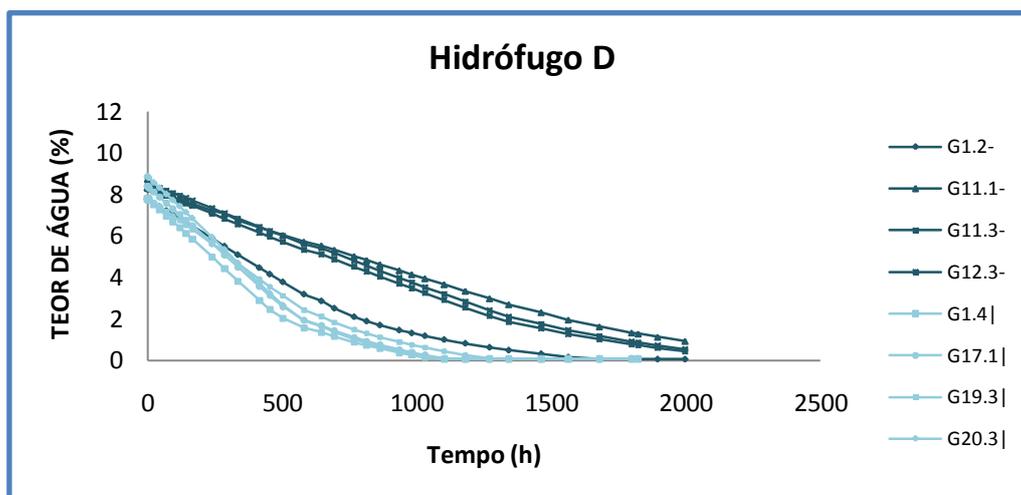


Figura 4.5.6 – Curva de secagem do tijolo novo de Vale de Gândara com o hidrófuco D

Tabela 4.5.5 – Índice de secagem do tijolo novo de Vale de Gândara com o hidrófuco D

Designação	Identificação dos provetes	Índice de Secagem (%)			
		Valores individuais	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de variação
Hidrófuco D	G1.2-	0,287	0,425	0,095	22,4
	G11.1-	0,505			
	G11.3-	0,461			
	G12.3-	0,446			
	G1.4	0,200	0,212	0,018	8,6
	G17.1	0,206			
	G19.3	0,238			
	G20.3	0,201			

Da análise da figura 4.5.6 e sua comparação com o gráfico da figura 4.5.1 relativo ao tijolo sem hidrófuco, verifica-se que também o hidrófuco **D** atrasa significativamente a secagem. Mas uma vez, os provetes de fissuras perpendiculares apresentam uma secagem mais rápida que os provetes de fissuras paralelas à base, sendo a diferença neste caso particularmente acentuada. Exceptua-se o caso do provete G1.2 que, apesar de classificado na família das fissuras paralelas à base, segue a tendência dos provetes com fissuras perpendiculares. Isto pode querer dizer que na realidade a orientação preponderante do espaço fissural é diferente da observada na superfície do provete. A tabela 4.5.5 confirma estas conclusões, verificando-se que o índice de secagem é sensivelmente o dobro nos provetes com

fissuras paralelas. A dispersão dos valores individuais é limitada para ambas as famílias, com exceção do provete G1.2, pelas razões mencionadas.

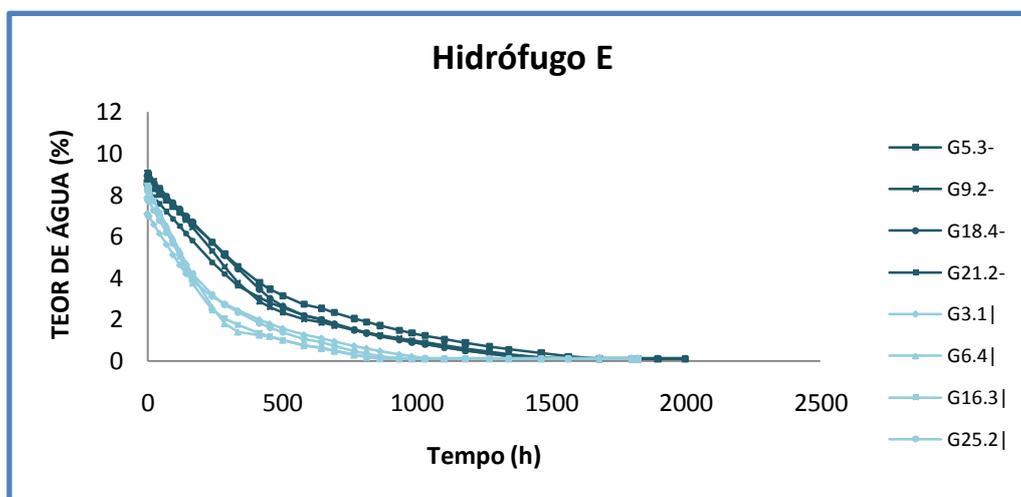


Figura 4.5.7 – Curva de secagem do tijolo novo de Vale de Gândara com o hidrífugo E

Tabela 4.5.6 – Índice de secagem do tijolo novo de Vale de Gândara com o hidrífugo E

Designação	Identificação dos provetes	Índice de Secagem (%)			
		Valores individuais	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de variação
Hidrífugo E	G5.3-	0,253	0,222	0,021	9,6
	G9.2-	0,205			
	G18.4-	0,218			
	G21.2-	0,213			
	G3.1	0,157	0,133	0,020	15,0
	G6.4	0,117			
	G16.3	0,116			
	G25.2	0,141			

O gráfico 4.5.7 mostra, por comparação com os anteriores, que o atraso induzido pelo hidrífugo **E** na secagem é bem menor do que acontece com os restantes hidrífugos. Não obstante, verifica-se os provetes de fissuras perpendiculares apresentam também neste caso uma secagem mais rápida que os provetes de fissuras paralelas à base. A tabela 4.5.6 confirma que o índice de secagem é mais elevado nos provetes de fissuras paralelas à base e mostra que a dispersão dos valores individuais é limitada, especialmente no caso das fissuras paralelas.

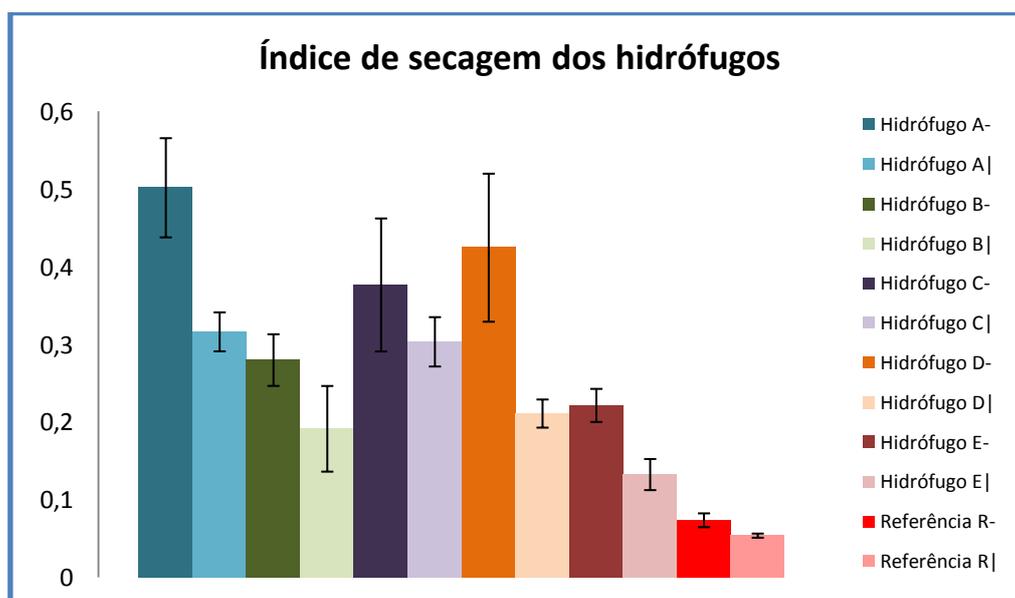


Figura 4.5.8 – Índice de secagem do tijolo novo de Vale de Gândara com hidrófugos e de referência

Da análise da figura 4.5.8 verifica-se que, na generalidade, os hidrófugos dificultam a secagem, por comparação com o comportamento do material não-hidrofugado. Esta influência é muito significativa em alguns casos, sendo especialmente relevante quando a orientação das fissuras é paralela à base.

Apesar de a secagem ser sistematicamente mais rápida quando as fissuras são perpendiculares, o efeito dos hidrófugos é, de facto, notório para ambas as orientações de fissuras.

A dispersão dos resultados individuais é por vezes significativa mas não é suficiente para diluir as duas tendências mencionadas de a secagem ser mais lenta para o caso dos hidrófugos e das fissuras paralelas à base.

4.6 – Discussão

O ensaio de absorção de água por capilaridade (secção 4.3), permitiu avaliar a eficácia dos tratamentos, tendo-se verificado que qualquer um dos cinco hidrófugos reduz a absorção de água. Este efeito é muito acentuado nos hidrófugos **A**, **B**, **C** e **D**, cuja absorção é quase nula, sendo o hidrófugo **E** o único que apresenta absorção de água significativa. Observa-se ainda que dentro de cada família de hidrófugos a variabilidade de resultados obtidos é pequena, com excepção também do hidrófugo **E**.

Foi ainda possível verificar-se que a disposição das fissuras pouca influência apresenta na absorção de água, sendo quase nula para os hidrófugos **A**, **B**, **C** e **D**. Já no caso do hidrófugo **E**, que é o único cuja absorção de água é relevante, e também do tijolo não-hidrofugado existe diferença em função da disposição das fissuras: as fissuras perpendiculares à superfície conduzem a uma absorção por capilaridade bastante maior do que as fissuras paralelas.

No ensaio de permeabilidade ao vapor de água verifica-se que os tratamentos **C** e o **E** não dificultam significativamente o transporte de vapor, enquanto o **A**, **B** e **D** o fazem claramente. Santana (2002), no estudo que realizou já havia verificado que a aplicação de hidrófugos em materiais pétreos pode reduzir a permeabilidade ao vapor. O efeito dos hidrófugos só é, no entanto, relevante para o caso dos provetes com fissuras paralelas à superfície. Verificou-se, de facto, que os provetes com fissuras perpendiculares à superfície têm permeabilidade ao vapor semelhante, independentemente da aplicação e tipo de hidrófugo, o que sugere que neste caso o vapor atravessa os provetes essencialmente pelas fissuras.

Relativamente ao ensaio de secagem, verifica-se que a aplicação do hidrófugo induz um prolongamento na secagem. Verificou-se ainda que para este ensaio a disposição das fissuras tem bastante relevância: os provetes que apresentam fissuras paralelas à base demoram em geral muito mais tempo a secar.

Com base na análise dos três ensaios anteriormente mencionados, verificou-se que o hidrófugo **C** apresenta uma boa eficácia e dificulta pouco a permeabilidade ao vapor. Já no caso dos hidrófugos **A**, **B** e **D**, a eficácia está associada a uma redução da permeabilidade ao vapor.

Quanto à secagem parece já haver alguma correlação com a eficácia: o hidrófugo **E**, menos eficaz e também aquele que menos dificulta a secagem. Todos os outros parecem prolongar significativamente a secagem, especialmente no caso das fissuras paralelas.

Foi possível verificar que, em particular no caso dos hidrófugos **A** e **D**, a sua mais baixa permeabilidade ao vapor corresponde também a uma secagem mais lenta.

O exposto indica que embora haja uma tendência geral para os hidrófugos reduzirem a permeabilidade ao vapor e dificultarem, por vezes muito, a secagem, há varias excepções o que significa que a nocividade dos hidrófugos deverá ser sempre analisada caso a caso.

5 – Conclusões e desenvolvimentos futuros

5.1 – Conclusões

O tijolo antigo proveniente do Campo Pequeno é muito heterogéneo, em termos de aspecto e comportamento. Essa heterogeneidade sugere ter havido utilização de diferentes tipos de tijolo nas sucessivas intervenções que a Praça de Touros sofreu ao longo dos tempos, várias das quais foram registadas pela (ex) Direcção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais (DGEMN). Nos ensaios realizados sobre os quatro tipos de tijolo identificados, aparentemente distintos, verificou-se que as propriedades hídricas podem diferir bastantes. Isto foi evidenciado pelo ensaio de absorção capilar e também, embora menos, pelo de secagem. Não obstante, o teor de sal dos diferentes tipos de tijolo antigo não parece ser significativo, com excepção do tijolo antigo claro alveolar (**C**) que oferece algumas dúvidas.

Quanto ao tijolo novo, ambos os tipos estudados, das Cerâmicas Torreense e de Vale de Gândara, são caracterizados por apresentar fissuração significativa, que é mais notória no primeiro tipo. Isto permite suspeitar que este tipo de anomalia se trate de uma situação corrente na prática.

Face a estes indícios e não se dispondo de tijolo sem fissuras, optou-se por considerar a orientação destas, verificando em que medida ela favorecia ou prejudicava as propriedades analisadas. Para tal, foram sempre testados provetes com fissuras preferencialmente paralelas ou preferencialmente perpendiculares à superfície.

O tijolo de Vale de Gândara foi o tipo seleccionado para aplicação dos cinco tipos seleccionados de hidrófugos porque os resultados obtidos na campanha experimental realizada sobre diferentes tijolos mostraram que o tijolo de Vale de Gândara se apresentava menos fissurado e tinha um comportamento mais homogéneo, à capilaridade e à secagem, do que o tijolo da Cerâmica Torreense.

No geral o consumo dos hidrófugos respeitou os rendimentos indicados nas respectivas fichas técnicas. Exceptua-se o caso do hidrófugo **E**, em que o alto rendimento indicado pelo fabricante não se verificou na prática durante a aplicação. Nos provetes com fissuras perpendiculares à superfície os rendimentos foram em

geral inferiores, mas a diferença em relação aos provetes com fissuras paralelas não é muito significativa.

Na avaliação da eficácia dos tratamentos hidrófugos verificou-se que qualquer um dos cinco produtos testados reduz a absorção de água. No entanto, este efeito é muito mais acentuado nos provetes tratados com os hidrófugos **A**, **B**, **C** e **D**, cuja absorção é quase nula, sendo o hidrófugo **E** o único que apresenta uma absorção de água ainda apreciável. Note-se que o hidrófugo **E** é também aquele que tem menor consumo.

Verificou-se ainda, com base no ensaio de permeabilidade ao vapor de água, que os hidrófugos **C** e **E** não dificultam o transporte de vapor de água enquanto os hidrófugos **A**, **B** e **D** o fazem. Note-se que o efeito dos hidrófugos só é, no entanto, relevante para o caso dos provetes com fissuras paralelas à superfície. Os provetes com fissuras perpendiculares à superfície têm permeabilidade ao vapor semelhante, independentemente da aplicação e tipo de hidrófugo, o que sugere que neste caso a migração de vapor se dá essencialmente pelas fissuras.

Relativamente à secagem verifica-se que a aplicação dos hidrófugos induz um prolongamento desta. A disposição das fissuras tem também neste caso bastante relevância, uma vez que os provetes que apresentam fissuras paralelas à base tendem a ter maiores tempos de secagem.

A tendência geral dos hidrófugos para dificultarem, por vezes muito, a secagem, indica que a sua aplicação na superfície dos tijolos pode ser nociva quando existe humidade na alvenaria.

5.2 - Desenvolvimentos futuros

Não tendo sido possível abordar todos os aspectos e alternativas importantes para o tema em questão, inclusive questões surgidas no decorrer do estudo experimental efectuado, apresentam-se em seguida algumas sugestões para o desenvolvimento futuro desta investigação:

- Verificar se a diferente influência na secagem pode ser explicada, total ou parcialmente, pela profundidade de penetração dos hidrófugos ou se as diferenças são decorrentes da própria composição dos produtos.

- Confirmar o efeito das fissuras na eficácia dos hidrófugos. De facto, aqui verificou-se que, mesmo no caso das fissuras perpendiculares à superfície, os hidrófugos quase anulam a sucção capilar do tijolo. Contudo, esta avaliação foi feita com base num ensaio de capilaridade em que não há pressão. Na realidade, os efeitos conjugados da chuva e do vento podem originar a actuação de água sob pressão na superfície do tijolo e não sabemos se isso fará diferença.
- Verificar se a aplicação dos hidrófugos em suportes verticais poderá originar diferenças relevantes quanto à penetração dos produtos no material, especialmente quando há fissuras.
- Avaliar, através de ensaios, se a durabilidade dos hidrófugos:
 - é afectada pelas molhagens sucessivas a que um hidrófugo é sujeito (na prática e em estudos laboratoriais);
 - varia em função do tipo de suporte e como é que os materiais cerâmicos se situam neste aspecto (comparar materiais cerâmicos com outros que também sejam apropriados para os hidrófugos em questão).

Referência Bibliográficas

Abrantes, A. (2006) - Alvenarias isolantes e resistentes. Novos produtos cerâmicos. Porto. Universidade Fernando Pessoa.

Andrés, A.; Díaz, M.; Coz, A.; Abellán, M.; Viguri, J. (2009) - Physico-chemical characterisation of bricks all through the manufacture process in relation to efflorescence salts. Journal of the European Ceramic Society 29 (2009) 1869-1877.

Appleton, J. (2003)- Reabilitação de edifícios antigos, patologias e tecnologias de intervenção. Portugal: Edições ORION.

Ash, E.; Bäumer, E.; Bekker,P.; Bender,W. et al (1982) - Brick and Tile Making. Procedures and Operating Practice in the Heavy Clay Industries. Berlin. Bauverlag.

Batista, C. (2010) – Informação Oral.

Bauer, L. (1984) - Materiais de Construção. São Paulo. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 2ª Edição.

Beloyannis, N.; Theoulakis,P.; Haralambides, L. (1988) - Stoe deterioration at the Temple of Apollo Epicourios at Bassai (Peloponnese); hydrophobation tests.

Bourguignon, E. (2000) – Study of deterioration mechanisms and protective treatments for the egyptian limestone of the ayyubid city wall of Cairo. Master of science. Pennsylvania.

Brito, V. (2009) – Influência dos revestimentos por pintura na secagem do suporte. Tese de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa.

Campbell, James W.P.; Pryce, Will (2005) – História Universal do Tijolo. Caleidoscópio. Lisboa: Caleidoscópio.

Cardoso, A. (196-) - Manual de Cerâmica. Amadora. Livraria Bertrand.

CEN (2001) – Hygrothermal performance of building materials and products – Determination of water vapour transmission properties. Brussels CEN. EN ISO 12572:2001.

Charola, A. (1995) - Water-repellent treatments for building stones: A practical overview. APT Bulletin16(2-3): pp13.

Charola, A. (2000) - Salts in the Deterioration of Porous Materials: An Overview. JAIC 39 (2000): 327-343.

Charola, A.; Nunberg, S. and Freedland, J. (2001) - Salts in Ceramic Bodies I: Introducing Salts into Ceramics. Internationale Zeitschrift für Bauinstandsetzen.

Clercq, H. and Charola, A. (2008) - Fifth International Conference on Water Repellent Treatment of Building Materials. Brussels, Belgium. Royal Institute for Cultural Heritage (KIK - IRPA). Aedificatio Publishers. 3-15, 57-73, 97-106, 155-167, 311-315.

Commissione Normal (1991) – Misura dell'indice di asciugamento (drying index). Roma, CNR/ICR. Doc n° 29/88.

Deutsche Normen DIN 66131 (1973). Bestimmung der Spezifischen Oberfläche.

Direcção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais, 2001 - Inventário do Património Arquitectónico - N°IPA: PT031106230138 - Praça de Touros do Campo Pequeno. http://www.monumentos.pt/Monumentos/forms/002_B2.aspx?CoHa=2_B1

Emery, S. and Charola, A. (2007) - Coatings on Brick Masonry: Are they Protective or Can They Enhance Deterioration?. JAIC 46 (2007): 39-52.

Fernandes, F. (2006) - Avaliação de duas novas técnicas não destrutivas: microfuração de tijolos de argila e radar de prospecção geotécnica em alvenaria. Minho. Universidade do Minho.

Fojo, A. (2006) - Estudo da aplicação de consolidantes e hidrófugos em pedras graníticas da Igreja Matriz da Caminha. Tese de Doutoramento. Porto, FEUP.

Fonseca, A. (2000) - Tecnologia do Processamento Cerâmico. Lisboa. Universidade Aberta.

Freitas, V. (1992) - Transferência de humidade em paredes de edifícios - análise do fenómeno de interface. Tese de Doutoramento. Universidade do Porto, Porto.

Freitas, V.; TORRES, M.; Guimarães, A. (2008) – Humidade Ascensional. FEUP edições.

Gonçalves T., and Rodrigues J., (2006) - Evaluating the salt content of salt-contaminated samples on the basis of their hygroscopic behaviour. Part I:

Fundamentals, scope and accuracy of the method, *Journal of Cultural Heritage* 7, 79-84.

Gonçalves, T. (2007) – Salt crystallization in plastered or rendered walls. Tese de Doutoramento. Lisboa, LNEC e IST.

Gonçalves, T., Rodrigues J., Abreu M. (2006a) - Evaluating the salt content of salt-contaminated samples on the basis of their hygroscopic behaviour. Part II: Experiments with nine common soluble salts, *Journal of Cultural Heritage* 7, 193-200.

Hall, C; Hoff, W. (2002) - *Water Transport in Brick, Stone and Concrete*. Spon Press, London and New York. ISBN 0-419-22890-X.

Henriques, F. (1992) - A acção da humidade em paredes. Formas de manifestação, critérios de quantificação e análise de soluções de reparação. Tese de Doutoramento. Instituto Superior Técnico de Lisboa.

ICATHM (1964) - International Congress of Architects and Technicians of Historical Monuments International charter for the conservation and restoration of monuments and sites. In Proc.// International Congress of Architects and Technicians of Historical Monuments, Venice. The “Venice Charter”.

Johansson, A. (2006) – Impregnation of concrete structures – transportation and fixation of moisture in water repellent treated concrete. Licentiate thesis. TRITA-BKN. Bullentin 84, 2006. ISSN 1103-4270. ISSN KHT/BKN/B—84—SE.

Kingery, W. (1963) – *Introduction to ceramics*. United States of America: John Wiley & Sons, Inc.

Künzel H. (1995) - Simultaneous heat and moisture transport in building components. Tese de Doutoramento, Fraunhofer Institute of Building Physics, Germany.

Leitão, L. (1896) - *Construções*. Lisboa. Imprensa Nacional.

LNEC (1971) - *O Problema das Eflorescências em Alvenarias e Estuques. Sua Formação. Prevenção e Ensaio*. Lisboa. Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

LNEC (2010) - *Materiais de construção porosos. Avaliação do teor de sal através do teor de humidade higroscópica (HMC). Especificação LNEC em preparação (documento de trabalho)*.

Lubelli, B.; Van Hees, J.; Brocken, P. (2004) - Experimental research on hygroscopic behaviour of porous specimens contaminated with salts. *Construction and Building Materials* 18, 339-348.

Lucas, J. (1999) - *Revestimentos Cerâmicos para Paredes ou Pavimentos*. Lisboa. Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

Mesquita, D. (2007) - Viabilidade técnico-económica do tijolo de face à vista em fachadas de edifícios em Portugal. Lisboa. Instituto Superior Técnico.

Nero, J. (1996/1997) - *Materiais de Construção I*. Lisboa. Associação dos Estudantes do Instituto Superior Técnico.

Norton, F. (1952) - *Elements of Ceramics*. Addison-Wesley Press, Inc.

Oliveira, C. (1996) – A influência da difusão ao vapor das pinturas no comportamento à humidade das paredes. Dissertação de mestrado em Construção de Edifícios. Porto, FEUP.

Pinho, F. (2000) - *Paredes de edifícios antigos em Portugal*. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

Pinto, A. (1993) - *Conservação de pedras graníticas - estudo da acção de hidrófugos*. Tese de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

Pinto, A.; Rodrigues, J.; Costa, D. (1994) - Assessment of the efficacy and harmfulness of water repellents in granite. *Proceedings of the "3rd International Symposium on the Conservation of Monuments of the Mediterranean Basin"*. Soprintendenza ai Beni Artistici e Storici di Venezia. Venice, pp. 883-890.

Price, C. (1996) - *Stone Conservation – An Overview of Current Research*. United States of America: J. Paul Getty Trust.

Ramos, N. (2000) - *Modelação da variação da humidade relativa no interior dos edifícios*. Porto. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Rato, V. (2006) – *Influência da microestrutura morfológica no comportamento de argamassas*. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil. Lisboa, FCT/UNL.

RILEM TC 25-PEM (1980) - Recommended tests to measure the deterioration of stone and to assess the effectiveness of treatment methods, *Materials and Structures* 13, 197-199 (test No. II.2 "Coefficient of water vapour conductivity"), 204-207 (test No. II.5

“Evaporation curve”), 209 (test No. II.6 “Water absorption coefficient (capillarity)”). Paris.

Robinson R. and Stokes R. (2002) - Electrolyte Solutions: The Measurement and Interpretation of Conductance, Chemical Potential and Diffusion in Solutions of Simple Electrolytes. London, Dover. ISBN 0-486-42225-9. Republication of the second revised edition which was originally published in 1970 by Butterworth, London.

Robinson, G. (1982) - "Characterization of Bricks and Their Resistance to Deterioration Mechanisms", In conservation of Historic Stone Buildings and Monuments, ed. N.S. Baer. Washington, D.C.: National Academy Press. pp 145-162.

Rodrigues, J. and Charola, A. (1996) - General Report on Water Repellents. Science and Technology for Cultural Heritage. 5 (I), 1996:93-103.

Rodrigues, J.; Henriques, F.; Jeremias, F. (1992) - Proceedings 7th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone. Lisboa. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Volume 2.

Roos, M., König, F., Stadtmüller, S. and Weyershausen, B. (2008) - Evolution of Silicone Based Water Repellents For Modern Building Protection. Hydrophobe V. 5 th International Conference on Water Repellent Treatment of Building Materials. Aedificatio Publishers, pp 3-15.

Santana, A. (2002) – Conservação de pedras carbonatadas. Estudo e selecção de tratamentos. Tese de Doutoramento. Instituto Superior Técnico, Lisboa.

Searle, A. (1956) - Modern Brickmaking. London. Ernest Benn Limited. Fourth Edition.

Simões, A. (1966) – O tijolo, velho e sempre novo material de construção. Lisboa: LNEC.

Singer, S. and Singer, F. (1963) - Industrial Ceramics. London. Chapman e Hall Ltd.

Sousa, A. e Silva, J. (2000) - Manual de Alvenaria de Tijolo. Coimbra: APICER.

Torraca, G. (1986) - Materiaux de construction Poreux. Science des matériaux pour la conservation architecturale. Rome. ICCROM.

Wendler , E. and Plehwe-Leisen, E. (2008) - Water Repellent Treatment of Porous Material. A New Edition of the WTA Leaflet. 5th International Conference on Water Repellent Treatment of Building Materials. Aedificatio Publishers, pp 155-167.

Wendler, E. and Charola, A. (2008) - Water and its Interaction with Porous Inorganic Building Materials. Hydrophobe V. 5th International Conference on Water Repellent Treatment of Building Materials. Aedificatio Publishers, pp 57-74.

Anexo I – Fichas Técnicas

Imperrevis

05/10/31 5:19 PM

THORO™ CLEAR® 777

Hidrófugo transparente para superfícies de alvenaria

1. Usos

O THORO CLEAR 777 foi criado para ser empregue como hidrófugo invisível em substratos porosos e semi-porosos, tais como ladrilhos e telhas cerâmicas, pedra natural, rebocos e betão.

2. Benefícios

Estético

- Melhora o aspecto estético, ao reduzir a eflorescência.
- A aparência da superfície permanece inalterada.

Duradouro

- Protege a longo prazo, devido à grande profundidade de penetração.
- Resiste à chuva ácida e aos raios ultravioletas.
- Não altera a permeabilidade ao vapor de água.

Fácil de aplicar

- Já vem pronto para usar. Pelo facto de não necessitar ser diluído ao pé da obra garante uma qualidade constante.

3. Descrição

Dispersão de polissiloxano em terabintina mineral, pronta para usar.

4. Dados do produto

4.1 Propriedades físicas típicas ^(a)

Teor em sólidos	5,35% em peso aprox.
Densidade	0,79 kg/l
Ponto de ignição	69° C

(a) Valores típicos. Todos os ensaios foram realizados a uma temperatura controlada de 21° C.

4.2 Ensaio e aprovações

WTCB/CSTC (Bélgica): ensaio de utilidades.

5. Cores

Líquido transparente que, depois de seco, é invisível.

6. Consumo

Normalmente, de 0,2 a 0,5 l/m² em superfícies de alvenaria. O consumo varia em função da natureza e porosidade do substrato.

7. Apresentação

Lata de 5 l
Bidon de 20 l
Bidon de 220 l

8. Armazenagem

O THORO CLEAR 777 deve ser armazenado debaixo de um sítio coberto e separado do chão. Não amilhar mais de 2 bidons ou 3 latas. Proteger os materiais de todas as fontes de humidade. Prever a correcta rotação dos stocks para não exceder o limite de tempo de armazenagem do produto, que é de 12 meses. A temperatura de armazenagem não deve exceder os 35° C. Armazenar afastado de qualquer fonte de calor.

9. Aplicação

9.1 Preparação do substrato

Em caso de alvenaria ou betão de nova construção deve-se deixar passar 28 dias antes de proceder ao tratamento com THORO CLEAR 777. A superfície a tratar deve estar limpa e isenta de qualquer resto de calda de cimento, contaminantes ou tratamentos HIDRÓFUGOS prévios, os quais poderiam causar diferenças de absorção ou nódoas.

Pode ser necessário utilizar jacto de água ou areia para obter o substrato

Aplicar em duas camadas, preferivelmente com um equipamento de projecção a baixa pressão, de baixo para cima, impregnando o substrato até que se produza um escoamento de entre 15 e 30 cm. Evitar percursos longos. A aplicação à brocha é possível, mas os consumos são superiores.

Aplicar a segunda camada enquanto a primeira ainda estiver húmida.

9.3 Limpeza e derrames

O equipamento deve ser limpo imediatamente com terebintina mineral.

file:///localhost/Users/elisabet/Desktop/imperrevis/clear777.html

Page 1 of 2

adequado. As eflorescências devem ser eliminadas mediante escovagem a seco. Deixar o substrato secar totalmente antes de aplicar o **THORO CLEAR 777**. Proteger as superfícies adjacentes, molduras, pinturas, plantas, etc., dos salpicos ou derramamentos acidentais. Evitar o contacto entre componentes de alumínio ou asfalto e o **THORO CLEAR 777**.

9.2 Aplicação

Não aplicar **THORO CLEAR 777** sobre substratos congelados, bem como se a temperatura ambiente for inferior a 5° C, ou se se prevê que isto sucederá nas próximas 24 horas.

Ensaiar numa pequena superfície antes de realizar a aplicação completa, para assegurar-se de que os resultados serão os esperados e, os rendimentos e consumos, os previstos.

10. Higiene e segurança

Evitar a inalação de vapor; usar só com a ventilação adequada. Recomenda-se aos operários responsáveis de projectar o produto que utilizem máscaras de protecção. Os salpicos que atingirem a pele devem ser eliminados com água e sabão. No caso projecção aos olhos, lavá-los cuidadosamente com água durante, no mínimo, 15 minutos, ou com uma solução ocular sob recomendação médica. As pessoas que inalarem o produto devem respirar ar puro e descansar.

No caso improvável de ingestão, dar de beber água ou leite e solicitar assistência médica. Não induzir o vômito.

Sob pedido, disponibiliza-se a Ficha de Dados de Segurança do produto.

7.1 - Hidrófugo Ref.º 405

Impregnante Hidro-repente e Impermeabilizante

Características



O HIDRÓFUGO Ref.º 405 é um verniz à base de copolímeros acrílicos e silicone, em dispersão aquosa, que apresenta:

- Elevada capacidade de penetração
- Elevada capacidade de conglomeração
- Características de impermeabilidade à água
- Permeabilidade ao vapor de água
- Ausência de brilho, não alterando o aspecto final das superfícies
- Fácil aplicação
- Secagem rápida

Parâmetros técnicos



- Massa volúmica (MTE.4, 20 °C): 1.000 - 1.025 g/cm³
- pH (MTE.3, 20 °C): 10.5 - 13.0
- Teor sólido (MTE.5): 4 - 7%

- Compostos Orgânicos Voláteis (VOC): Valor limite da UE p/ o produto (A/c): 40 g/l (2010). Este produto contém no máximo: 7,9 g/l COV.

Campo de aplicação



Especialmente concebido para o tratamento e protecção de materiais porosos, como: betão, telhas, tijolos, cantarias, fibrocimento, peças cerâmicas, etc. Não altera o aspecto final das superfícies.

Métodos de aplicação



Preparação das Superfícies

As superfícies devem estar secas, isentas de pó e gorduras, bem como de materiais em desagregação.

Aplicação

À trincha, rolo, pistola de projecção, ou por imersão, em duas demãos. Secagem entre demãos, de 2 a 3 horas.

Rendimento / Consumo



10 - 14 m²/demão

Embalagens



Bilhas de 5 L e 20 L.

Armazenagem



Conservar em embalagem hermeticamente fechada, em ambiente seco e de temperatura amena

Transporte



Consultar Ficha de Segurança Ref.º 405
ADR/RPE: Isento

Revisão: 3

Data: Setembro 2009 - Edição: 2009

Os nossos serviços técnicos estão à inteira disposição para esclarecimento de dúvidas ou outras informações.



MATESICA - Av. Salgueiro Maia, 949 - Alameda - 2785-502 S. Domingos de Rana - Portugal

Tel.: +351.21.4448400 Fax: +351.21.4440152 e-mail: matesica@matesica.com

7.3 Acrosil Ref.ª 409 e 410

**Vernizes Hidro-repelentes e Impermeabilizantes
Para Protecção de Superfícies**
Tecnológico, Inc. nº 226/1994 - Caracterização dos produtos de referência
para estes produtos Acrosil Ref.ª 409 e 410

Características

Produto à base de copolímeros acrílicos e silicones, em dispersão aquosa.

- Elevada hidro-repelência
- Conglomeração das superfícies
- Elevada penetração capilar

- Permeabilidade ao vapor de água
- Boa resistência à luz solar
- Pigmentado Opaco Ref.ª 409 e Incolor Ref.ª 410
- Cores Ref.ª 409, conforme catálogo

Parâmetros técnicos

Ref.ª 409

- Massa volúmica (MTE.4, 20 °C): 1.040 - 1.100 g/cm³
- pH (MTE.3, 20 °C): 11.0 - 13.0
- Compostos Orgânicos Voláteis (VOC): Valor limite da UE p/ o produto (A/c): 40 g/l (2010). Este produto contém no máximo: 1,0 g/l COV.

Ref.ª 410

- Massa volúmica (MTE. 4, 20 °C): 1.000 - 1.025 g/cm³
- pH (MTE.3, 20 °C): 10.5 - 13.0
- Compostos Orgânicos Voláteis (VOC): Valor limite da UE p/ o produto (A/c): 40 g/l (2010). Este produto contém no máximo: 11,0 g/l COV.

Campo de aplicação

- Em superfícies inclinadas sobre materiais porosos e expostos ao tempo, tais como: betão, telhas de fibrocimento, hidráulicas, cerâmicas, etc.

- Como protecção final de pinturas, especialmente quando expostas a fortes ambientes marítimos.

Métodos de aplicação

Preparação das superfícies

Deverão ser previamente tratadas recorrendo, se necessário, a uma lavagem apropriada, a fim de eliminar manchas de fungos ou musgos, escorridos, calcários, leitadas de cimento, gorduras, pó, etc.

Aplicação

Aplica-se com trincha, rolo ou por projecção, em duas demãos, a primeira das quais diluída com 20% de água e, a segunda, puro ou ligeiramente diluído. Esta 2.ª demão, deverá ser aplicada na fase final de secagem da 1.ª demão, enquanto esta se apresentar com forte pegajosidade.

Condições de aplicação

A aplicação não deve ser feita quando a temperatura do ar for inferior a 5 °C ou superior a 30 °C, e existam ou se preveja existir condições de chuva ou orvalho nas 8 horas subsequentes à aplicação.

Tratando-se de um produto cujo princípio de funcionamento, se baseia na capacidade de absorção das superfícies, estas deverão encontrar-se sempre bem secas.

Limpeza de utensílios

Lavagem com água.

Tempo de secagem

Em condições normais de temperatura e humidade, será de 5 a 6 horas.

Rendimento / Consumo

O rendimento variará, conforme a rugosidade e a absorção da superfície a tratar, entre 6 e 8 m²/l, nas duas demãos.

Embalagens

Bilhas de 1 L, 5 L e 20 L.

Armazenagem

Conservar em embalagem hermeticamente fechada, em ambiente seco e de temperatura amena.

Transporte

Consultar Ficha de Segurança Ref.º 409 e 410

ADR/RID: isentos

Obras de referência

- Estado Maior da Força Aérea Portuguesa em Alfragide
- Sede da Fundação Calouste Gulbenkian em Lisboa Branca
- Estado Maior da Força Aérea Portuguesa em Alfragide

- IFADAP em Faro
- Colónia Balnear da Casa Pia de Lisboa na Areia



Estado Maior da Força Aérea Portuguesa em Alfragide

Revisão: 3

Data: Setembro: 2009 - Edição: 2009

Os nossos serviços técnicos estão à inteira disposição para esclarecimento de dúvidas ou outras informações.



MATESICA - Av. Salgueiro Maia, 949 - Abóboda - 2785-502 S. Domingos de Rana - Portugal
Tel.: +351.21.4448400 Fax: +351.21.4440152 e-mail: matesica@matesica.com



Informação Técnica

HEMPEL'S SILICONE 06910

Descrição: HEMPEL'S SILICONE 06910 é uma solução de um polissiloxano em hidrocarbonetos alifáticos.

Uso recomendado: Hidrofugante, repelente da água, na protecção de fachadas e paredes exteriores de betão, reboco, fibrocimento, pedra, elementos cerâmicos porosos e juntas de argamassa de cimento.

Apresenta as seguintes características técnicas:

- Repele a água líquida por tensão superficial, impedindo a sua penetração nos materiais de construção.
- Excelente penetração em substratos porosos.
- Não forma película nem sela a porosidade do material de base.
- Transpirável ao vapor de água, permitindo a respiração do suporte.
- Boa resistência à intempérie: luz solar, chuva e contaminantes atmosféricos.
- Aumenta a resistência à formação de manchas salitrosas.
- Não modifica a cor nem o aspecto do material de base, uma vez seco, é invisível.
- Retarda acumulação de sujidades no suporte.

CONSTANTES FÍSICAS

Cores / N^o de Cor: Incolor / 00000
Acabamento: Transparente
Volume de sólidos, %: 8 ± 2
Rendimento teórico: Ver OBSERVAÇÕES
Ponto de Inflamação: 38°C
Massa volúmica: 0,8 kg/litro
Secagem ao tacto: 30 minutos a 20°C
COV: <750 g/litro

Nota: Os valores das constantes físicas são dados nominais de acordo com as fórmulas aprovadas pelo grupo HEMPEL. Poderão variar de acordo com as tolerâncias normais de fabrico, casos em que tal será assinalado, estando os desvios padrão sempre dentro do estipulado pela norma ISO 3534-1. Para maior detalhe consulte nas NOTAS EXPLICATIVAS do Livro Técnico HEMPEL.

PORMENORES DE APLICAÇÃO

Método de aplicação:	Trincha / Rolo	Pistola Convencional / Pulverizador
Diluinte (vol. max.):	Não diluir	Não diluir
Limpeza de ferramentas:	THINNER 08230	
Espessura do filme, seca:	Não relevante	
Espessura do filme, húmida:	Não relevante	
Intervalo de recobrimento, min:	24 horas (20°C)	
Intervalo de recobrimento, max:	Não tem	

Segurança: Manusear com cuidado. Antes e durante a utilização, ler e observar as recomendações dos rótulos das embalagens, consultar as fichas de segurança e seguir a regulamentação local ou nacional relativa a segurança. Não ingerir, e evitar a inalação de vapores de solventes e de outros componentes da tinta, bem como o contacto com a pele e os olhos. Devem sempre ser tomadas precauções contra o risco de incêndio ou explosão, bem como com a protecção do ambiente. Aplicar, unicamente em locais bem ventilados.

HEMPEL



HEMPEL'S SILICONE 06910

PREPARAÇÃO DE SUPERFÍCIE:	Betão (curado e seco – mín. 28 dias) Eliminar a leitada de cimento e eventuais eflorações com jacto de água e abrasivo ou jacto de água a alta pressão (200 Kg/cm ² aprox.). No caso de uso de abrasivo, eliminar resíduos com água limpa. Deixar secar completamente. Reboco (curado e seco), pedra, etc. Remover partículas soltas e eliminar poeiras. RESTAURO E MANUTENÇÃO Superfícies envelhecidas e por pintar Remover partículas soltas e eliminar poeiras.
CONDIÇÕES DE APLICAÇÃO:	A superfície deve estar completamente seca para possibilitar a melhor penetração possível. Por isso, recomenda-se a execução do trabalho com a humidade relativa o mais baixa possível. No caso de aplicação à pistola, a pressão do bico durante a aplicação deverá ser no máximo 0,5 bares, para evitar atomização.
APLICAÇÃO:	Não aplicar sobre superfícies pintadas. Para assegurar uma impregnação em profundidade, dependendo da porosidade e capacidade de absorção do substrato, pode ser necessário tratar a superfície por 2-3 vezes. Deixar a demão anterior secar antes da aplicação seguinte.
OBSERVAÇÕES:	Rendimento: HEMPEL'S SILICONE 06910 é utilizado para saturação de superfícies absorventes. Por esta razão não tem significado calcular um valor para o rendimento teórico. Para fins práticos, indica-se um valor de aprox. 4 m ² /litro, por demão. Para superfícies mais porosas o rendimento será mais baixo e para superfícies mais densas será mais elevado. Aparência: A cor de algumas superfícies poderá ser realçada devido ao aspecto "molhado" característico deste tipo de tratamento. Precauções: Proteger adequadamente os olhos e a pele. Usar óculos de protecção, luvas e vestuário apropriado. No caso de salpicos, lavar de imediato com água. Proteger as superfícies anexas as zonas de pintura, especialmente vidros, alumínio, poliestireno expandido, borracha sintética, etc. Embalagens: Preservar as embalagens de temperaturas negativas e da exposição directa ao sol. Nota: HEMPEL'S SILICONE 06910 destina-se unicamente a uso profissional. HEMPEL (Portugal) Lda.

Esta informação técnica anula as previamente emitidas. Para definição e âmbito, consultar as notas explicativas das informações técnicas de produtos.

Os dados, especificações, directivas e recomendações apresentadas representam apenas o resultado de testes ou experiência obtida em condições bem definidas e controladas. O seu rigor, complementaridade e adequabilidade a quaisquer outras condições de utilização dos produtos são de exclusiva responsabilidade do Comprador e/ou Utilizador. A forma de entrega dos produtos e a assistência técnica estão definidas nas CONDIÇÕES GERAIS DE VENDA, ENTREGA e ASSISTÊNCIA da Hempel, salvo se diferentemente acordadas pelo Vendedor, por escrito. O Produtor e Vendedor não terá que assumir, e não assumirá, e o Comprador e/ou Utilizador renuncia a qualquer reclamação ou responsabilidade, incluindo mas não limitado a negligência, excepto conforme expresso nas CONDIÇÕES GERAIS por resultados, prejuízos directos ou indirectos, decorrentes do uso dos produtos conforme recomendados acima, no verso ou de qualquer outro modo. Estes dados podem ser alterados em qualquer momento, sem aviso prévio, e perdem efeito cinco anos após a data de emissão.

IMPERMIL ISOLANTE DE ÁGUA



LINHA AQUOSA

CARACTERÍSTICAS:

O Impermil Isolante de Água é um hidrófugo à base de Silício reativo em dispersão aquosa concebido para tornar as superfícies porosas resistentes à água, mantendo a sua ação por muito tempo. Destina-se ao tratamento e proteção de materiais porosos não vidrados, como tijoleira, telha, tijolo, mármore e outros pedras, betão, cerâmicas, fibrocimento, etc., tanto em interiores como em exteriores. Por ser transparente e sem brilho não altera o aspecto dos materiais.

APLICAÇÃO:

As superfícies devem estar limpas, sem gorduras, nem partículas soltas, e secas. Se existirem rachas ou fissuras é aconselhável tapá-las com massa adequada.

A aplicação deverá ser feita de preferência por pulverização, mas também pode ser aplicado com rolo ou tina.

Aplicar 2 ou 3 demãos, conforme a porosidade do material.

Caso se pretenda uma superfície brilhante, aplicar uma ósmo acrílica após o Impermil Isolante de Água estar bem seco.

OBSERVAÇÕES:

O Impermil Isolante de Água está pronto a aplicar, não deve ser diluído.

O material utilizado deverá ser lavado com água.

Produto de manipulação não perigoso. Fechar bem a embalagem após utilização.

Mantenha fora do alcance das crianças.

APRESENTAÇÃO:



Rendimento: até 20 m² por litro por demão
(conforme a porosidade do material)

Tempo de Secagem: 4 h
(dependendo das condições atmosféricas)

Anexo II - Resultados do ensaio de HMC

De seguida são apresentados os gráficos individuais do ensaio de HMC de cada família de provetes, que deram origem aos resultados apresentados na secção 3.3. As flutuações que se observam são devidas à flutuação das condições ambiente na câmara climática (Gonçalves 2007).

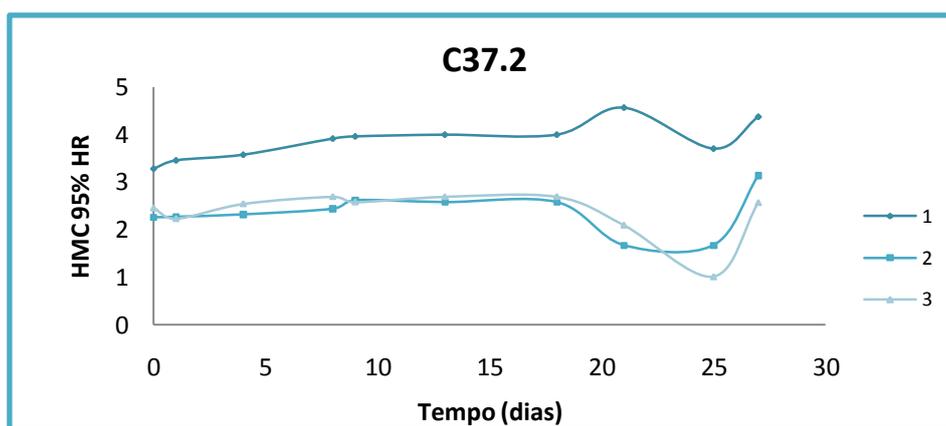


Figura II.1 – Teor de humidade higroscópica nas fracções do tijolo cerâmico antigo claro (alveolar)

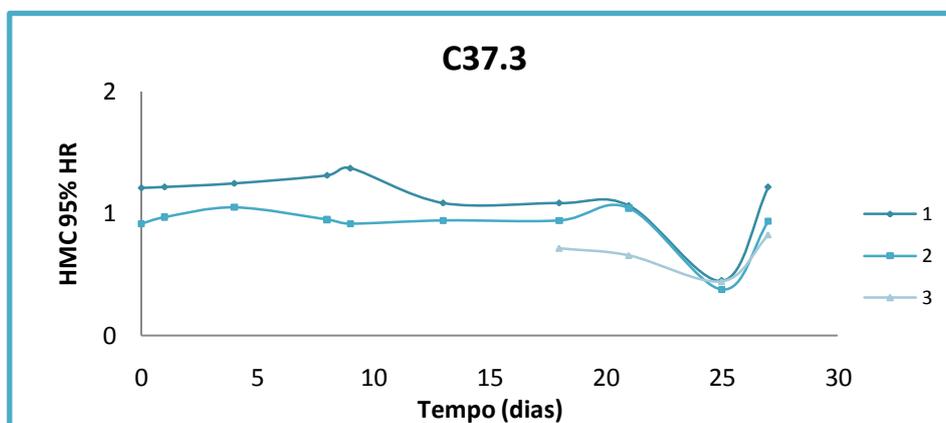


Figura II.2 – Teor de humidade higroscópica nas fracções do tijolo cerâmico antigo claro (alveolar)

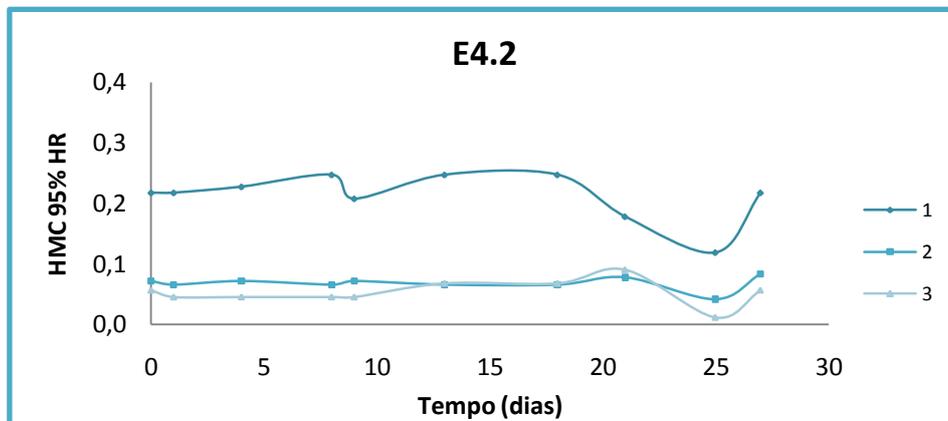


Figura II.3 – Teor de humidade higroscópica nas fracções do tijolo cerâmico antigo escuro (alveolar)

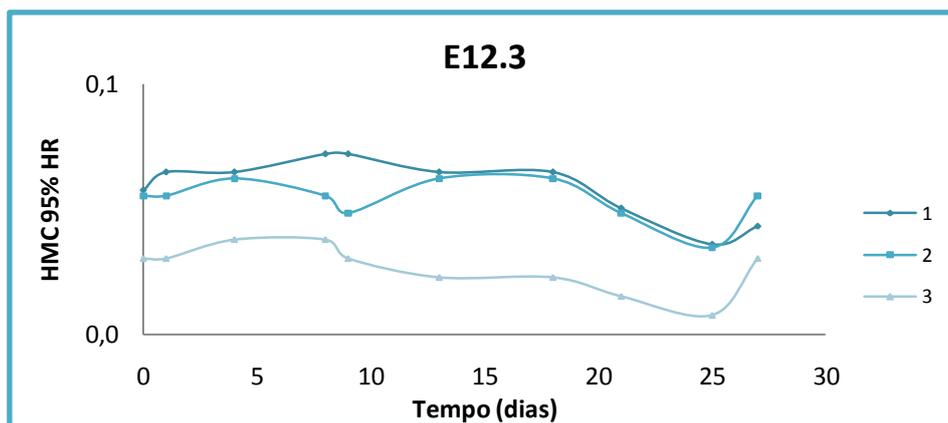


Figura II.4 – Teor de humidade higroscópica nas fracções do tijolo cerâmico antigo escuro (alveolar)

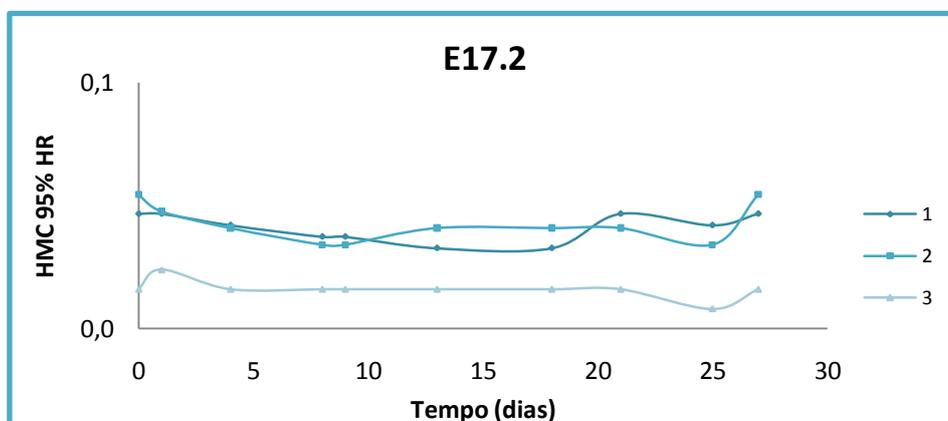


Figura II.5 – Teor de humidade higroscópica nas fracções do tijolo cerâmico antigo escuro (alveolar)

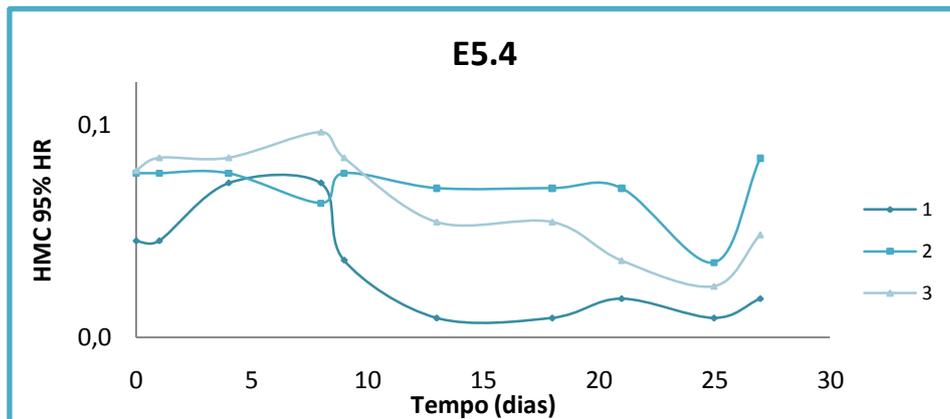


Figura II.6 – Teor de humidade higroscópica nas fracções do tijolo cerâmico antigo escuro (fissurado)

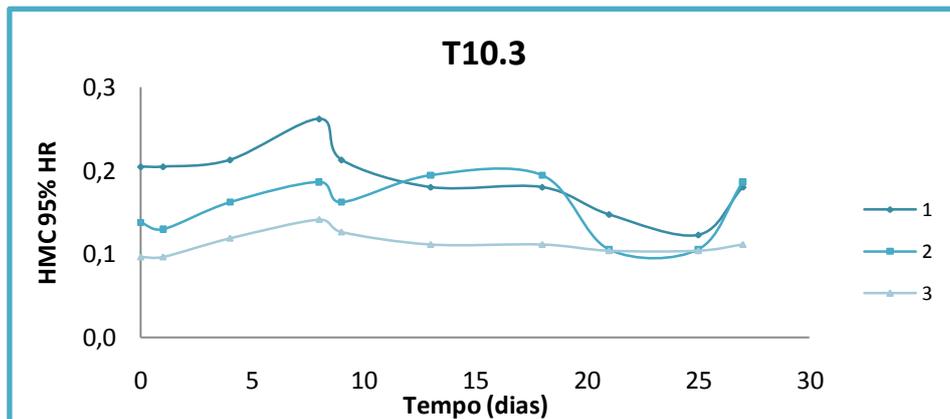


Figura II.7 – Teor de humidade higroscópica nas fracções do tijolo cerâmico novo do Torreense

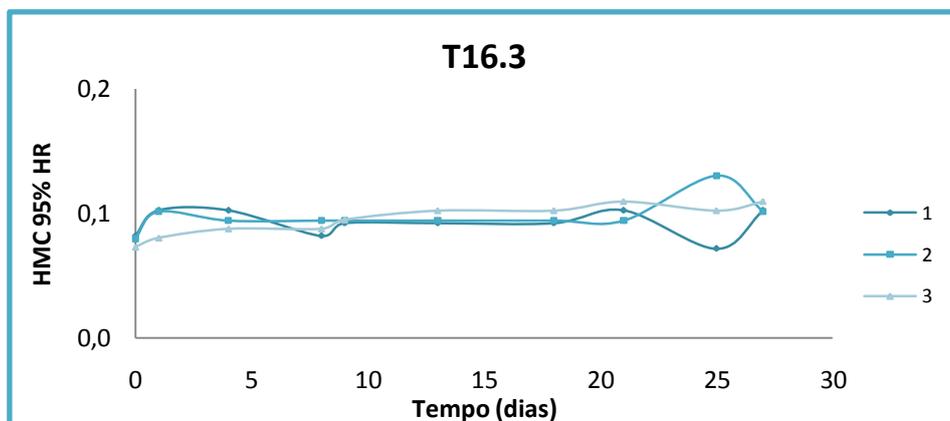


Figura II.8 – Teor de humidade higroscópica nas fracções do tijolo cerâmico novo do Torreense

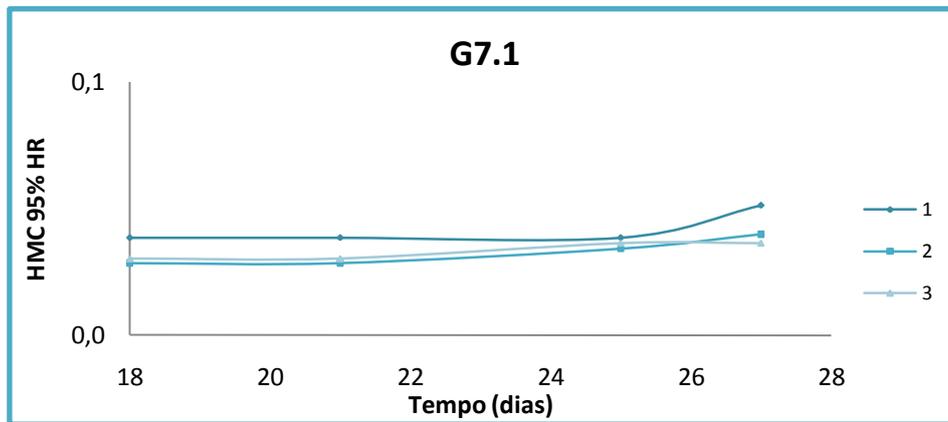


Figura II.9 – Teor de humidade higroscópica nas fracções do tijolo cerâmico novo de Vale de Gândara

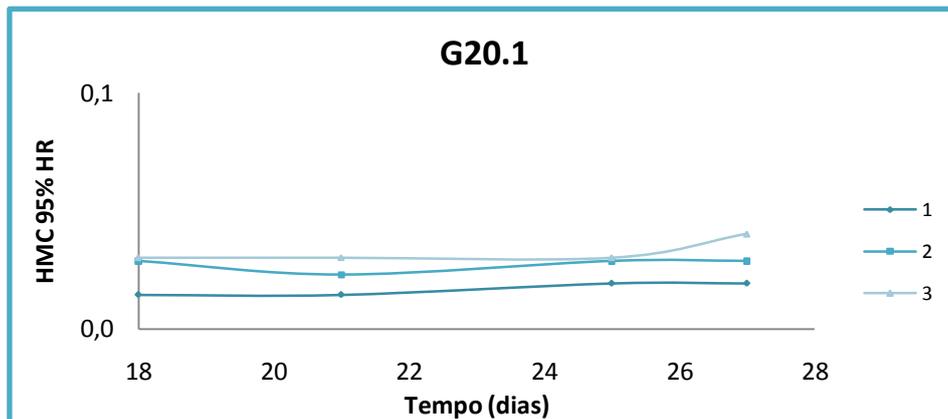


Figura II.10 – Teor de humidade higroscópica nas fracções do tijolo cerâmico novo de Vale de Gândara

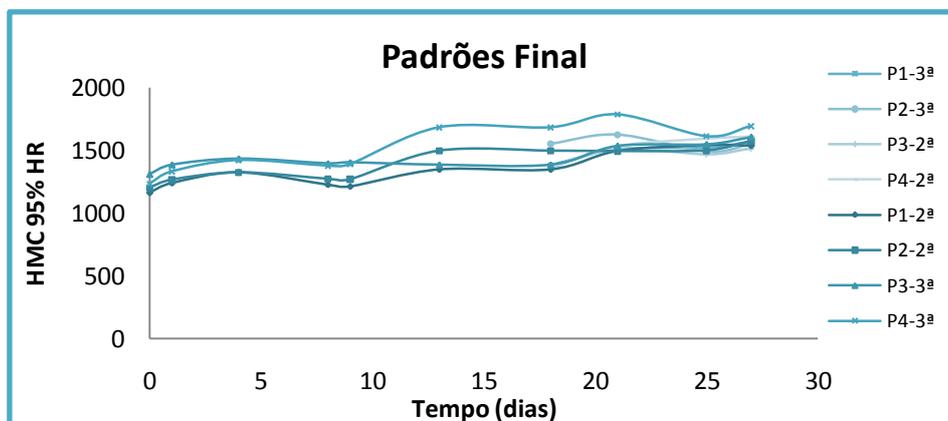


Figura II.11 – Teor de humidade higroscópica nas fracções das amostras padrões de NaCl

Anexo III – Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade

De seguida são apresentados os gráficos individuais de cada família de provetes, a escalas mais detalhadas do que a utilizada nos gráficos da secção 3.4.

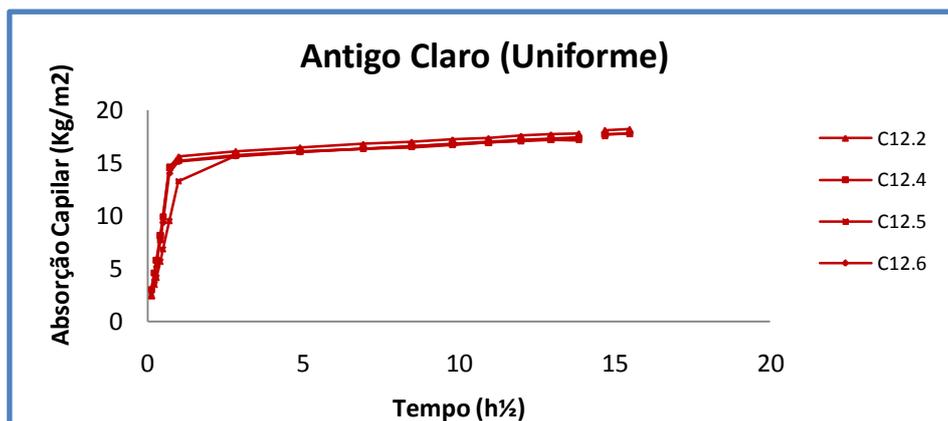


Figura III.1 – Absorção capilar do tijolo cerâmico antigo claro (uniforme)

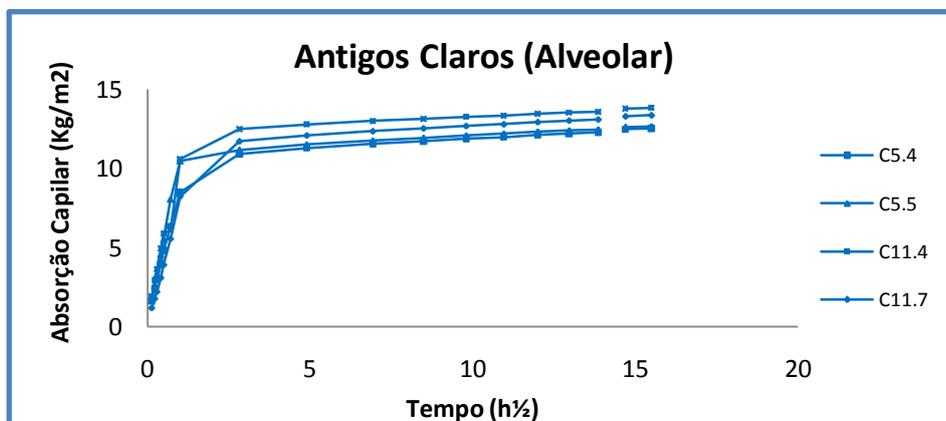


Figura III.2 – Absorção capilar do tijolo cerâmico antigo claro (alveolar)

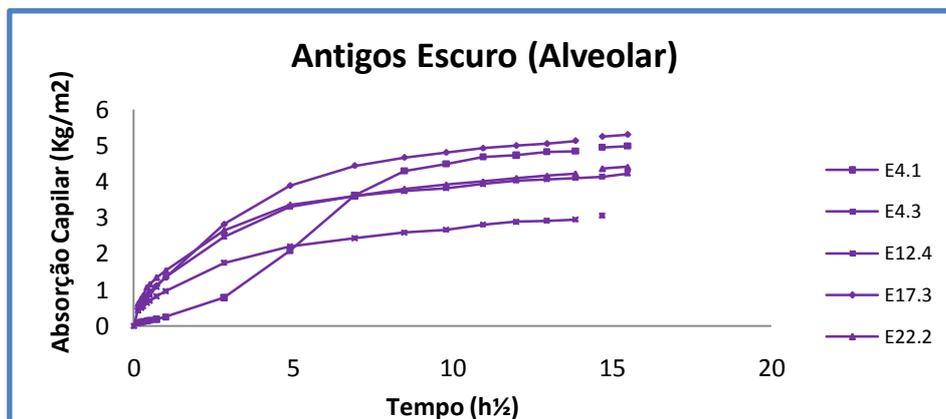


Figura III.3 – Absorção capilar do tijolo cerâmico antigo escuro (alveolar)

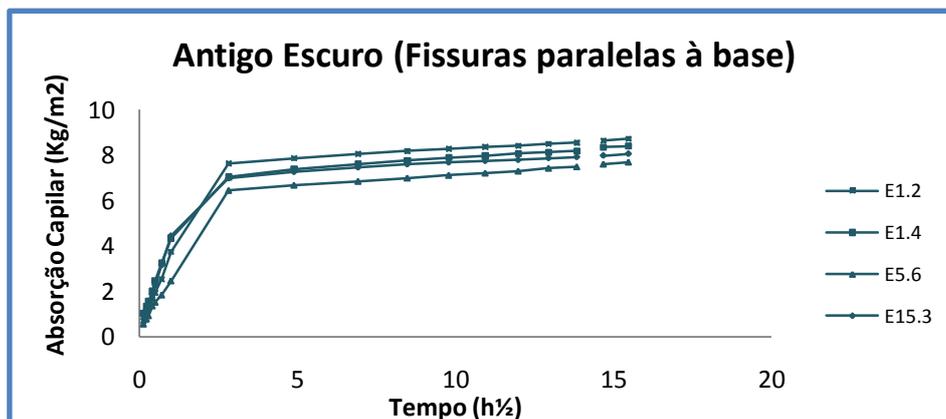


Figura III.4 – Absorção capilar do tijolo cerâmico antigo escuro (fissuras paralelas à base)

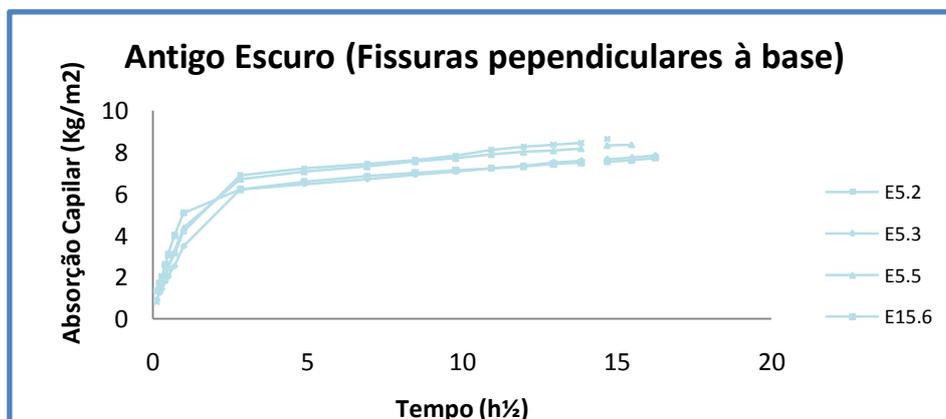


Figura III.5 – Absorção capilar do tijolo cerâmico antigo escuro (fissuras pependiculares à base)

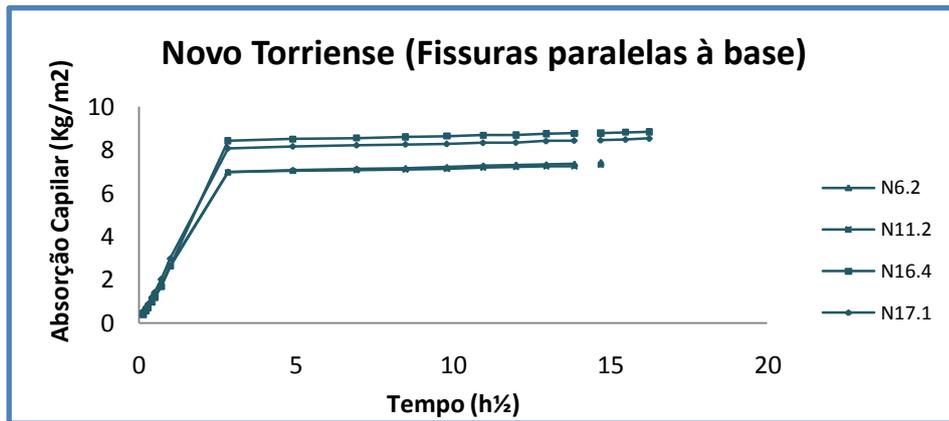


Figura III.6 – Absorção capilar do tijolo cerâmico novo do Torreense (fissuras paralelas à base)

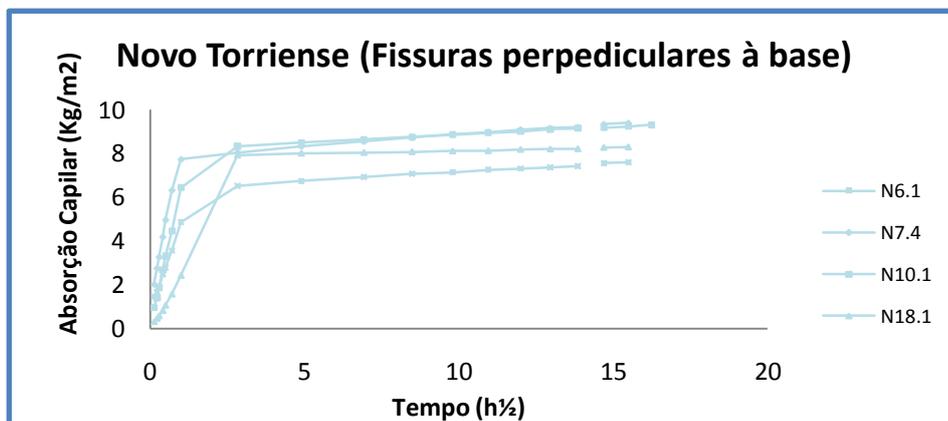


Figura III.7 – Absorção capilar do tijolo cerâmico novo do Torreense (fissuras perpediculares à base)

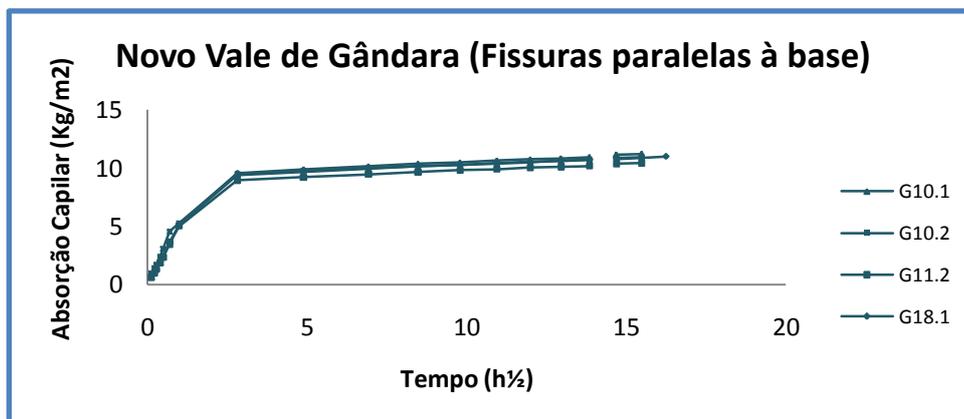


Figura III.8 – Absorção capilar do tijolo cerâmico novo de Vale de Gândara (fissuras paralelas à base)

Anexo IV – Resultados do ensaio de secagem

De seguida são apresentados os gráficos individuais de cada família de provetes, a escalas mais detalhadas do que a das figuras da secção 3.5.

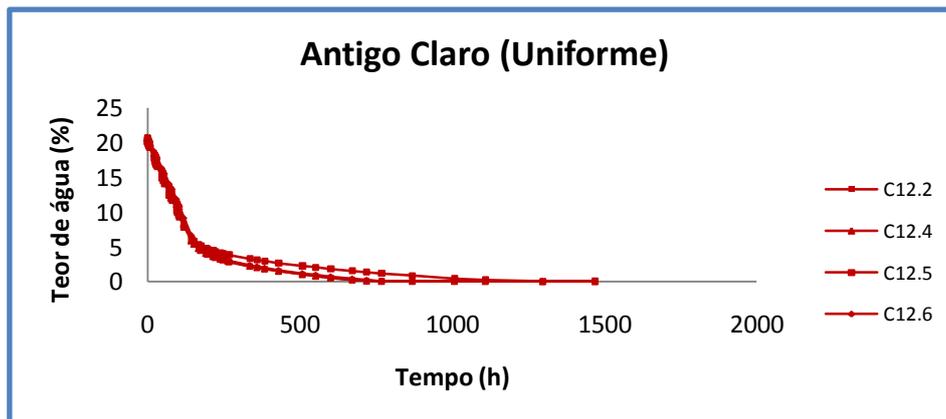


Figura IV.1 – Secagem do tijolo cerâmico antigo claro (uniforme)

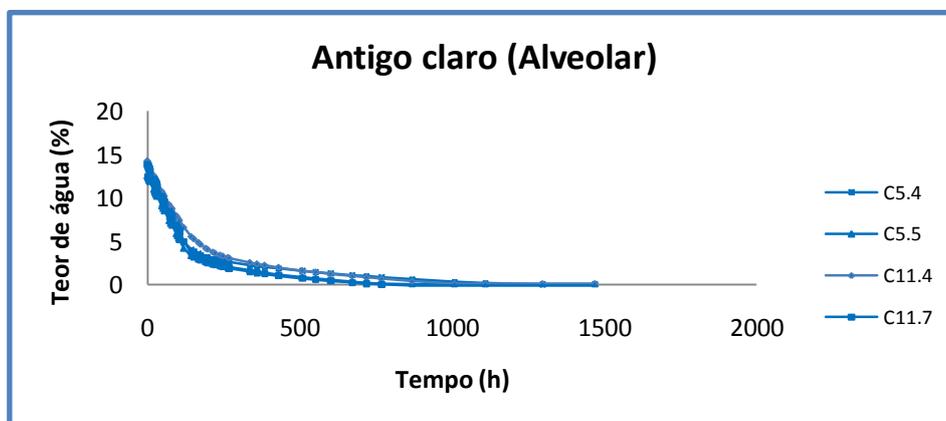


Figura IV.2 – Secagem do tijolo cerâmico antigo claro (alveolar)

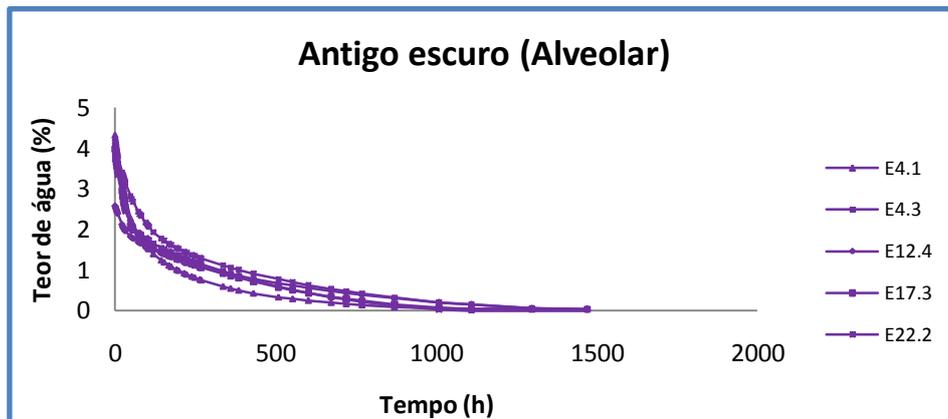


Figura IV.3 – Secagem do tijolo cerâmico antigo escuro (alveolar)

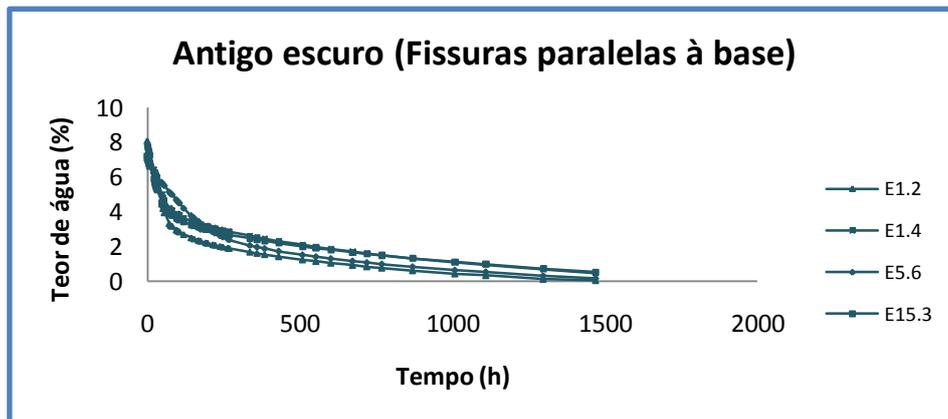


Figura IV.4 – Secagem do tijolo cerâmico antigo escuro (fissuras paralelas à base)

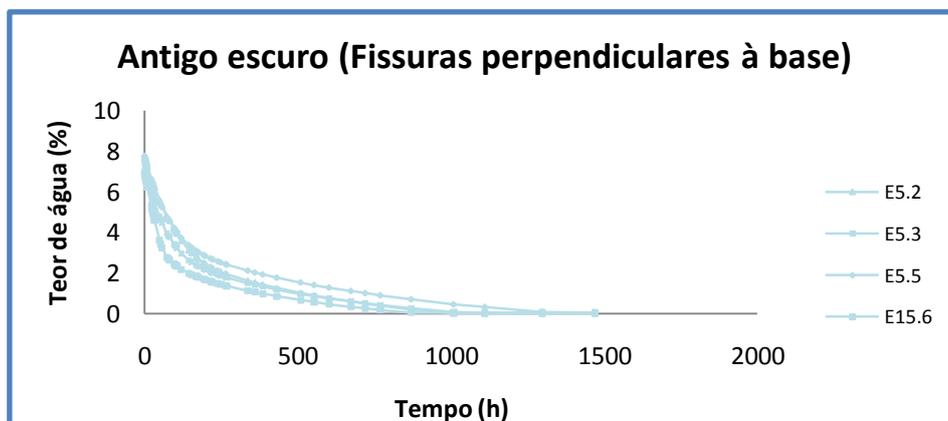


Figura IV.5 – Secagem do tijolo cerâmico antigo escuro (fissuras perpendiculares à base)

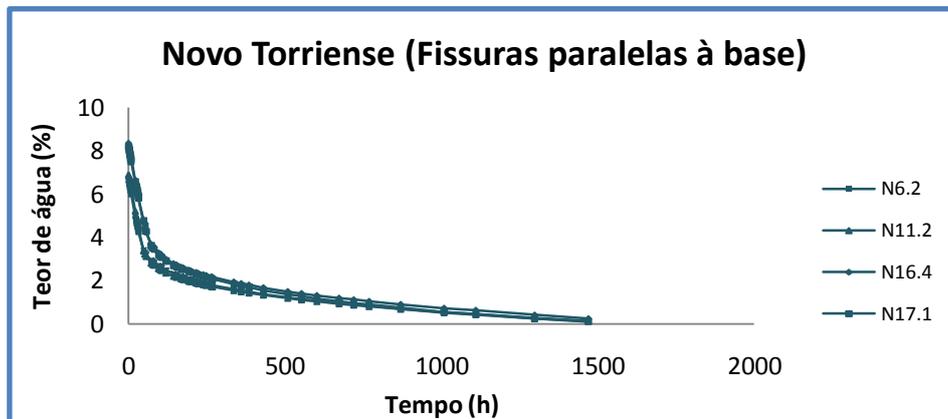


Figura IV.6 – Secagem do tijolo cerâmico novo do Torreense (fissuras paralelas à base)

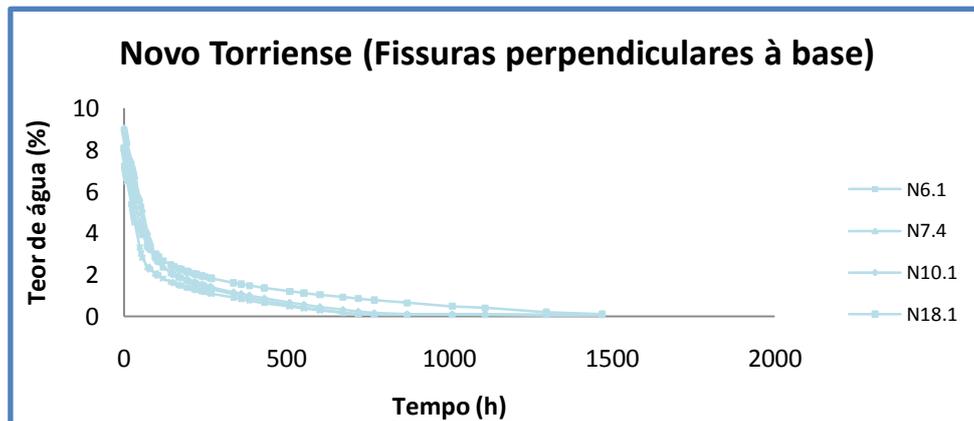


Figura IV.7 – Secagem do tijolo cerâmico novo do Torreense (fissuras perpendiculares à base)

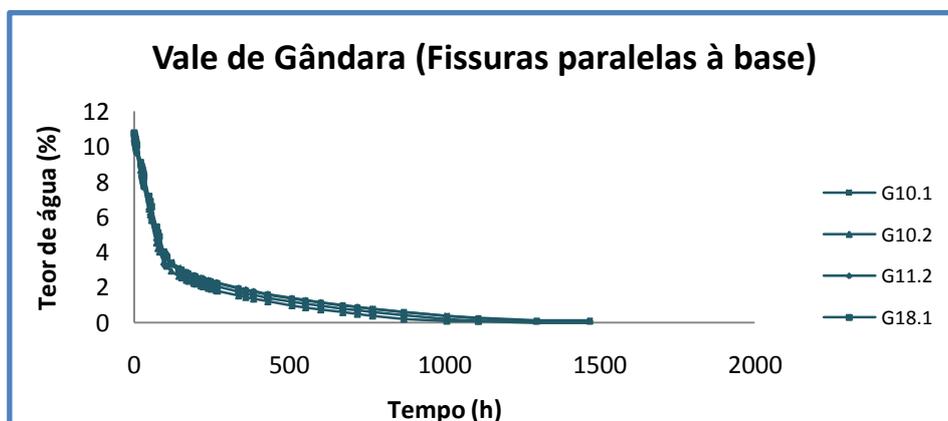


Figura IV.8 – Secagem do tijolo cerâmico novo de Vale de Gândara (fissuras paralelas à base)

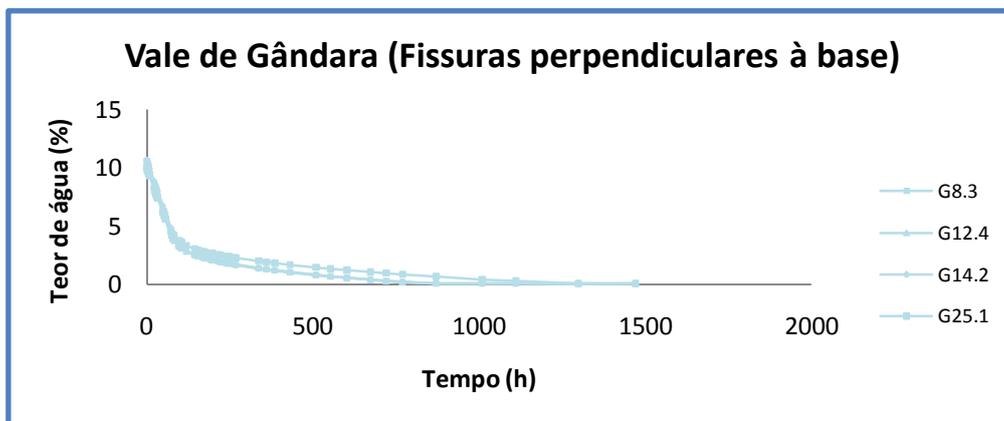


Figura IV.9 – Secagem do tijolo cerâmico novo de Vale de Gândara (fissuras perpendicular à base)

Anexo V – Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade em provetes hidrofugados

De seguida são apresentados os gráficos individuais de cada família de hidrófugos, numa escala mais adequada a cada um deles, de modo a facilitar a interpretação das interpretações dos resultados na secção 4.3.

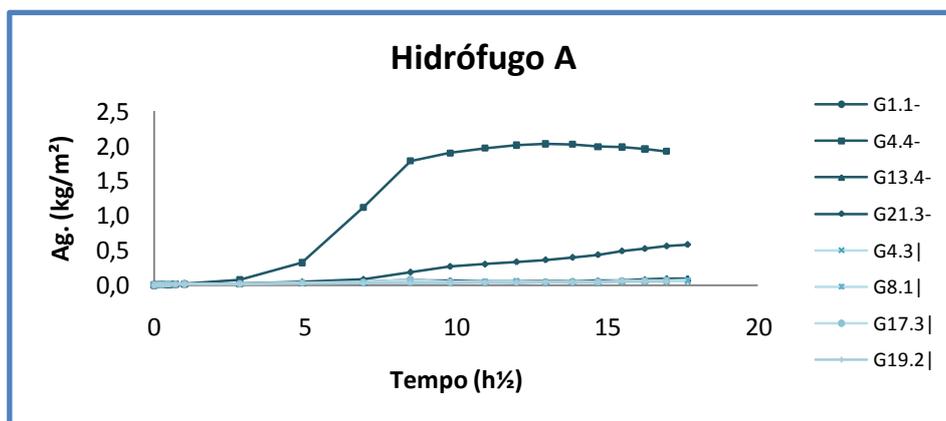


Figura V.1 – Absorção capilar do tijolo novo de Vale de Gândara com o hidrófugo A

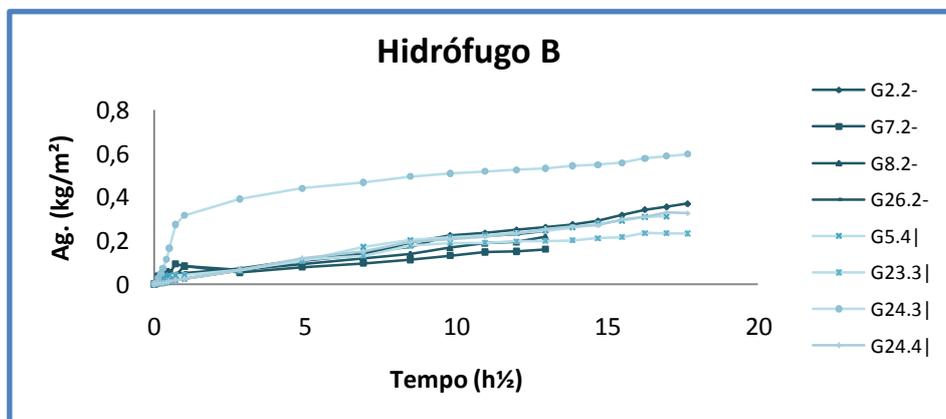


Figura V.2 – Absorção capilar do tijolo novo de Vale de Gândara com o hidrófugo B

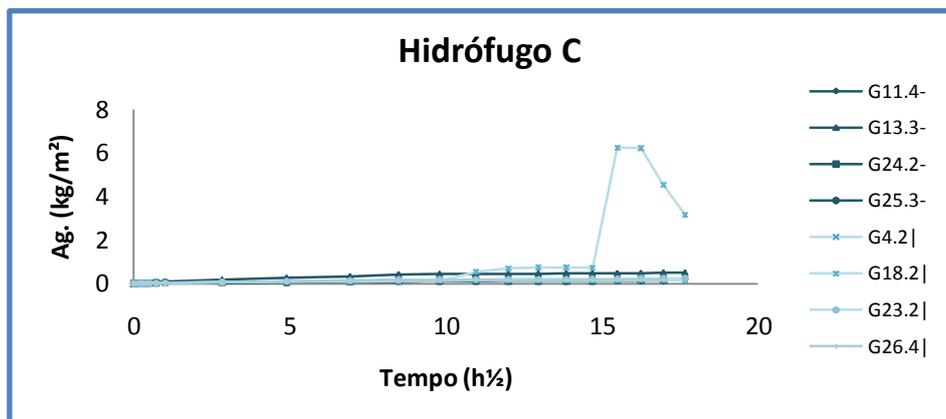


Figura V.3 – Absorção capilar do tijolo novo de Vale de Gândara com o hidrófugo C

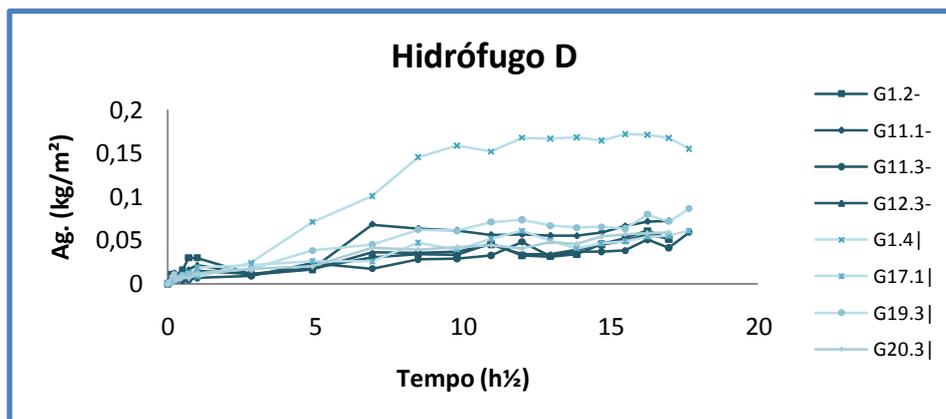


Figura V.4 – Absorção capilar do tijolo novo de Vale de Gândara com o hidrófugo D

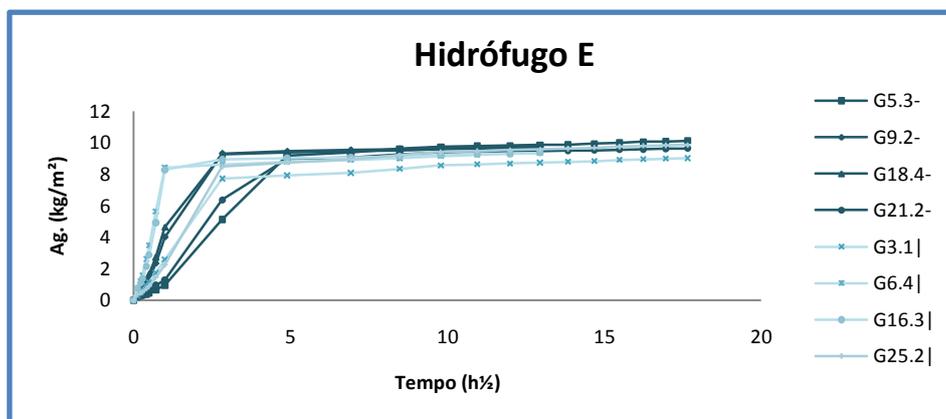


Figura V.5 – Absorção capilar do tijolo novo de Vale de Gândara com o hidrófugo E

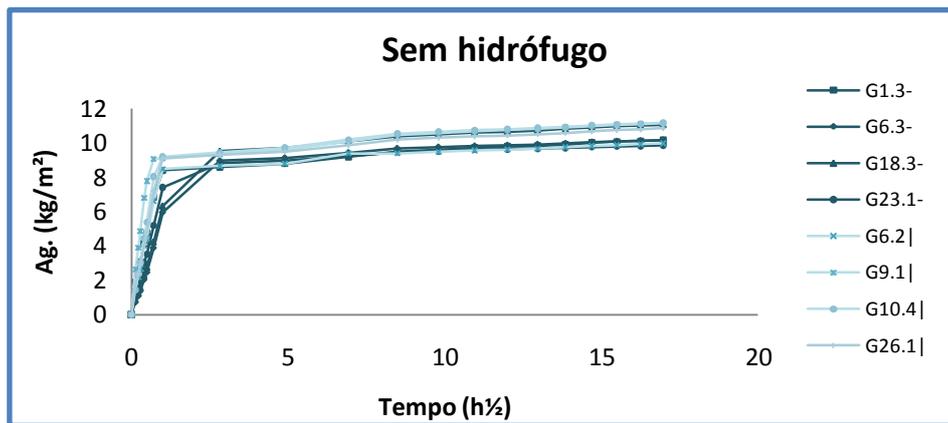


Figura V.6 – Absorção capilar do tijolo novo de Vale de Gândara sem hidrófugo

Anexo VI – Resultados do ensaio de secagem em provetes hidrofugados

De seguida são apresentados os gráficos individuais de cada família de hidrófugos, numa escala mais adequada a cada um deles, de modo a facilitar a interpretação das interpretações dos resultados na secção 4.4.

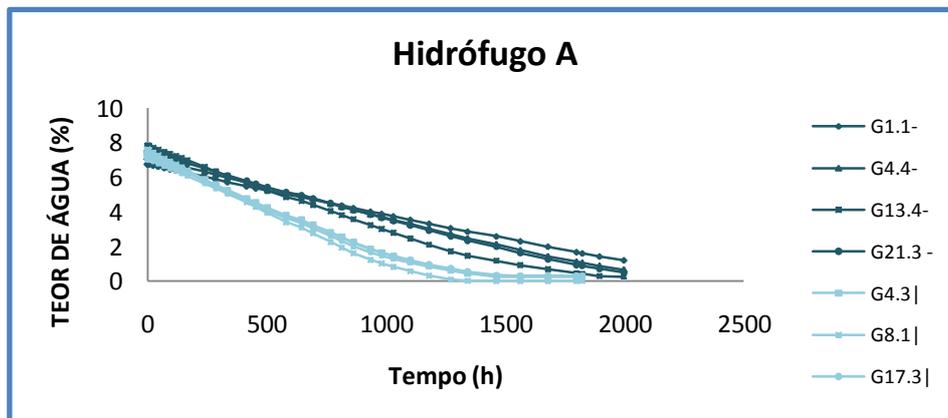


Figura VI.1 – Secagem do tijolo cerâmico novo com o hidrófugo A

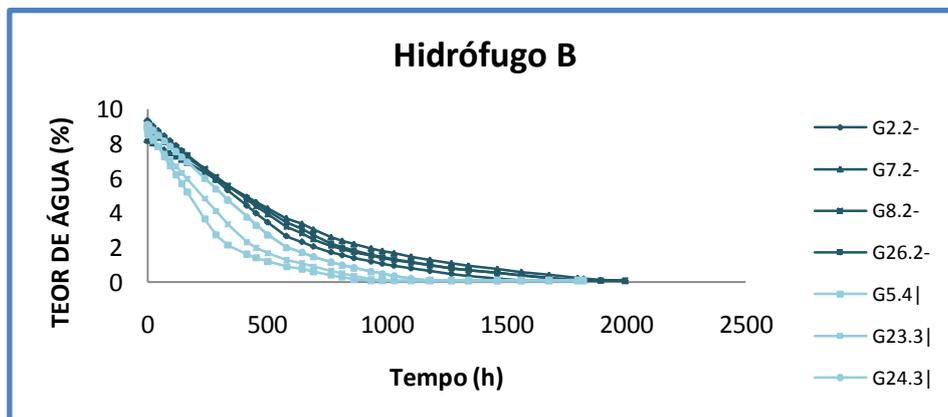


Figura VI.2 – Secagem do tijolo cerâmico novo com o hidrófugo B

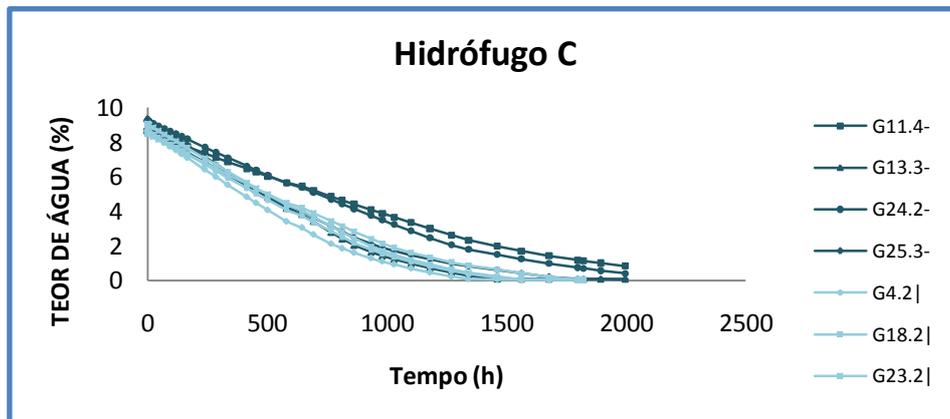


Figura VI.3 – Secagem do tijolo cerâmico novo com o hidrófugo C

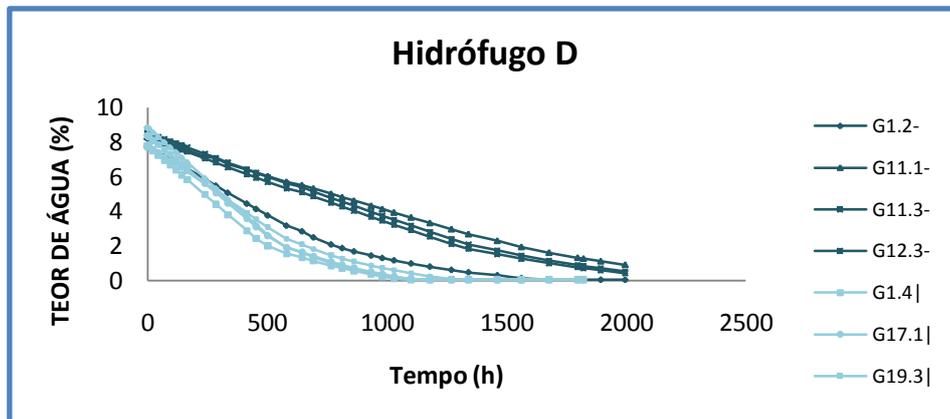


Figura VI.4 – Secagem do tijolo cerâmico novo com o hidrófugo D

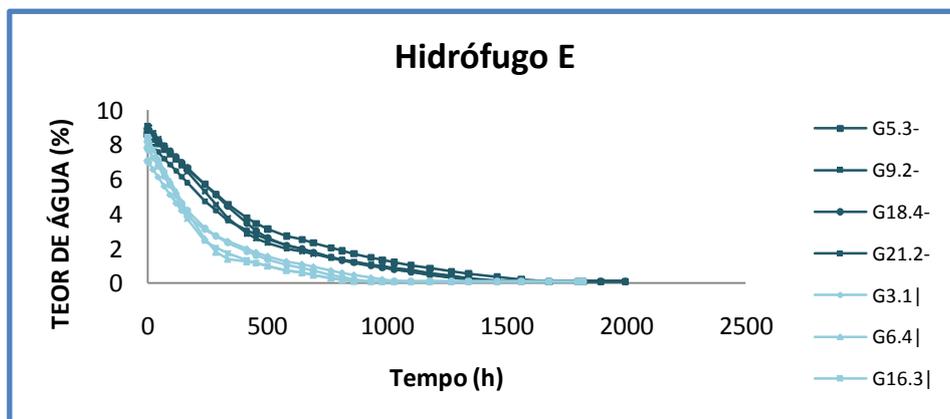


Figura VI.5 – Secagem do tijolo cerâmico novo com o hidrófugo E

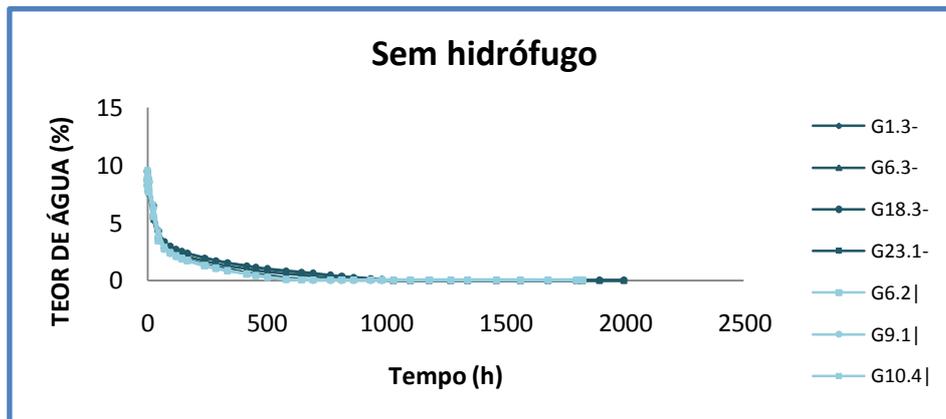


Figura VI.6 – Secagem do tijolo cerâmico sem hidrófugo