



Nuno Eduardo Fonseca Ramos Nunes Remédios

Licenciado em Ciências da Engenharia

Avaliação do desempenho de sistemas de acabamento de rebocos à base de cal para edifícios antigos

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

Orientador: Professora Doutora Maria Paulina Faria Rodrigues,
Professora Associada, Faculdade de Ciências e Tecnologia da
Universidade Nova de Lisboa

Co-orientador: Doutora Maria do Rosário da Silva Veiga, Investigadora,
Principal com Habilitação, Chefe do Núcleo de Revestimentos e
Isolamentos, LNEC

Júri:

Presidente: Fernando Farinha da Silva Pinho

Arguente(s): Inês Flores Barbosa Colen

Vogal(ais): Maria Paulina Faria Rodrigues

‘Copyright’ Nuno Eduardo Fonseca Ramos Nunes Remédios, FCT/UNL e UNL

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor

“Quem não sente a ânsia de ser mais, não chegará a ser nada.”

Fernando Pessoa

Ao meu querido avô Fausto Ramos

AGRADECIMENTOS

Com o término desta dissertação, gostaria de expressar os meus mais sinceros agradecimentos a todas as pessoas que contribuíram para a realização desta etapa:

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer à minha orientadora, Professora Doutora Paulina Faria, pelo acompanhamento, disponibilidade, orientação, ensinamentos dados, pelo interesse transmitido ao longo da elaboração da dissertação e pela prontidão nas respostas às minhas questões e dúvidas.

À Doutora Maria do Rosário da Silva Veiga, co-orientadora deste estudo, por todo o trabalho, conhecimentos partilhados e sugestões prestadas ao longo da escrita desta dissertação.

Seguidamente, gostaria de agradecer ao Engenheiro Vítor Silva, pelo acompanhamento, orientação e disponibilidade total na parte laboratorial e análise de dados realizada neste estudo. Sem passar em claro, toda a amizade e companheirismo demonstrado.

À empresa Fradical, pelo fornecimento de todo o material essencial para a realização deste estudo, bem como pela mão-de-obra na conceção dos provetes estudados.

Ao meu amigo Raúl Alves pelo apoio na parte laboratorial, nas discussões de resultados, por todas as conversas relacionadas com o tema e em especial pela sua amizade e acompanhamento nesta última fase académica.

Gostaria ainda de agradecer a toda a minha família e amigos próximos por todo o apoio prestado ao longo destes últimos meses. De destacar os meus pais que tornaram a minha vida académica possível em termos financeiros, para além de sempre me incentivarem a ultrapassar as diversas dificuldades existentes neste período e em toda a minha vida. Às minhas irmãs, cunhado e afilhado por me apoiarem sempre e em todos os momentos menos bons provocados por esta fase.

Por fim, mas não menos importante, gostaria de agradecer à minha namorada, Ana, por todo o apoio, motivação e disponibilidade prestada nesta fase e em momentos importantes da minha vida.

RESUMO

A descoberta e utilização da cal como material de construção data de há milénios atrás, existindo como prova desse uso inúmeras construções antigas que apresentam alvenarias, revestimentos e acabamentos de paredes com cal. Embora seja um material que foi utilizado durante muito tempo, verificou-se um declínio da sua importância e do seu uso. Isto conduziu à desaprendizagem dos conhecimentos adquiridos, o que originou intervenções de má qualidade em construções em que a cal estava presente. Nas últimas décadas, tem-se verificado um enorme esforço no sentido de alterar estes acontecimentos. Neste sentido, a presente dissertação pretende avaliar o comportamento de diversos sistemas de acabamento que podem ser aplicados para proteção de rebocos de paredes com base em cal. De referir que as camadas de acabamento são os elementos construtivos mais expostos das paredes e mais sujeitos a degradações sendo, ainda, fundamentais para a aparência estética dos edifícios.

Mais especificamente, este estudo tem por finalidade aferir as características e a adequabilidade de vários sistemas de acabamento à base de cal aérea, aplicados de formas distintas sobre rebocos de alvenarias antigas, também à base de cal aérea, em comparação com sistemas de acabamento por pintura com tintas acrílica ou de silicatos correntes. A influência que diferentes tipos de revestimentos de paredes podem ter sobre o desempenho da parede é avaliada tendo em conta as observações e resultados de ensaios em provetes de laboratório. O estudo destaca as vantagens e os inconvenientes estéticos e técnicos dos diferentes sistemas e modos de aplicação analisados.

Conclui-se que a aplicação de diferentes sistemas de acabamento ou a sua aplicação sobre substratos frescos ou secos pode conferir ao sistema final de revestimento um comportamento distinto em relação ao transporte de água. Conseguiu-se obter resultados satisfatórios em alguns sistemas de acabamento, garantindo que possuem um coeficiente de capilaridade reduzido e taxas de secagem elevadas, permitindo, assim, a sua aplicação em paredes com alto teor de humidade proveniente de ascensão capilar ou de outras fontes. Constata-se, também, a grande importância que distintos acabamentos possuem na conservação da parede no que se refere ao desgaste provocado por agentes externos.

Palavras-chave: sistema de acabamento; argamassa de cal aérea; sistema de pintura; caracterização experimental; transporte de água; desgaste

ABSTRACT

The discovery and use of air lime as a building material dates back millennium ago, and as proof of that use, numerous old buildings still have masonry and wall coatings (plasters, renders and finishing coatings) made with lime. Although it is a material that has been used for a long time, there was a decline in its importance and use. This led to the unlearning of the knowledge acquired, resulting in poor quality interventions in buildings that have lime. In the last decades, there has been a huge effort to change these events.

In this master's dissertation it is intended to evaluate the behavior of various finishing systems that can be applied for protection of wall plasters and renders based on lime. It should be noted that the finishing layers are the more exposed constructive elements of walls and more subject to degradation, being also crucial to the aesthetic appearance of buildings.

More specifically, this study aims to assess the characteristics and the suitability of the various finishing systems based on lime, applied in different ways on lime-based plaster/renders of ancient masonry, in comparison with finishing systems with acrylic or silicate paints. The influence that different types of wall coating systems may have on the performance of the wall is assessed having regard to the observations and results of tests on laboratory specimens. The study highlights the aesthetic and technical advantages and disadvantages of the different systems, also bearing in mind the application modes (fresh or after drying of the underlayer).

It is concluded that the application of different finishing systems or its application on fresh or dried give the final coating system a distinct behavior in relation to water transport. Satisfactory results could be obtained with some systems, ensuring that they provide reduced capillarity and high drying rates to the wall, thus allowing its application in walls with high content of moisture from rising damp or other sources. Different finishes have also important contribution on the conservation of the wall with regard to wear caused by external agents.

KEYWORDS: finishing coat; air lime mortar; paint system; experimental characterisation; water transport; wear

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Enquadramento	1
1.2	Objetivos e metodologia	2
1.3	Estrutura e organização do texto	2
2	MATERIAIS E ACABAMENTOS PARA REBOCOS.....	3
2.1	Enquadramento	3
2.2	Cal aérea.....	3
2.3	Massa de estuque.....	5
2.4	Barramento	5
2.5	Tintas de silicatos e acrílicas	5
2.5.1	Tintas de silicatos	6
2.5.2	Tintas acrílicas.....	7
3	CAMPANHA EXPERIMENTAL.....	9
3.1	Enquadramento	9
3.2	Materiais utilizados	9
3.3	Faseamento da campanha experimental	10
3.3.1	Conceção de provetes base.....	10
3.3.2	Aplicação dos sistemas de acabamentos	10
3.4	Ensaio realizados.....	13
3.4.1	Avaliação da textura e fissuração por observação visual e binocular.....	14
3.4.2	Dureza superficial	14
3.4.3	Absorção capilar de água pelo suporte	15
3.4.4	Secagem através da superfície de acabamento	16
3.4.5	Permeabilidade ao vapor de água.....	17
3.4.6	Absorção de água sob baixa pressão	19
3.4.7	Erosão por desgaste a seco.....	19
3.4.8	Coesão superficial	20
3.4.9	Aderência.....	21
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
4.1	Enquadramento	23
4.2	Avaliação da fissuração, textura e aspeto estético	23
4.3	Dureza superficial	24
4.4	Absorção de água por capilaridade	25

4.5	Secagem	27
4.6	Permeabilidade ao vapor de água	29
4.7	Absorção de água a baixa pressão	30
4.8	Erosão por desgaste a seco	32
4.9	Coesão superficial	33
4.10	Aderência	34
4.11	Síntese de resultados	36
5	CONCLUSÃO	41
5.1	Considerações finais.....	41
5.2	Propostas para estudos futuros	42
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
	ANEXO I – Valores individuais dos ensaios realizados e cálculos auxiliares	A.11
	ANEXO II – Artigo em conferência internacional	A.II1

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Processo de secagem e endurecimento de tintas acrílicas.....	8
Figura 3.1 – Fases de execução dos provetes base: (a) argamassas de reboco e emboço com respetivos utensílios (taloça de plástico e colher de pedreiro); (b) provetes de argamassa R e ladrilho L ; (c) provetes de argamassa R e E durante a secagem.....	10
Figura 3.2 – Aplicação a rolo da massa de estuque areada Ma aos provetes de argmassa R .	11
Figura 3.3 – Aplicação à brocha da massa de barramento B aos provetes de argamassa R ...	11
Figura 3.4 –Aplicação à brocha da tinta de silicatos aos provetes de argamassa R	12
Figura 3.5 – Aplicação a rolo da tinta plástica aos provetes de argamassa R	12
Figura 3.6 –Aplicação da massa areada Ma com esponja (a); aplicação à brocha de barramento B (b); nos mesmos provetes com um intervalo de 30 minutos	12
Figura 3.7 – Lupa binocular CS-100	14
Figura 3.8 – Durómetro Shore A em ensaio em curso	14
Figura 3.9 – Ensaio de absorção de água por capilaridade pelo suporte e esquema representativo	15
Figura 3.10 – Curva de absorção de água com segmento recto para cálculo do coeficiente de capilaridade.....	16
Figura 3.11 –Curvas relativas à primeira (a) e segunda (b) fases da secagem e segmentos rectos para cálculo das respectivas taxas de secagem	17
Figura 3.12 – Preparação de amostras para ensaio de permeabilidade ao vapor de água: (a) impermeabilização com cera líquida; (b) corte da secção útil de 130 x 130mm na tampa do recipiente de ensaio; (c) colocação do mastique no provete, deixando como área útil a secção das tampas; (d) provetes colados às tampas.....	18
Figura 3.13 – Provetes na câmara climática.....	18
Figura 3.14 – Realização do ensaio de absorção de água a baixa pressão	19
Figura 3.15 – Equipamento e ensaio de erosão por desgaste a seco.....	20
Figura 3.16 – Três tipos de escovas para o ensaio de erosão por desgaste a seco; foi utilizada a escova da direita	20
Figura 3.17 – Fita-cola Tesa Extra Power utilizada no ensaio de coesão superficial (a); peso de 5kg e quadrado de policloropreno (b); permanência do peso sobre a fita-cola (c)	21
Figura 3.18 – Ensaio de pull-off: (a) e (b) provete em furação e broca oca com Φ 50mm; (c) provete a ser ensaiado no equipamento de tração	21
Figura 4.1 – Microfissuração ocorrida nas superfícies de acabamento: (a) provete RsMa1 – microfissura com 0,05mm; (b) provete RsMa3 – microfissura com 0,1mm; (c) provete RfMa1 – microfissura com 0,05mm; (d) provete RfMa3 – microfissura com 0,05mm	23
Figura 4.2 – Aspeto estético dos sistemas: (a) descoloração do sistema com aplicação a fresco de barramento RfB ; (b) cor na periferia do sistema de tinta de silicatos RsTs	24

Figura 4.3 –Valores de dureza superficial.....	24
Figura 4.4 – Curvas de absorção capilar a partir do ladrilho, comparativamente com as de referência: (a) sistemas com massa areada sobre reboco seco e fresco, RsMa e RfMa ; (b) sistemas com pintura com tintas de silicatos e plástica sobre reboco seco, RsTs e RsTp ; (c) sistemas com barramento sobre reboco seco e fresco, RsB e RfB ; (d) sistemas com massa areada e barramento sobre emboço seco e fresco, EsMaB e EfMaB	25
Figura 4.5 – Coeficiente de capilaridade.....	26
Figura 4.6 – Curvas de secagem em ordem ao tempo (esquerda) e à raiz quadrada do tempo (direita), comparativamente às de referência: (a) sistemas com massa areada sobre reboco seco e fresco, RsMa e RfMa ; (b) sistemas com pintura com tintas de silicatos e plástica sobre reboco seco, RsTs e RsTp ; (c) sistemas com barramento sobre reboco seco e fresco, RsB e RfB ; (d) sistemas com massa areada e barramento sobre emboço seco e fresco, EsMaB e EfMaB	27
Figura 4.7 – Taxas de secagem nas fases 1 (D1) e 2 (D2)	28
Figura 4.8 – Permeabilidade ao vapor de água dos sistemas com argamassa de reboco (a) e com argamassa de emboço (b)	30
Figura 4.9 - Curvas de absorção de água sob baixa pressão em função da área ao fim de 60 minutos para diferentes grupos de sistemas de acabamento.....	31
Figura 4.10 – Coeficiente de absorção de água sob baixa pressão ao fim de 60 minutos para os sistemas com reboco e com emboço, face às referências	31
Figura 4.11 – Superfície ilustrativa do desgaste provocado pela escova num acabamento (canto superior direito)	32
Figura 4.12 – Variação de massa por erosão /desgaste a seco de: (a) todos os sistemas ensaiados; (b) sistemas com argamassa de reboco; (c) sistemas com argamassa de emboço.....	33
Figura 4.13 – Exemplo de material arrancando do acabamento do provete	33
Figura 4.14 – Variação de massa no ensaio de coesão superficial de: (a) todos os sistemas ensaiados; (b) sistemas com argamassa de reboco; (c) sistemas com argamassa de emboço.....	34
Figura 4.15 – Tensão de arrancamento	35
Figura 4.16 – Rotura coesiva no sistema RsB-1 (a); Rotura adesiva no sistema RfMa-3.....	35
Figura 4.17 – Coeficiente de capilaridade pelo suporte, as taxas de secagem (D1 e D2) e o coeficiente de absorção de água pelo acabamento	39

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 – Designação e constituição dos provetes.....	13
Tabela 4.1 – Tipo de rotura no ensaio de arrancamento: coesiva na argamassa; adesiva entre a argamassa e o suporte	36
Tabela 4.2 – Dureza superficial, coeficiente de absorção de água por capilaridade e taxas de secagem nas 1ª e 2ª fases de secagem e índice de secagem	37
Tabela 4.3 – Permeabilidade ao vapor de água, espessura da camada de ar equivalente segundo as normas EN 15803, EN ISO 12572, EN 1015-19 e NP EN 998-1	37
Tabela 4.4 - Absorção de água a baixa pressão durante 60 minutos.....	38
Tabela 4.5 – Erosão por desgaste a seco, coesão superficial e aderência	38
Tabela 4.6 – Avaliação qualitativa dos sistemas em relação às características ensaiadas.....	40
Tabela A.1 – Ensaio de dureza superficial.....	Al.1
Tabela A.2 – Ensaio de absorção de água por capilaridade (a), (b), (c), (d), (e), (f).....	Al.2
Tabela A.3 – Valores de massa durante a secagem, num período de 578,5h.....	Al.6
Tabela A.4 – Taxas de secagem D1 e D2 e índice de secagem.....	Al.6
Tabela A.5 - Valores de massa no ensaio de permeabilidade ao vapor de água (a), (b), (c)..	Al.7
Tabela A.6 – Ensaio de permeabilidade ao vapor de água – G - taxa de fluxo do vapor de água; W_p – permeância do vapor de água; δ_p – permeabilidade ao vapor de água; μ - coeficiente de resistência à difusão do vapor de água; S_d – espessura da camada de ar equivalente (a), (b), (c).....	Al.8
Tabela A.7 – Coeficiente de absorção de água sob baixa pressão.....	Al.9
Tabela A.8 – Ensaio de erosão por desgaste a seco (a), (b), (c)	Al.9
Tabela A.9 – Ensaio de coesão superficial (a), (b), (c).....	Al.10
Tabela A.10 – Ensaio de arrancamento – F_u – carga de rotura; A – área; f_u – tensão de aderência à tração (a), (b), (c)	Al.10

SIMBOLOGIA

Materiais

L – Ladrilho cerâmico de barro vermelho cozido da Cerâmica Torreense

R – Argamassa pré-doseada da Soarvamil; cal aérea e areia fina de rio

E – Argamassa de cal aérea com areia grossa, pó de pedra e adição de 10% em volume de cinzas pozolânicas

Ma – Massa de estuque de cal pré-doseada, areada, da Fradical, constituída por cal aérea não hidrófuga em pasta, areia fina e pó de mármore, aplicada com relação água/massa em volume de 0,5

B – Massa especial de barramento pré-doseada da Fradical constituída por cal aérea não hidrófuga em pasta e pó de pedra

Ts – Tinta de silicatos U6-Silicatus – “Tinta Orgânica Mate Mineral”

Tp – Tinta plástica B10-Neucegold – “Tinta Plástica Acrílica Pura”

Modos de aplicação

s – Aplicação realizada a seco ao fim de 12 dias de cura em ambiente natural

f – Aplicação realizada a fresco após 3,5 h de cura em ambiente natural

Ensaio e parâmetros

CC – Coeficiente de absorção de água por ascensão capilar

D1 – Taxa de secagem correspondente à primeira fase de secagem

D2 – Taxa de secagem correspondente à segunda fase de secagem

Sd – Espessura de camada de ar de difusão equivalente

δp – Permeabilidade ao vapor de água

C_{abs} – Coeficiente de absorção de água pelo acabamento

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

A utilização da cal aérea na construção data desde há muitos milénios, tendo como prova disso a existência de obras executadas na Palestina, em Jericó no ano 7000 a.C. que subsistiram até aos nossos dias (Malinowski, 1982). Ao longo dos anos foi-se aperfeiçoando a técnica de trabalho com a cal, tendo surgido vários tipos de acabamentos que a têm como base, tais como os barramentos e caiações. Contudo, desde o séc. XVIII com o surgimento da cal hidráulica e mais tarde no final do séc. XIX e início do séc. XX com o aparecimento do cimento Portland, o uso da cal aérea passou a entrar em declínio, uma vez que os ligantes hidráulicos, entretanto desenvolvidos, aparentavam possuir características que melhor se adaptavam à construção vigente. Destas destacam-se, por exemplo, o endurecimento mais acelerado e as elevadas características mecânicas em comparação com os obtidos com a cal aérea.

O desuso da cal aérea deveu-se, em grande parte, à necessidade de preparar pastas para extinguir a cal viva, à poeira cáustica resultante da finura da cal em pó e ainda à tendência privilegiada por parte dos aplicadores ao quererem um endurecimento rápido e elevada resistência a curto prazo (Faria, 2004).

Passadas décadas a substituir argamassas de cal originais por argamassas de cimento em edifícios antigos, tornaram-se claras as anomalias introduzidas por este material. Em virtude disso, principalmente nos últimos 30 anos tem-se notado um interesse crescente pelo reconhecimento e aperfeiçoamento das técnicas e conhecimentos para trabalhar com a cal.

Uma adequada aplicação com vista a um comportamento eficiente dos sistemas de paredes exteriores é essencial na proteção dos edifícios contra os agentes de degradação (Veiga, 1998). Para que se garantam bons níveis de desempenho das fachadas é necessário quantificar e avaliar as características que o satisfaçam, isto é, que os revestimentos possuam bom comportamento em serviço, desempenhando as funções que lhes são exigidas. Um dos principais agentes de degradação que contribui para a diminuição do desempenho dos rebocos é a água, tanto no estado líquido como gasoso. É essencial que um sistema de revestimento de parede possibilite a evaporação da água que acede à parede, para que esta não fique retida no seu interior (Veiga, 1998). A evaporação da água é avaliada pela permeabilidade ao vapor de água ou pela secagem. A primeira destas características define-se como sendo o fluxo de vapor que atravessa a argamassa, em condições de equilíbrio, por unidade de superfície e pressão de vapor (Brito e Faria, 2011), enquanto que a segunda pode definir-se como sendo a perda de massa de água existente na argamassa em função do tempo (CEN, 2013).

Os sistemas de pintura são dos acabamentos mais correntes de rebocos, mesmo nos de cal aérea. A tinta é definida como sendo uma composição pigmentada líquida ou pastosa que, quando aplicada sobre uma superfície (em alguns casos, após a diluição ou dispersão), se transforma, após algum tempo, num revestimento opaco sólido (CEN, 2004). A aplicação das tintas é frequentemente precedida pelo emprego de um primário. Um sistema de pintura compreende todos os produtos (primário e pintura) que, de acordo com indicação do produtor, devem ser aplicados sequencialmente.

Na presente dissertação será estudado um conjunto de vários sistemas de acabamento aplicáveis em fachadas de edifícios antigos, tendo como base argamassas de cal aérea. Vários desses sistemas de acabamento são comercializados pela empresa Fradical Lda., que forneceu a matéria-prima e a mão-de-obra para a preparação dos provetes. A realização desta análise revela-se um importante exercício, que no final permitirá avaliar a adequação destes sistemas à aplicação em edifícios antigos, bem como decidir quais os que melhor se adaptam às funções exigidas. Enquadra-se no âmbito dos projetos DB – Heritage (PTDC/EPH-PAT/4684/2014) financiado pela FCT e PRESERVE do LNEC.

1.2 Objetivos e metodologia

O objetivo do presente estudo é avaliar as características de distintos sistemas de acabamento aplicáveis em fachadas de edifícios antigos com rebocos de argamassas com base em cal aérea.

Na campanha experimental, os acabamentos são aplicados sobre um reboco e um emboço de cal aérea que, por sua vez, são aplicados sobre um ladrilho cerâmico simulando o suporte de uma parede antiga. Desta forma, são caracterizados provetes de referência, constituídos apenas pelo ladrilho ou pelo ladrilho com reboco e emboço não revestidos. Por sua vez, os resultados são comparados com provetes nos quais, sobre o reboco e o emboço, foram aplicados os distintos sistemas de acabamento.

Para se cumprir este objetivo, procedeu-se a uma análise laboratorial dos respetivos acabamentos, avaliando a textura e fissuração por observação visual e binocular, a dureza superficial, a absorção capilar de água pelo suporte, a secagem através da superfície de acabamento, a permeabilidade ao vapor de água, a absorção de água sob baixa pressão (Tubos de Karsten), a erosão por desgaste a seco, a coesão superficial e, por fim, o arrancamento.

1.3 Estrutura e organização do texto

A dissertação apresentada está organizada em cinco capítulos, referência bibliográfica e dois anexos, sendo o presente capítulo o primeiro, no qual se realiza um enquadramento do tema, bem como os objetivos e estruturação do texto.

O capítulo 2 apresenta os conhecimentos existentes que são relevantes para a execução e compreensão do estudo, nomeadamente os materiais e acabamentos para rebocos.

No capítulo 3 realizou-se a descrição dos materiais utilizados neste estudo, o faseamento adotado na construção dos provetes e, por fim, a indicação e descrição dos ensaios realizados.

No capítulo 4 foram tratados e discutidos os resultados advenientes dos ensaios realizados, verificando-se as alterações que ocorreram e procurando justificação para o sucedido.

O capítulo 5 expõe as conclusões atingidas neste trabalho e inclui algumas sugestões para estudos futuros.

O anexo I reúne os resultados individuais dos ensaios efetuados, por forma a possibilitar investigações futuras.

O anexo II apresenta um artigo de congresso internacional realizado pelo autor desta dissertação, bem como pela sua orientadora, que foi aceite, mas ainda não foi publicado.

2 MATERIAIS E ACABAMENTOS PARA REBOCOS

2.1 Enquadramento

Neste capítulo são abordados os materiais mais correntes em argamassas de cal aérea e possíveis acabamentos a aplicar sobre rebocos vernaculares realizados com estas argamassas.

As argamassas de reboco vernaculares são geralmente constituídas por cal aérea, areia e água.

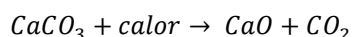
Os rebocos de argamassas de cal aérea podem ficar à vista mas, para sua proteção e aumento da sua durabilidade, são geralmente complementados pela aplicação de acabamentos. Os sistemas de acabamento possuem uma função importantíssima na conservação e no bom funcionamento das argamassas que revestem. Estas são as camadas mais superficiais na constituição de uma parede, estando na interface do meio ambiente e do reboco exterior, assegurando, por essa forma, a proteção da parede relativamente a todas as adversidades do meio ambiente.

Os acabamentos podem ser constituídos por sistemas de pintura, por caição ou aplicação de tintas diversas, ou pela aplicação de outras argamassas ou pastas, geralmente em espessura fina.

2.2 Cal aérea

Segundo a NP EN 459-1 (IPQ, 2011), os óxidos ou hidróxidos de cálcio são constituintes imprescindíveis da cal aérea que, uma vez amassados com água, endurecem lentamente ao ar, reagindo com o dióxido de carbono da atmosfera. Estes, por não possuírem propriedades hidráulicas, não endurecem submersos em água.

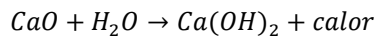
O ciclo da cal aérea (Matias et al., 2014) inicia-se com a extração dos calcários com teores de impurezas inferiores a 5% da rocha mãe, sendo posteriormente cozidos a temperaturas na ordem dos 900°C. Desta cozedura resulta a cal viva (equação 2.1), constituída principalmente por óxido de cálcio, sendo também libertado dióxido de carbono para a atmosfera. A cal viva é um material pouco estável, sendo que não é usada na confeção de materiais de construção.



Equação 2.1

A capacidade da cal viva ser extinta e posteriormente reagir com o CO₂ presente na atmosfera através da carbonatação depende do tratamento térmico a que foi sujeita no forno e da própria matéria-prima de base (Boynton, 1980).

Devido à instabilidade da cal viva, é necessário proceder à hidratação da referida. Este processo designa-se por extinção da cal viva, podendo desenvolver-se por imersão ou aspersão com água. Em presença da água, o óxido de cálcio reage, originando o hidróxido de cálcio, por fragmentação (equação 2.2).



Equação 2.2

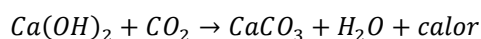
O hidróxido de cálcio originado é comumente designado por cal apagada, cal extinta ou cal hidratada. Esta pode resultar em pó, pasta ou leite de cal.

Para finalizar o ciclo da cal aérea, realiza-se o processo de endurecimento, que se desenvolve em duas fases. Na primeira fase, dá-se a evaporação da humidade em excesso e conseqüentemente a difusão do dióxido de carbono. A segunda fase está associada à reação química que transforma o hidróxido de cálcio em cristais de carbonato de cálcio (carbonatação, representada na equação 2.3). A deposição destes cristais durante a carbonatação altera a estrutura porosa da argamassa, provocando um decréscimo na sua porosidade, alterando ainda algumas propriedades relacionadas com a microestrutura, permeabilidade, difusão de gases e capilaridade. A porosidade diminui cerca de 10%, tornando-se mais pequenos os poros, na mesma proporção que o $Ca(OH)_2$ se transforma em $CaCO_3$. Devido a esta diminuição da porosidade, a área específica das argamassas de cal diminui (Alvarez et al., 2005). De referir que a diminuição da porosidade deve-se ao preenchimento dos poros com carbonato de cálcio que se expande.

A difusão do dióxido de carbono na água é substancialmente mais lenta do que no ar, pelo que a carbonatação é retardada quando o material está saturado.

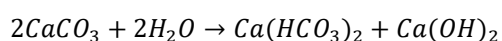
As argamassas que possuem maior teor de cal hidratada carbonatam mais lentamente, pois existe mais hidróxido de cálcio num mesmo volume, levando assim mais tempo a que este se transforme em carbonato de cálcio.

A velocidade de carbonatação é afetada pelo teor em água e em cal hidratada da argamassa, permeabilidade ao vapor, temperatura, concentração em CO_2 , espessura de argamassa e humidade relativa ambiente (Faria, 2004).



Equação 2.3

Em ambientes com uma presença constante de água, o carbonato de cálcio anteriormente formado poderá transformar-se em bicarbonato de cálcio ($Ca(HCO_3)_2$), que é solúvel em água. Em situações em que se verifiquem ciclos de molhagem muito superiores aos de secagem, por exemplo, em locais com abundância e regularidade de precipitação, pode existir uma dissolução do ligante das argamassas. Quando esta volta a ficar seca, o hidróxido de cálcio volta a reagir com o dióxido de carbono do ar, voltando assim a carbonatar (equação 2.4) (Margalha, 1997).



Equação 2.4

Esta formação é possível porque o carbonato de cálcio resultante da carbonatação, embora quimicamente semelhante à rocha mãe (rocha calcária), possui propriedades substancialmente diferentes da rocha original, devido a uma organização mineralógica distinta.

2.3 Massa de estuque

A massa de estuque é um material que possui várias designações conforme a bibliografia consultada. Assim sendo, as primeiras aplicações deste material remontam aos egípcios, gregos e romanos, tendo sido empregue na Europa a partir do século XVI. O seu apogeu foi no período Barroco, tal como o barramento (Constantinides e Humphries, 2003; Grimmer, 1990).

A massa de estuque utilizada geralmente era composta por cal, areias com granulometria fina, pó de pedra, pó de tijolo, palha e fibras vegetais (Toniolo et al. 1988; Braga e Charrua, 1992).

2.4 Barramento

O barramento é uma técnica utilizada desde o período moderno (séc. XV a XVIII), tendo tido o seu auge no período Barroco, durante o qual foi aplicado na maioria dos edifícios de expressão arquitetónica (Tavares, 2009). Esta técnica é uma ótima solução para acabamentos exteriores, devido à sua durabilidade e capacidade de proteção. O barramento tem um papel muito importante na proteção do reboco, uma vez que, quando este se destaca, existe uma degradação bastante rápida das camadas de reboco subjacentes, como é comprovado por estudos anteriores (Gonçalves, 1996).

O barramento é um acabamento constituído por pasta de cal, pó de pedra e/ou pó de mármore ou areia de granulometria fina, pigmento inorgânico e água, aplicado sobre o reboco, geralmente humedecido, em duas ou três subcamadas com finura crescente, da interior para a exterior (Veiga, 2007).

Como mencionado anteriormente, o barramento pode ser colorido ou não, sendo esta coloração dada através de pigmentos, que previamente são dispersos em água e adicionados posteriormente à massa de cal. Em alternativa, o barramento é aplicado com a cor natural da argamassa, podendo ser posteriormente pintado através de uma caiação.

2.5 Tintas de silicatos e acrílicas

A utilização das tintas sobre as fachadas com função decorativa e protetora remonta ao período Paleolítico (Eusébio e Rodrigues, 1990). Ao longo do tempo, diferentes técnicas e materiais foram utilizados na pintura das fachadas de edifícios.

Os sistemas de pintura são constituídos por tintas e, na maioria dos casos, por primários. Estes últimos são semelhantes às tintas, exceto no que se refere aos pigmentos, sendo aplicados antes da tinta de acabamento, podendo ter como função a garantia de uma boa aderência da tinta ou a uniformização da absorção.

Em termos gerais, as tintas são constituídas por veículos (fixo e volátil), pigmentos, cargas e aditivos.

O veículo fixo, também denominado por ligante, aglutinante ou resina é constituído por produtos orgânicos complexos, que asseguram a adesão dos pigmentos e cargas ao substrato e a coesão do filme, sendo responsável pela formação da película sólida (endurecimento). O solvente ou diluente, também designado por veículo volátil, que evapora durante a aplicação, tem como objetivo liquidificar o ligante, de modo a que a sua aplicação seja realizada mais facilmente (Gil, 2013).

Os pigmentos conferem à tinta a sua cor e opacidade, sendo formados por partículas sólidas finas e praticamente insolúveis no veículo. Estes podem ser de natureza orgânica (produtos vegetais e animais) ou inorgânica (terras coloridas) (Eusébio, 1985).

As cargas são substâncias inorgânicas constituídas por partículas granulares ou em pó que são insolúveis no veículo. Estas têm por finalidade conferir determinadas propriedades físicas à tinta, entre as quais controlar a sua reologia, reduzir o brilho, aumentar o poder de cobertura dos pigmentos brancos, melhorar algumas propriedades mecânicas ou reforçar as características de barreira à difusão de água e ácidos agressivos (Gil, 2013).

Os aditivos são produtos líquidos, viscosos ou sólidos pulverulentos, solúveis nos veículos que são adicionados em pequenas percentagens à tinta. Estes têm como objetivo melhorar as condições de aplicação das tintas ou as propriedades da película seca (Eusébio, 1985).

De seguida, descrevem-se dois revestimentos por pintura: tinta de silicatos e tinta acrílica. Realça-se o facto de a tinta de silicatos apresentar características muito específicas, relacionadas com o tipo de ligante que inclui. Em virtude disso, desvia-se, em alguns aspetos, da descrição geral realizada anteriormente, que está diretamente relacionada com as tintas acrílicas de emulsão.

2.5.1 Tintas de silicatos

Desde a antiguidade clássica que são conhecidas as pinturas com tintas de silicatos, tendo sido encontradas em frescos das ruínas de Pompeia e Herculano (Tavares e Veiga, 2002). Nesta altura, as tintas utilizadas eram obtidas por dissolução do vidro moído (calcário, soda e sílica) em água, tendo como denominação pintura de “vidro solúvel” (Gettewert et al., 1998). Em 1825, o químico J.N. Von Fuschs modificou este produto, obtendo um novo produto solúvel em água a ferver com base em vidro solúvel (silicato de sódio), ao qual foram adicionados terra siliciosa, potássio, quartzo e carbonato de potássio com consistência viscosa. Fusch propôs a estereocromia, método de pintura com estes materiais. A tinta utilizada no referido método quando seca é constituída por uma camada de pigmento aglutinado com sílica (Mayer, 1996). Anos mais tarde, em 1880, Adolf Keim aperfeiçoou a pintura de silicato e designou o novo produto de pintura mineral, ou pintura mineral de Keim. Esta consistia num sistema de dois componentes: uma solução de silicato de potássio e uma formulação de pigmentos e cargas em pó (Doerner, 1988).

A indústria das tintas continuou, ao longo do tempo, a desenvolver estudos e progressos na formulação de novos produtos com base em silicatos, tendo, em 1967, desenvolvido uma tinta modificada com uma dispersão orgânica, chamada de tinta de emulsão de silicato. Para desta resultar um produto com apenas um componente estável e ainda com carácter predominantemente inorgânico, adicionava-se uma quantidade mínima de ligante polimérico, por exemplo acrílico (do tipo poliácrlato). No entanto, a adição de polímero não deve ser superior a 5%, segundo a norma DIN 18363, citada por Tavares (2009), com o

intuito de manter o carácter inorgânico da tinta, tornando-a mais flexível e conseguindo assim uma melhor aplicação.

O aditivo polimérico tem como função formar uma película muito fina de tinta à superfície do suporte, de modo a que, durante o endurecimento, aumente a aderência a este, evitando o destacamento e diminuindo o tempo de secagem.

Atualmente, as tintas de silicatos são baseadas num ligante inorgânico, geralmente silicato de potássio ou silicato de sódio (Stoye, 1998). O endurecimento destes compostos de silicato ocorre com um processo de silicificação, que inclui reações químicas com dióxido de carbono a partir do ar e com alguns componentes minerais do substrato (cal apagada ou de quartzo), conferindo a estas tintas uma grande durabilidade e permeabilidade ao vapor de água.

Devido à sua natureza basicamente inorgânica, as tintas de silicatos são mais resistentes aos fungos e algas, uma vez que os nutrientes são mais rarefeitos e a elevada permeabilidade ao vapor de água facilita a secagem dos substratos, evitando a proliferação destes organismos.

As tintas de silicatos têm uma gama cromática reduzida, assim como a cal, devido ao uso restrito dos pigmentos minerais. Não é conveniente o uso de pigmentos orgânicos, devido à sua propriedade cáustica, pois pode existir uma reação de queima desses pigmentos, devido ao meio fortemente alcalino.

2.5.2 Tintas acrílicas

As tintas de base aquosa, também designadas correntemente como tintas acrílicas, plásticas e de emulsão começaram a ser utilizadas nos anos 40. O ligante presente nestas tintas é um material sólido e semelhante a um plástico disperso como minúsculas partículas na água. As tintas de látex, também conhecidas como as primeiras tintas de emulsão, foram baseadas em dispersões aquosas poliméricas (vinílicas, vinil acrílicas, acrílicas, estireno-acrílicas, etc...), sendo a parte volátil composta, em média, por 98% de água e 2% de solventes orgânicos (Matos, 2008; Carvalho, 2005).

A formação da película nestas tintas inicia-se pela evaporação da água – secagem física. Como consequência, as pequenas partículas da dispersão polimérica (pigmento + ligante) suspensas na água aproximam-se umas das outras e a ação capilar pressiona as partículas com força suficiente para que estas se fundam, formando um filme mais ou menos poroso e insolúvel em água (figura 2.1) (Matos, 2008; Fonseca, 2010; HEMPEL, 2006).

Devido ao facto da suspensão em água do ligante, no processo de evaporação são criadas e conservadas aberturas microscópicas de ar que possibilitam a permeabilidade ao vapor e conseqüentemente a secagem do suporte (Gil, 2013).

Grande parte das tintas plásticas são produzidas a partir de emulsões de polímeros e copolímeros puramente acrílicos, estireno-acrílicos e também de copolímeros de ésteres vinílicos (Shwartz, 2001). Neste estudo utilizou-se uma tinta de emulsão de polímeros puramente acrílicos. Como tal, a permeabilidade ao vapor de água desta tinta será superior à de revestimentos estireno-acrílicos. No entanto, à medida que aumentam os ciclos de humidade, os revestimentos 100% acrílicos demonstram uma diminuição da sua permeabilidade, enquanto que os revestimentos estireno-acrílicos mantêm uma permeabilidade constante (Shwartz, 2001).

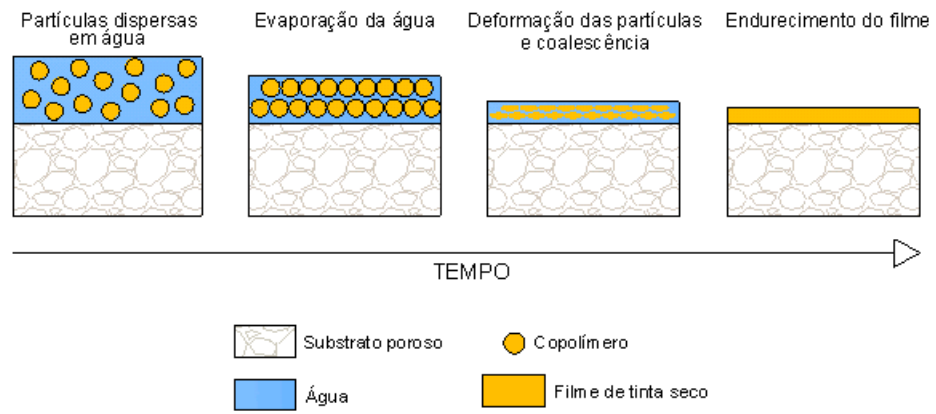


Figura 2.1 – Processo de secagem e endurecimento de tintas acrílicas (adaptado de Eliokem, 2003 e Brito, 2009)

Neste trabalho vai, a partir daqui designar-se a tinta acrílica utilizada por tinta plástica.

3 CAMPANHA EXPERIMENTAL

3.1 Enquadramento

No decorrer deste capítulo, irá realizar-se uma caracterização de todos os materiais utilizados e do faseamento construtivo na conceção dos provetes. Serão apresentadas figuras ilustrativas dos materiais, bem como do processo de execução. Serão também apresentados e descritos os ensaios realizados nesta campanha experimental, assim como figuras que os retratam.

Nesta campanha experimental foram realizados provetes com argamassas à base cal, tendo sido posteriormente revestidos por diversos sistemas de acabamento.

3.2 Materiais utilizados

No decorrer deste estudo utilizaram-se os seguintes materiais e produtos:

- Ladrilho cerâmico, **L** – é formado por barro vermelho cozido; produzido pela empresa Cerâmica Torreense.
- Argamassa pré-doseada de cal aérea para reboco, **R** – é uma argamassa que tem como constituintes a cal aérea e areia fina de rio lavada, produzida pela Soarvamil.
- Argamassa de cal aérea para emboço, **E** – esta argamassa é constituída por cal aérea, areia grossa, pó de pedra e uma adição de 10% em volume de cinzas pozzolânicas; produzida pela Fradical.
- Massa de estuque de cal, areada, **Ma** – é um material pré-doseado, constituído por cal aérea não hidrófuga em pasta, areia fina e pó de mármore; produzida pela Fradical.
- Massa especial de barramento, **B** – é um material pré-doseado, constituído por cal aérea não hidrófuga em pasta e pó de pedra; produzida pela Fradical.
- Tinta de silicatos, **Ts** – é uma tinta orgânica mineral, é constituída por silicatos de potássio, polímeros orgânicos e pigmentos inorgânicos de grande solidez, de acordo com o fabricante; a quantidade de componente orgânico é inferior a 5% em peso de acordo com a norma DIN 18363; produzida pela Neuce (figura 3.1).
- Tinta plástica, **Tp** – é uma tinta plástica acrílica pura; segundo o fabricante esta é 100% acrílica, sendo denominada B10 – Neucegold; produzida pela Neuce (figura 3.2).

Foi aplicado um primário antes de se utilizarem as tintas descritas anteriormente. Os primários utilizados foram: Silicatus primário – A7, produzido pela Neuce. Este é um primário aquoso formulado com base em resinas de organo-silicatos. Este, segundo o fabricante, confere uma regulação da absorção da água e da aderência e protege a tinta do contato direto com substâncias prejudiciais do sistema base. O primário em questão foi empregue anteriormente à aplicação da **Ts**. O primário que antecedeu a aplicação da **Tp** foi o Barboprimer, produzido pela Barbot; este primário é um selante aquoso formulado com emulsões acrílicas de alta resistência aos alcalis.

3.3 Faseamento da campanha experimental

Neste estudo realizaram-se 3 provetes por sistema completo de acabamento, num total de 11 sistemas. Assim realizaram-se 33 provetes divididos em três séries.

3.3.1 Conceção de provetes base

Para a realização dos provetes utilizou-se como material de suporte um ladrilho, **L**, com dimensões de 150mm x 150mm x 12mm, procurando simular, grosseiramente, um suporte poroso como uma parede de alvenaria de tijolo. Três provetes base são constituídos apenas pelo ladrilho **L**. Para a constituição de 24 provetes, sobre o ladrilho **L** foi aplicada a argamassa **R**, simulando o reboco. Aos restantes 6 provetes foi aplicada sobre o ladrilho **L** a argamassa **E**, simulando o emboço.

Previamente à aplicação das argamassas os ladrilhos **L** foram mergulhados em água durante 24h, tendo sido, de seguida, colocados num suporte por forma a escorrer a água em excesso. A argamassa foi aplicada sobre os ladrilhos **L** numa camada com 15 mm de espessura e apertada com talocha plástica (figura 3.1).

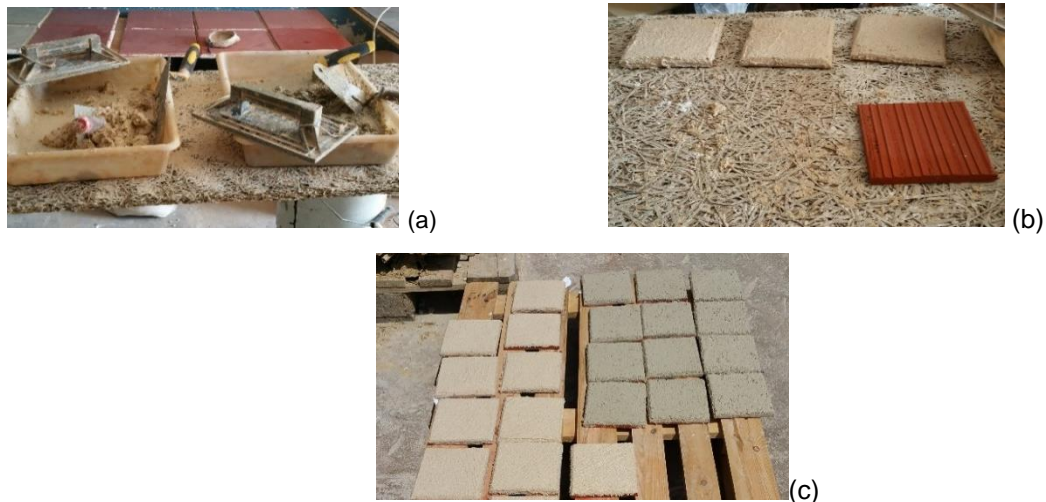


Figura 3.1 – Fases de execução dos provetes base: (a) argamassas de reboco e emboço com respetivos utensílios (talocha de plástico e colher de pedreiro); (b) provetes de argamassa **R** e ladrilho **L**; (c) provetes de argamassa **R** e **E** durante a secagem

3.3.2 Aplicação dos sistemas de acabamentos

A aplicação dos sistemas de acabamento foi feita sobre o reboco fresco ou seco: os aplicados a fresco, **f**, e os aplicados a seco, **s**.

Os sistemas **f** foram aplicados após 3,5 h de secagem da argamassa ao ar. Os acabamentos **s** foram aplicados ao fim de 12 dias de cura em ambiente interior.

Os acabamentos aplicados sobre o reboco **R** foram:

- A massa de estuque areada, **Ma**, com um traço em volume de 1:0,5 (Ma:água), a rolo, resultando numa espessura de 1 a 2mm, uma textura rugosa, areada; este acabamento foi aplicado a fresco e a seco (figura 3.2).



Figura 3.2 – Aplicação a rolo da massa de estuque areada **Ma** aos provetes de argmassa **R**

- A massa de barramento **B**, que foi aplicada à brocha em três demãos, variando em cada uma delas a diluição do produto na água e o sentido de aplicação (cada uma aplicada perpendicularmente à anterior). A primeira demão apresentou um traço de 1:3 (B:água), a segunda, por sua vez, um traço de 1:2, e a última, um traço de 1:1, todos em volume. As demãos foram aplicadas com um intervalo de 30 minutos entre cada uma. Esta aplicação resultou num acabamento com textura lisa com uma espessura média de 0,5mm. Este acabamento foi aplicado a fresco e a seco (figura 3.3).

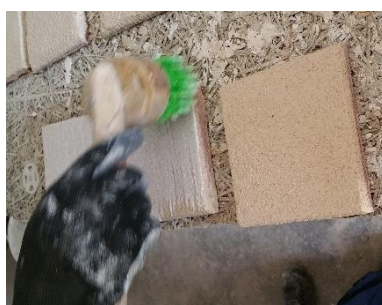


Figura 3.3 – Aplicação à brocha da massa de barramento **B** aos provetes de argmassa **R**

- A tinta de silicatos **Ts**, foi aplicada à brocha, de acordo com a sua ficha técnica, apenas numa demão, tendo esta sido diluída em 10% de água (100ml de tinta para 10ml de água). O primário Silicatus – A7 foi aplicado previamente; este acabamento apenas foi aplicado a seco (figura 3.4).



Figura 3.4 – Aplicação à brocha da tinta de silicatos aos provetes de argamassa **R**

- A tinta plástica **Tp** foi aplicada a rolo com uma diluição de 10% de água (140ml de **Tp** para 14ml de água) apenas numa demão. Previamente, foi aplicado o primário aquoso Barboprimer com a mesma diluição da tinta; este acabamento só foi aplicado a seco (figura 3.5).



Figura 3.5 – Aplicação a rolo da tinta plástica aos provetes de argamassa **R**

Os acabamentos aplicados sobre o emboço **E**, foram:

- A massa de estuque areada **Ma** igual à descrita anteriormente, aplicada à esponja e posteriormente aplicado a massa de barramento **B** à brocha. Este último, foi aplicado ao fim de 30 minutos de secagem da massa areada **Ma**; este acabamento foi aplicado a fresco e a seco com uma espessura média de 3mm (figura 3.6).



(a)



(b)

Figura 3.6 –Aplicação da massa areada **Ma** com esponja (a); aplicação à brocha de barramento **B** (b); nos mesmos provetes com um intervalo de 30 minutos

A execução dos provetes decorreu nas instalações da Fradical Lda., na Charneca de Caparica, por técnico da Fradical com a presença e apoio do autor do presente trabalho. Os métodos de aplicação dos diferentes acabamentos foram os indicados pela Fradical.

Após a sua conclusão, os provetes foram cuidadosamente transportados para os laboratórios de Construção do Departamento de Engenharia Civil da FCT UNL e acondicionados em ambiente controlado com temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ e $65 \pm 5\%$ de humidade relativa (HR). Todos os provetes permaneceram na sala condicionada até ao início dos ensaios, que decorreram após 40 dias de cura.

Na tabela 3.1 são apresentadas a designação e constituição sumária dos sistemas ensaiados.

Tabela 3.1 – Designação e constituição dos provetes

Provetes	Ladrilho cerâmico	Reboco seco (Rs)	Reboco fresco (Rf)	Emboço seco (Es)	Emboço fresco (Ef)	Massa de estuque de cal areada (Ma)		Massa especial de Barramento (B)	Tinta Plástica (Tp)	Tinta de Silicato (Ts)
						Aplicado a rolo	Aplicado à esponja			
L	X									
R	X	X								
E	X			X						
RsMa	X	X				X				
RfMa	X		X			X				
RsTs	X	X								X
RsTp	X	X							X	
RsB	X	X						X		
RfB	X		X					X		
EsMaB	X			X			X	X		
EfMaB	X				X		X	X		

3.4 Ensaios realizados

Nesta secção apresenta-se uma síntese dos procedimentos de ensaio utilizados neste estudo. Foram realizados os seguintes ensaios:

- Avaliação da textura e fissuração por observação visual e binocular
- Dureza superficial
- Absorção capilar de água pelo suporte
- Secagem através da superfície de acabamento
- Permeabilidade ao vapor de água
- Absorção de água sob baixa pressão (tubos de Karsten)
- Erosão por desgaste a seco
- Coesão superficial
- Arrancamento

3.4.1 Avaliação da textura e fissuração por observação visual e binocular

Todos os provetes foram submetidos a uma análise visual a olho nu, de modo a poder identificar os vários tipos de textura e existência de fissuração. Foram também observados com uma lupa binocular de referência CS-100, tal como a que se pode ver na figura 3.7. Esta permite um aumento até 25 vezes, por forma a verificar a ocorrência de fissuras na argamassa ou nos sistemas de acabamentos, não detetadas a olho nu e proceder à sua medição.



Figura 3.7 – Lupa binocular CS-100

3.4.2 Dureza superficial

Para a realização do ensaio de determinação da dureza superficial utilizou-se, em toda a amostragem, um Durómetro Shore A HD 3000 ilustrado na figura 3.8 (equipamento este que está de acordo com as normas DIN 53505, ASTM D 2240, ISO 7619 e ISO 868, não consultadas). O instrumento de medição possui uma agulha móvel na extremidade que, quando pressionada contra o material, retrai e regista a dureza da superfície contra a qual foi comprimida. Existem várias escalas para este equipamento; este possui a escala A, que pode variar entre os 0 e os 100 graus Shore A, significando que quanto maior o valor obtido, maior será a dureza superficial.

De modo a diminuir o erro, foram medidos 9 pontos por provete, considerando-se a dureza de cada sistema a média dos valores dos provetes do mesmo sistema das três séries.



Figura 3.8 – Durómetro Shore A em ensaio em curso

3.4.3 Absorção capilar de água pelo suporte

O ensaio de determinação da absorção de água por capilaridade foi baseado na norma EN 15801 (CEN, 2009). Pretendeu-se simular a absorção de água a partir do suporte, neste caso do ladrilho (numa situação real seria a parede com problemas de humidade). Este ensaio foi realizado com recurso a uma balança digital com precisão de 0,001g, na qual estava suspenso um cesto de rede no qual foram colocados sucessivamente um provete de cada vez, estando o ladrilho por baixo. O cesto com o provete, por sua vez, estava dentro de uma caixa com água até meia altura do ladrilho, como ilustra a figura 3.9.

Cada provete foi pesado seco antes de ser colocado no cesto de rede e posteriormente foi sujeito a uma pesagem contínua durante 24h, tendo sido registados os valores ininterruptamente através do auxílio de uma câmara de filmar. Ao fim deste tempo, o provete foi retirado do cesto e colocado numa caixa fechada, mantendo-se o contacto com a água até metade da espessura do ladrilho L ; o provete foi mantido em saturação por um período mínimo de 48h. Os resultados são expressos através das curvas de absorção capilar, a partir das quais se determinam os coeficientes de capilaridade (CC) que, por sua vez, é calculado através do declive da reta de absorção capilar inicial representativa, como está representado na figura 3.10. O ensaio permite ainda comparar a quantidade total de água absorvida ao fim de determinado período de tempo.

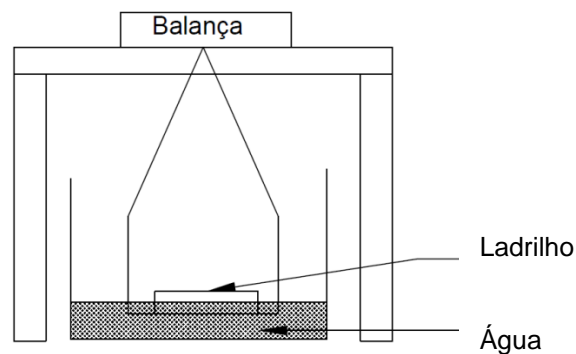


Figura 3.9 – Ensaio de absorção de água por capilaridade pelo suporte e esquema representativo

Neste ensaio, como mencionado anteriormente, obtiveram-se valores individuais para cada provete, sendo que o valor de CC para cada sistema de acabamento, consiste na média do CC dos provetes com o mesmo sistema das três séries.

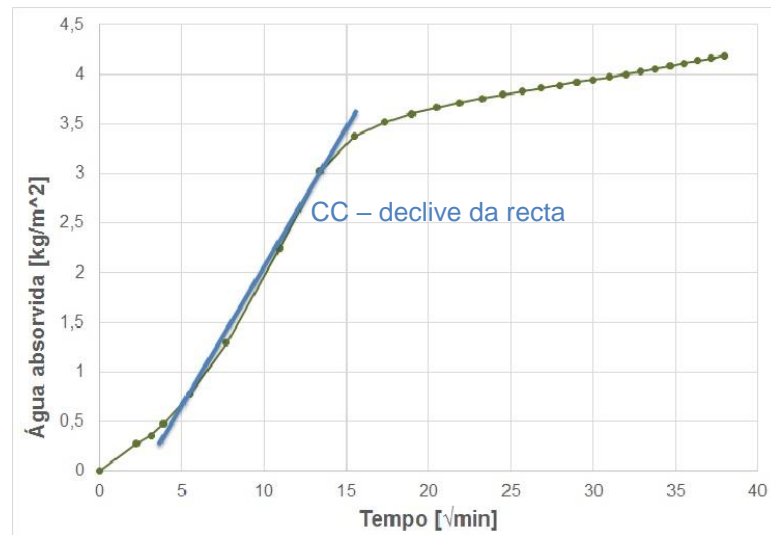


Figura 3.10 – Curva de absorção de água com segmento recto para cálculo do coeficiente de capilaridade

3.4.4 Secagem através da superfície de acabamento

Terminado o ensaio de absorção de água por capilaridade, com os provetes saturados (variação de massa entre duas pesagens consecutivas inferior a 1% de massa provete), deu-se início ao ensaio de secagem, de acordo com a norma EN 16322 (CEN, 2013). Este ensaio consiste em deixar o provete secar livremente pela superfície de acabamento, num ambiente controlado e monitorizar a sua perda de humidade através da perda de massa. Os resultados são expressos pelas curvas de evaporação, que mostram a variação do teor de água por área, ao longo do tempo (ilustrando bem a primeira fase de secagem) ou ao longo de raiz de tempo (ilustrando bem a segunda fase de secagem).

O ensaio foi realizado a todos os provetes, sendo que o resultado é a média dos três valores do mesmo sistema. Os provetes foram retirados da caixa de saturação, tendo sido retirada a água em excesso da base de cada provete através de papel absorvente. A base do ladrilho foi selada com um filme de polietileno, mantido com elásticos, garantindo assim, que a secagem se realizasse apenas pela face do acabamento. Os provetes foram pesados e colocados a secar na sala condicionada a $20 \pm 2^\circ\text{C}$ e $65 \pm 5\%$ de HR. Foram realizadas pesagens dos provetes de hora a hora durante as primeiras 8h, tendo sido as seguintes pesagens realizadas de 24h em 24h, durante 24 dias.

Os resultados são expressos através das curvas de evaporação, a partir das quais se determinam as taxas de secagem relativas à primeira e segunda fases de secagem, respetivamente D1 (em $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$) e D2 (em $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \sqrt{\text{h}})$), como se demonstra na figura 3.11. a partir da curva de secagem em função do tempo determina-se o Índice de secagem (IS) de todos sistemas a um tempo de 578,5 h, com base na EN 16322 (CEN, 2013).

A primeira fase de secagem consiste na evaporação da água superficial dos materiais, que, de um modo geral, ocorre rapidamente (Henriques, 2007). A segunda fase de evaporação traduz a evaporação da água existente nos poros de maiores dimensões do material, sendo bastante mais demorado, na medida que a água necessita de atravessar todos os poros do material até atingir a superfície (Henriques, 2007).

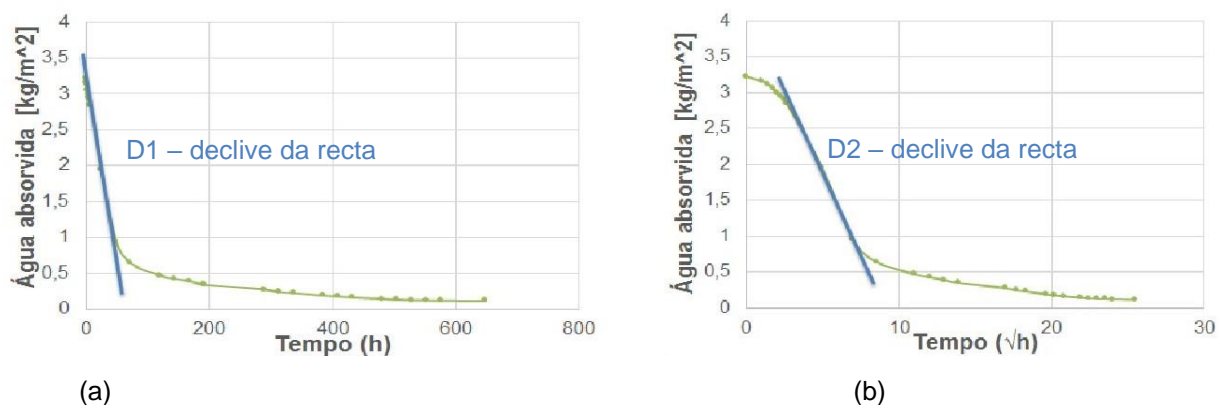


Figura 3.11 – Curvas relativas à primeira (a) e segunda (b) fases da secagem e segmentos rectos para cálculo das respectivas taxas de secagem

3.4.5 Permeabilidade ao vapor de água

O ensaio de permeabilidade ao vapor de água foi baseado na norma EN 15803 (CEN, 2009) e numa ficha de ensaio proposta pelo LNEC (LNEC, 2015) para o método da cápsula húmida. Para além da norma e ficha de ensaio referidas, consultaram-se ainda as normas EN ISO 12572 (CEN, 2001) e EN 1015-19 (CEN, 1998/2004), esta última referida pela NP EN 998-1 (CEN, 2010), que definem outros métodos de cálculo para o valor de permeabilidade ao vapor de água do ar. Assim sendo, realizou-se o cálculo do δ_a (permeabilidade ao vapor de água do ar) e do S_d (espessura da camada de ar equivalente) por todos os métodos, por existirem incongruências na comparação entre todas as normas. Como os provetes tinham uma área de 150 x 150mm foram utilizadas umas caixas plásticas com dimensões de 190 x 190 x 80 mm, por forma a permitir que os provetes encaixassem sobre as tampas. Foi definida uma secção útil de 130 x 130mm no provete, tendo sido impermeabilizadas, com cera líquida, as faces laterais e 10mm em todo o perímetro das faces laterais do provete (figura 3.12 (a)). Na tampa das caixas plásticas foi recortada uma secção de igual dimensão (figura 3.12 (b)). Posteriormente, o provete foi colado à tampa das caixas plásticas com mastique resistente à humidade, de modo a impedir a passagem de ar (figura 3.12 (c) e (d)). Nestas caixas, foi colocado algodão e 800ml de água, sendo que a única função do algodão foi evitar a deslocação da água durante as sucessivas pesagens. Por fim, a caixa foi fechada e selada novamente com mastique, de modo a ser criado um ambiente estanque e saturado no seu interior.

As amostras, recipiente de ensaio-provete, foram pesadas e colocadas numa câmara climática visível na figura 3.13, em condições controladas de $20 \pm 1^\circ\text{C}$ e $50 \pm 3\%$ de HR. A diferença de HR dentro da câmara climática e dentro das caixas dos provetes permite um fluxo migratório de vapor de água através dos provetes. Depois do provete estabilizar por um período de 48h, tiveram início as medições (pesagens) periódicas de 24h em 24h, durante 5 dias.

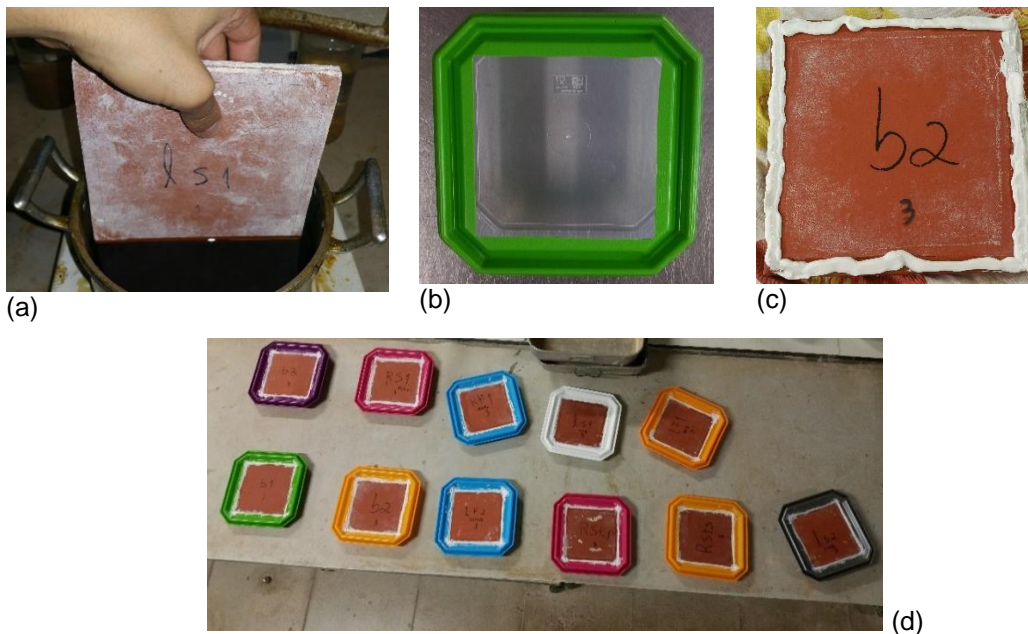


Figura 3.12 – Preparação de amostras para ensaio de permeabilidade ao vapor de água: (a) impermeabilização com cera líquida; (b) corte da secção útil de 130 x 130mm na tampa do recipiente de ensaio; (c) colocação do mastique no provete, deixando como área útil a secção das tampas; (d) provetes colados às tampas



Figura 3.13 – Provetes na câmara climática

Os resultados foram obtidos individualmente por provete, considerando no final a média dos três provetes do mesmo sistema. Estes foram expressos em permeabilidade ao vapor de água, δ_p (em kg/(m.s.Pa)), através da equação 3.1,

$$\delta_p = \frac{G \cdot D}{A \cdot \Delta p_v} \quad \text{Equação 3.1}$$

em que G (kg/s) é a taxa de fluxo do vapor de água, que flui através do provete; D (m) é a espessura da amostra, A (m²) é a área de superfície de ensaio e Δp_v (Pa) é a diferença da pressão do vapor de água em toda a amostra de [1168 Pa].

3.4.6 Absorção de água sob baixa pressão

Para a elaboração do ensaio de absorção de água sob baixa pressão através da utilização de tubos de Karsten utilizou-se como referência a norma EN 16302 (CEN, 2013). Desta forma, foram medidas as áreas interiores de contacto dos tubos de Karsten. Posteriormente, foi colocada a plasticina na base dos tubos, não obstruindo o orifício, e pressionou-se o conjunto contra os provetes, de modo a criar estanquidade no interior dos tubos, evitando assim fugas pela base durante o ensaio. De seguida, encheram-se com água até ao limite 0 ml e iniciou-se o ensaio (figura 3.14). Realizou-se a reposição da água até ao ponto inicial sempre que o sistema absorvia 4ml de água.

Neste ensaio realizaram-se medições de 10 em 10 segundos durante o primeiro minuto, sendo que posteriormente se mediu de 1 em 1 minuto até se perfazerem 5 minutos. Por fim, realizaram-se medições de 5 em 5 minutos até se atingir os 60 minutos.

Os resultados foram obtidos para cada provete, sendo realizada posteriormente uma média de cada sistema de acabamento. Os resultados deste ensaio são expressos em termos de quantidade de água absorvida por área livre da base do tubo de Karsten (CEN, 2013) e ainda do coeficiente de absorção de água, $C_{\text{absorção}}$ (Papworths, [n.d.]), que traduz a quantidade de água que o provete absorve por uma determinada área ao fim de uma hora (equação 3.2).

$$C_{\text{absorção}} = \frac{X \cdot 10^{-3}}{\frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot 10^{-6} \cdot \sqrt{t}} \quad \text{Equação 3.2}$$

Em que X é a quantidade de água absorvida [ml], d é o valor médio do diâmetro da maior abertura do tubo de Karsten com o valor de 25 mm e t é o tempo [h].

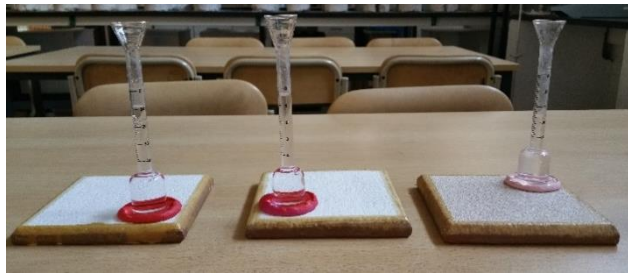


Figura 3.14 – Realização do ensaio de absorção de água a baixa pressão

3.4.7 Erosão por desgaste a seco

No ensaio de avaliação da erosão por desgaste a seco utilizou-se o equipamento demonstrado na figura 3.15, que foi produzido nos laboratórios do Departamento de Engenharia Civil no âmbito de estudos anteriores de caracterização de argamassas de reboco com base em terra (Faria et al., 2016), com base na norma DIN 18947 (DIN, 2013). Este aparelho aplica uma força de 2 kg através de uma escova de fibras que irá rodar sobre o provete. Esta rotação irá criar um determinado desgaste na superfície do provete em ensaio.

O ensaio iniciou-se com a pesagem de todos os provetes antes de serem sujeitos ao desgaste. Posteriormente, foi colocado o provete numa superfície plana sob a escova, estando esta em contato direto com a superfície. De seguida, foram realizadas 20 voltas completas pela escova e, no final, pesado de novo o provete. A diferença de massa registada significa o desgaste provocado pela escova no provete.



Figura 3.15 – Equipamento e ensaio de erosão por desgaste a seco

A escova utilizada neste ensaio foi a que possui maior rigidez das três escovas correntemente utilizadas (Faria et al., 2016) (figura 3.16).



Figura 3.16 – Três tipos de escovas para o ensaio de erosão por desgaste a seco; foi utilizada a escova da direita

3.4.8 Coesão superficial

Para realizar o ensaio de determinação da coesão superficial, com base em estudos anteriores (Drdácký et al., 2014; Faria, et. al., 2016) utilizou-se uma fita-cola da marca Tesa, referência Extra Power, como mostra a figura 3.17(a). Começou-se por cortar pedaços da fita-cola todos do mesmo tamanho (0,05 x 0,05 m) e pesá-los. De seguida, os pedaços foram colados contra a superfície de acabamento dos provetes. Em cima da fita-cola colocaram-se quadrados de policloropreno previamente cortados, todos eles com as mesmas dimensões (0,07 x 0,07 m), de maneira a distribuir uniformemente as tensões geradas pelo peso de 5kg que foi colocado posteriormente em cima da área abrangida pela fita-cola (figura 3.17 (b) e (c)). Este peso permaneceu em cima dos quadrados de policloropreno durante um intervalo de 30 minutos. Findo esse tempo, a fita-cola foi arrancada com um único movimento brusco. De modo a conhecer-se o

valor da coesão superficial, pesou-se de novo a fita-cola no final do ensaio, obtendo assim uma diferença de massa que caracteriza a facilidade e a quantidade de material arrancado pela fita-cola.

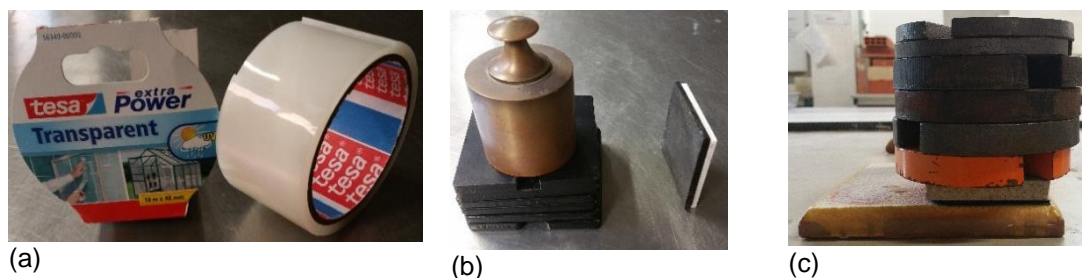


Figura 3.17 – Fita-cola Tesa Extra Power utilizada no ensaio de coesão superficial (a); peso de 5kg e quadrado de policloropreno (b); permanência do peso sobre a fita-cola (c)

3.4.9 Aderência

O ensaio de arrancamento por *pull-off* consiste na medição da força necessária para arrancar umas pastilhas que foram antecipadamente coladas aos provetes. Em primeiro lugar, os provetes foram cortados manualmente para não impor vibração aos provetes com uma broca oca com um diâmetro de 50 mm, tendo-se perfurado apenas o acabamento e a argamassa, ou seja, furou-se até ao suporte. De seguida, através de cola de mistura da Ceys colaram-se as pastilhas metálicas ao provete na zona previamente cortada (figura 3.18). A cola ficou a secar durante 48h, permitindo que esta, aquando o ensaio, estivesse completamente seca. Os provetes foram ensaiados num equipamento Zwick GmbH & Co, de tipo 1486, com o número de série 126124 e número de fabricante 70468, no qual foram fixados através de uns grampos metálicos de modo a não existirem movimentos, por parte destes, quando o equipamento iniciasse o movimento de tração. A força necessária para o arrancamento foi registada no *software* do equipamento.

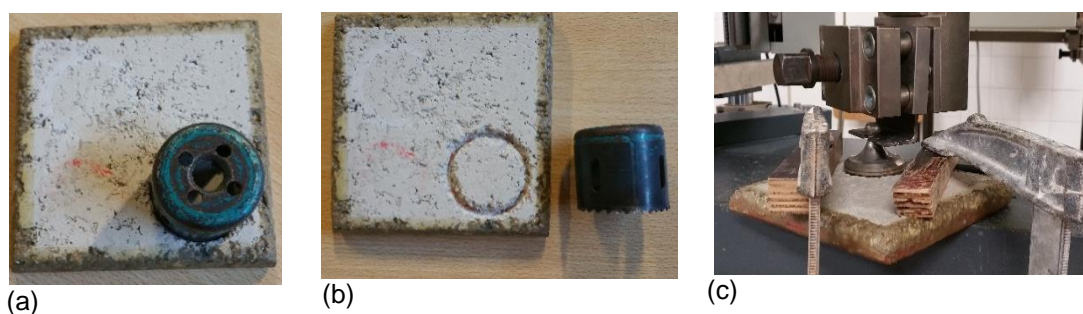


Figura 3.18 – Ensaio de pull-off: (a) e (b) provete em furação e broca oca com Φ 50mm; (c) provete a ser ensaiado no equipamento de tração

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Enquadramento

Neste capítulo, são apresentados, geralmente através de figuras, e discutidos os resultados médios das três séries de provetes sujeitas aos ensaios anteriormente descritos. Sempre que possível, são considerados os valores dos três provetes, permitindo assim calcular o desvio padrão associado (embora com pouca precisão devido ao reduzido número da amostra). Após a apresentação e discussão de todos os ensaios, os valores respetivos são apresentados em tabelas de síntese, de forma a facilitar análise integrada.

A análise dos resultados dos sistemas ensaiados está apresentada por sistema de acabamento e por tipo de argamassa.

4.2 Avaliação da fissuração, textura e aspeto estético

A avaliação da fissuração reproduz resultados baseados apenas numa observação visual com lupa, sendo esta, assim, uma avaliação apenas qualitativa. Ao realizar este ensaio, ficou claro que os únicos sistemas que apresentam fissuração são os sistemas com o acabamento de massa areada **Ma**. Esta fissuração ocorre em quatro dos seis provetes com este acabamento. Uma razão justificativa para este acontecimento prende-se com existência de areia fina na constituição da massa areada, **Ma**, o que, à partida, pode parecer contraditório, visto que este agregado com pequena dimensão, em teoria, serve para minimizar a fissuração em comparação com a massa areada sem areia. Assim sendo, a massa de cal com areia fina pode ter suscetibilidade para fissurar pois a dimensão do agregado pode ser de elevadas dimensões para este acabamento. Na figura 4.1 são apresentadas imagens das microfissuras detetadas e as suas espessuras.

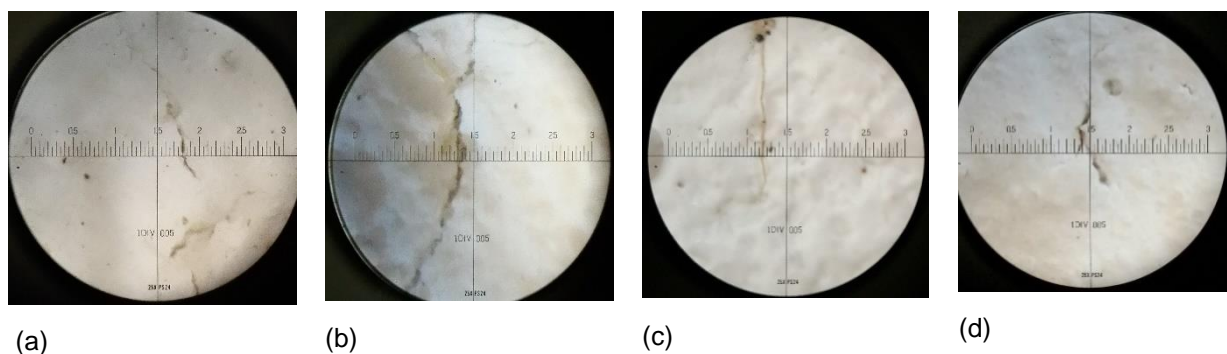


Figura 4.1 – Microfissuração ocorrida nas superfícies de acabamento: (a) provete **RsMa1** – microfissura com 0,05mm; (b) provete **RsMa3** – microfissura com 0,1mm; (c) provete **RfMa1** – microfissura com 0,05mm; (d) provete **RfMa3** – microfissura com 0,05mm

Em relação à textura, todos os sistemas com acabamento apresentam uma textura rugosa, exceto os acabamentos **B**, com barramento.

Nos aspetos estéticos, verificou-se a perda de cor do acabamento quando os sistemas de barramento aplicados a fresco, **RfB**, estavam saturados (figura 4.2a). A cor foi restituída assim que o sistema secou.

Os sistemas com aplicação da tinta de silicatos após a realização do ensaio de secagem apresentaram uma cor acastanhada na periferia do provete (figura 4.2b). Nos restantes sistemas não se verificou qualquer alteração estética.

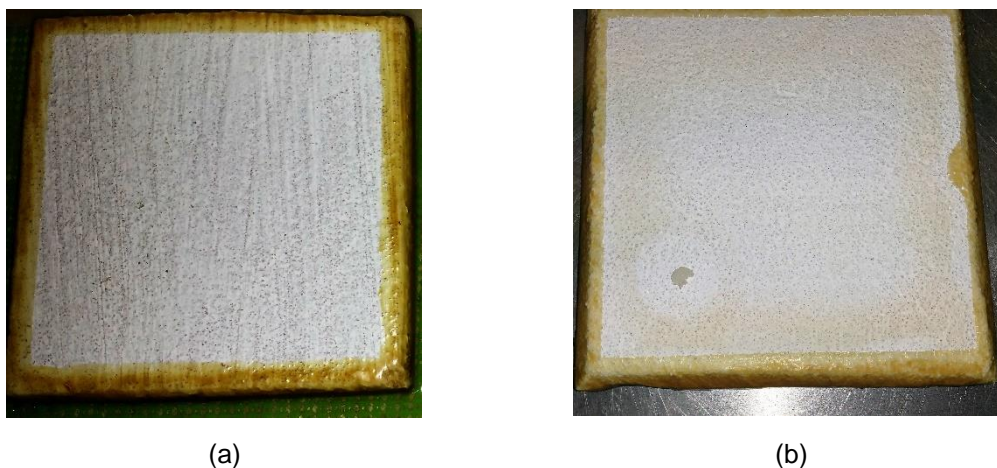


Figura 4.2 – Aspeto estético dos sistemas: (a) descoloração do sistema com aplicação a fresco de barramento **RfB**; (b) cor na periferia do sistema de tinta de silicatos **RsTs**

4.3 Dureza superficial

Os resultados de dureza superficial obtidos encontram-se na figura 4.3.

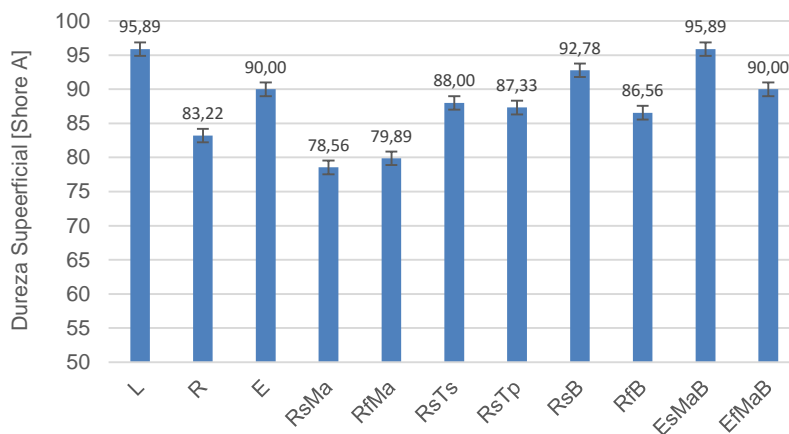


Figura 4.3 –Valores de dureza superficial

Pode confirmar-se que os sistemas base (**L**, **R** e **E**) possuem valores distintos, como expectável, sendo o ladrilho simples, **L**, o provete que apresenta o maior valor, uma vez que se trata de um material completamente diferente dos restantes. Nos sistemas **E** e **R** (só com aplicação de emboço e reboco, respectivamente) existe um diferencial justificado pelo facto de a argamassa **E** possuir uma percentagem

de cinzas e areia grossa, o que implica muito provavelmente um acréscimo de resistência e, neste caso, um aumento da dureza superficial.

Nos sistemas com argamassa de reboco, os com acabamento de massa areada, **Ma**, são os que possuem menor dureza superficial, aproximando-se do valor do sistema de referência, **R**.

Os restantes sistemas com argamassa de reboco apresentam valores dentro da mesma gama, embora superiores ao da referência, **R**.

Os sistemas com argamassa de emboço possuem valores superiores ao de referência, **E**, embora dentro da mesma gama.

4.4 Absorção de água por capilaridade

Na figura 4.4 são apresentadas as curvas de absorção capilar a partir do ladrilho de todos os sistemas de acabamento. Na Figura 4.5 são apresentados os coeficientes de capilaridade respectivos.

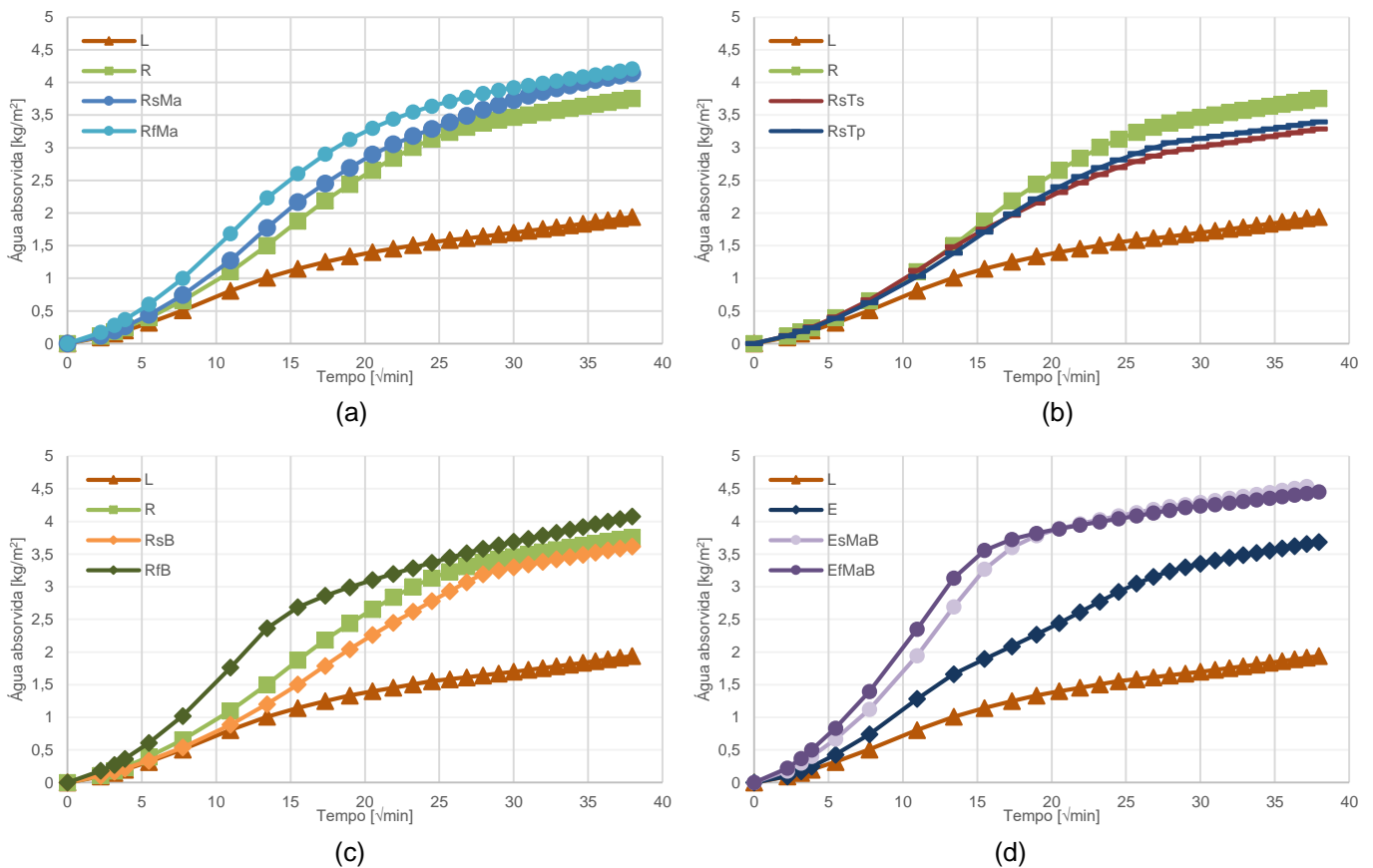


Figura 4.4 – Curvas de absorção capilar a partir do ladrilho, comparativamente com as de referência: (a) sistemas com massa areada sobre reboco seco e fresco, **RsMa** e **RfMa**; (b) sistemas com pintura com tintas de silicatos e plástica sobre reboco seco, **RsTs** e **RsTp**; (c) sistemas com barramento sobre reboco seco e fresco, **RsB** e **RfB**; (d) sistemas com massa areada e barramento sobre emboço seco e fresco, **EsMaB** e **EfMaB**

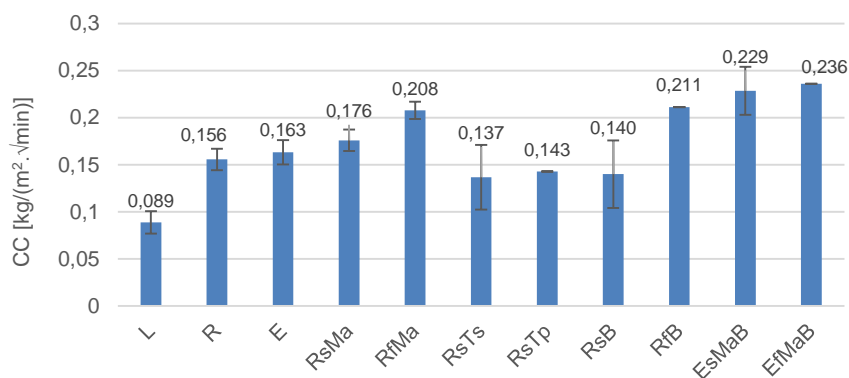


Figura 4.5 – Coeficiente de capilaridade

Por observação das Figuras 4.4 e 4.5 verifica-se que todos os sistemas apresentam absorção capilar superior à do ladrilho isolado. Verifica-se ainda que todos os sistemas analisados apresentam três fases de absorção capilar: uma fase inicial de absorção crescente mas lenta (que corresponde possivelmente ao período de absorção do ladrilho); uma 2ª fase com uma elevada taxa de absorção, na qual foi determinado o coeficiente de absorção capilar, e uma 3ª fase em que há tendência para a estabilização da absorção. Os provetes constituídos só por ladrilho, **L**, e por emboço sobre ladrilho, **E**, foram aqueles em que a passagem da 2ª para a 3ª fase está pior definida.

Constata-se que os sistemas com argamassa de reboco apresentam valores próximos dos valores obtidos para o reboco não revestido.

No caso dos acabamentos com massa areada, **Ma**, os valores obtidos são ligeiramente superiores ao valor de referência, **R**.

Quanto aos acabamentos por pintura, estes apresentam resultados muito semelhantes entre si e com o sistema de argamassa **R**. Para o sistema com acabamento de tinta plástica, **RsTp**, não foi possível determinar o desvio-padrão devido ao facto de não ter sido possível calcular o coeficiente de capilaridade num dos provetes que, por motivo não determinado mas que pode ser devido a fissuração do ladrilho, não tendeu para a estabilização da absorção.

Em relação ao acabamento por barramento sobre reboco, há alterações de comportamento face à altura de aplicação, ou seja, o barramento aplicado sobre o reboco seco apresenta uma menor absorção capilar do que o sistema de referência, aproximando-se muito do comportamento do sistema com tinta plástica. Já o barramento aplicado sobre o reboco fresco apresenta uma maior absorção capilar do que o sistema base **R**, aproximando-se do valor obtido para o sistema de massa areada aplicado a fresco, **RfMa**. Também no caso do sistema com barramento aplicado a fresco, **RfB**, não foi possível determinar o desvio-padrão do coeficiente de capilaridade.

Ambos os sistemas com barramento sobre massa areada sobre argamassa de emboço se distanciam do sistema de referência, **E**, sendo o sistema aplicado a fresco o que obtém maiores valores de absorção capilar. Também no caso do sistema constituído por argamassa de emboço, massa areada e barramento, **EfMaB**, não foi possível determinar o desvio-padrão do coeficiente de capilaridade.

Em todos os sistemas nos quais se verifica uma alteração do tempo de aplicação do acabamento se constata que os sistemas a fresco obtêm valores de absorção capilar superiores aos mesmos sistemas aplicados a seco. Este fenómeno acontece porque existe uma continuidade da estrutura porosa nas diversas camadas, facilitando assim o transporte de água.

O valor obtido no coeficiente de absorção por capilaridade para a tinta de silicatos está de acordo com os resultados apresentados em estudos anteriores, nomeadamente por Brito et al. (2011) que apresenta valores na ordem dos 0,06 a 0,43 kg/(m².min^{1/2}) e por Tavares (2009) que exhibe valores entre 0,11 a 0,29 kg/(m².min^{1/2})

4.5 Secagem

Na figura 4.6 são apresentadas as curvas médias de secagem dos sistemas de acabamento analisados: da primeira e segunda fase de secagem (esquerda e direita, respectivamente). Na Figura 4.7 apresentam-se as taxas de secagem nas fases 1 e 2 de cada sistema.

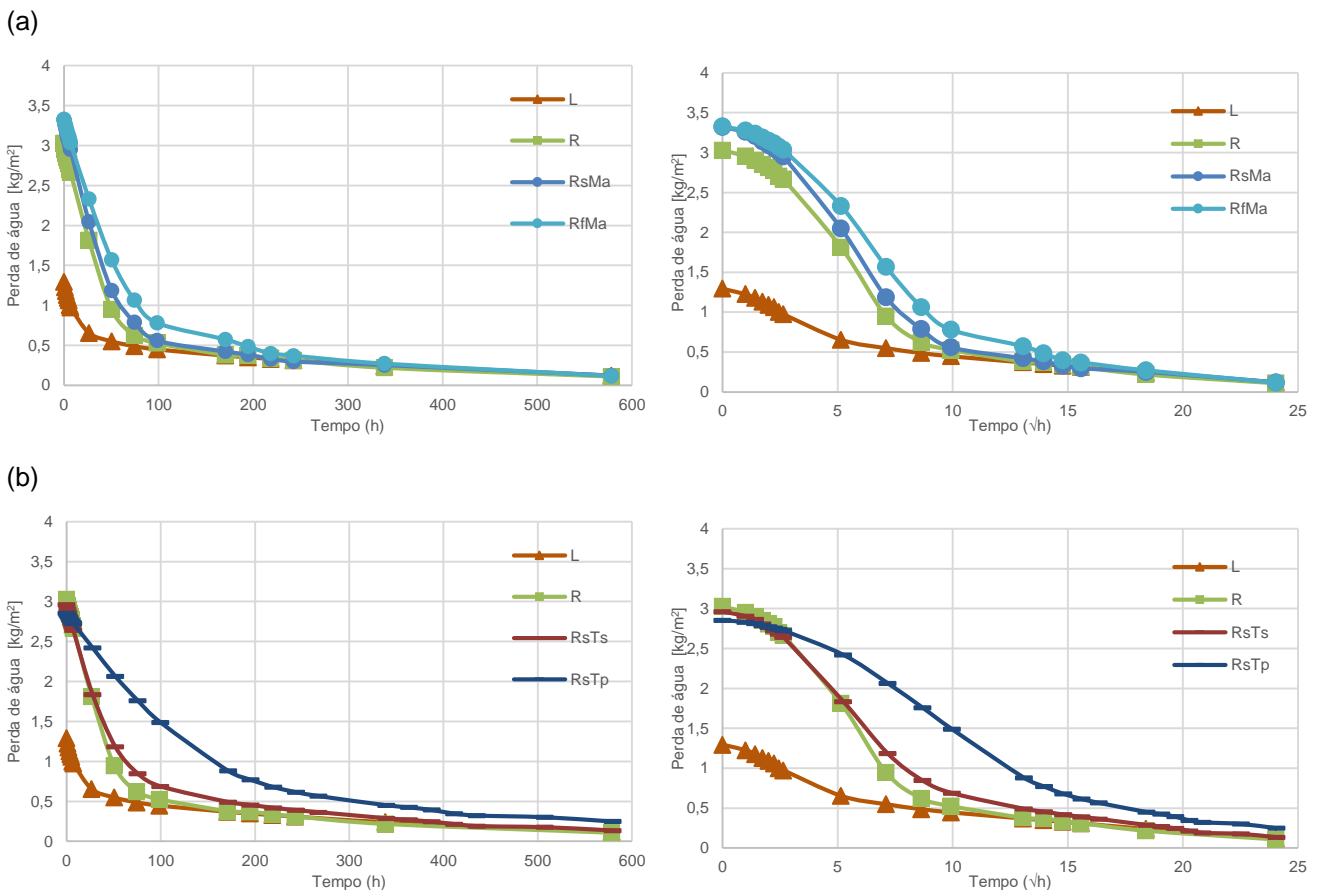


Figura 4.6 – Curvas de secagem em ordem ao tempo (esquerda) e à raiz quadrada do tempo (direita), comparativamente às de referência: (a) sistemas com massa areada sobre reboco seco e fresco, **RsMa** e **RfMa**; (b) sistemas com pintura com tintas de silicatos e plástica sobre reboco seco, **RsTs** e **RsTp**; (c) sistemas com barramento sobre reboco seco e fresco, **RsB** e **RfB**; (d) sistemas com massa areada e barramento sobre emboço seco e fresco, **EsMaB** e **EfMaB**

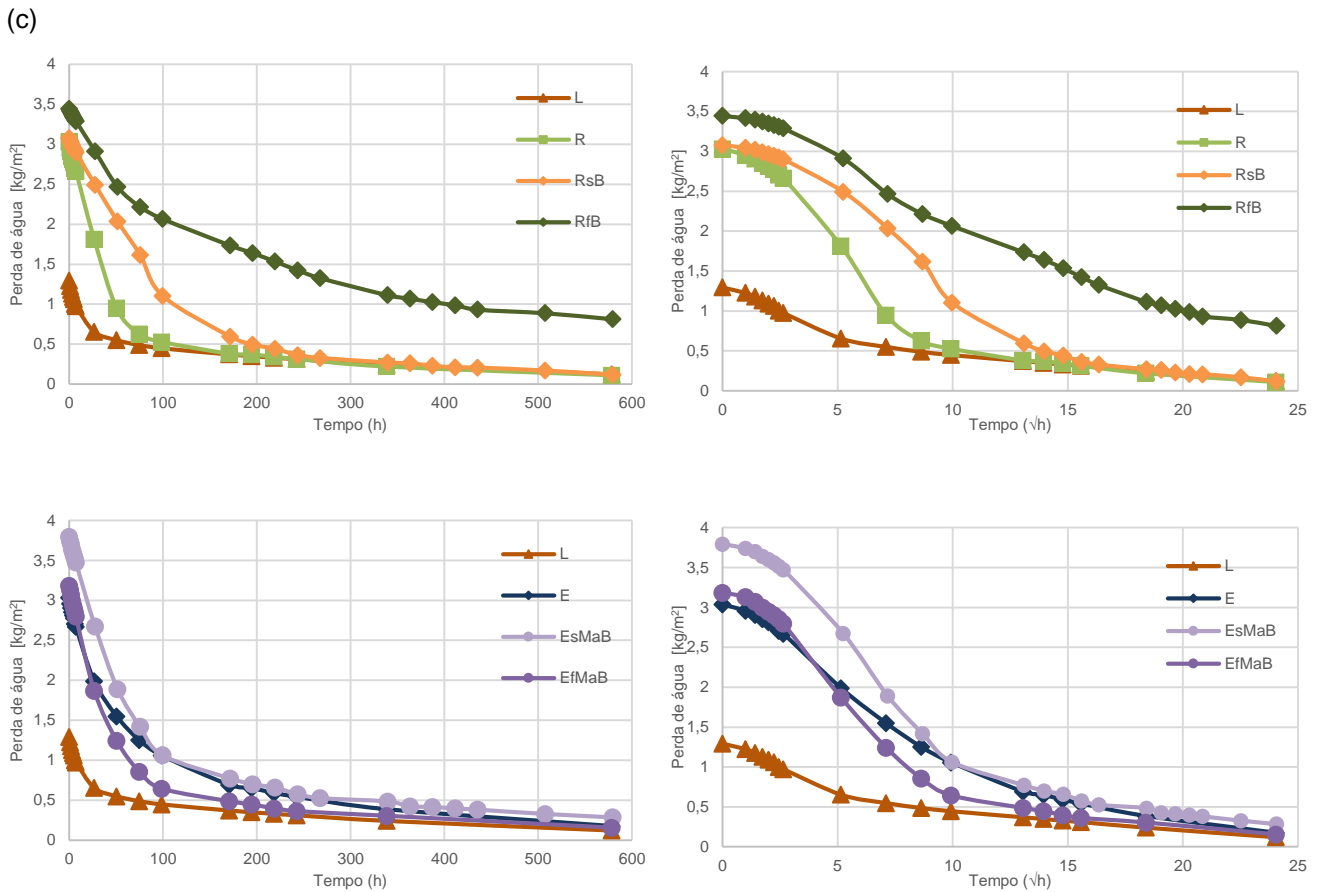


Figura 4.6 – Curvas de secagem em ordem ao tempo (esquerda) e à raiz quadrada do tempo (direita), comparativamente às de referência: (a) sistemas com massa areada sobre reboco seco e fresco, **RsMa** e **RfMa**; (b) sistemas com pintura com tintas de silicatos e plástica sobre reboco seco, **RsTs** e **RsTp**; (c) sistemas com barramento sobre reboco seco e fresco, **RsB** e **RfB**; (d) sistemas com massa areada e barramento sobre emboço seco e fresco, **EsMaB** e **EfMaB** (cont.)

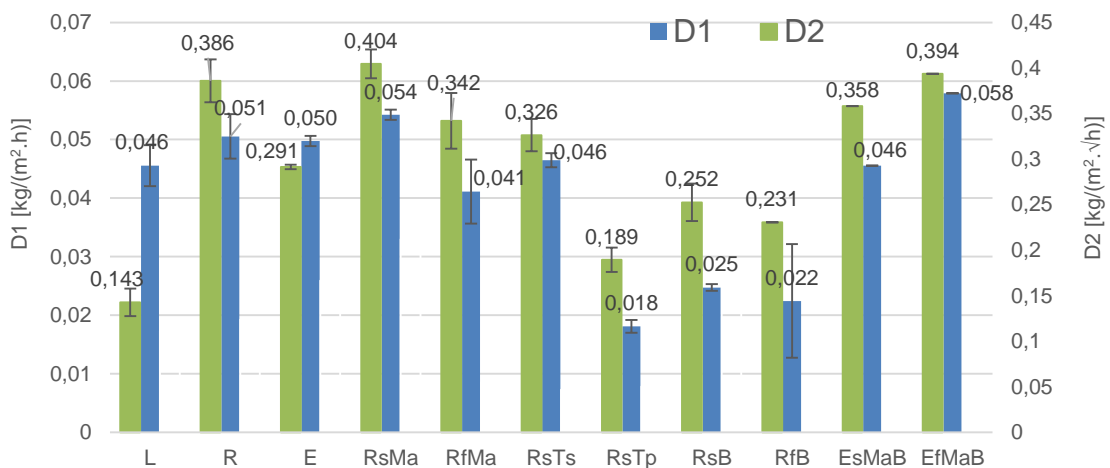


Figura 4.7 – Taxas de secagem nas fases 1 (D1) e 2 (D2)

Os sistemas com massa areada, **Ma**, na primeira e segunda fase de secagem (D1; D2), apresentam valores semelhantes entre si e com o sistema de referência, **R**. Apesar disso, destaca-se que o acabamento

aplicado a fresco demora mais tempo a realizar a secagem do que os restantes, obtendo assim um valor de D1 e D2 inferior.

Em relação aos sistemas por pintura com tintas, estas apresentam resultados díspares entre si, tendo a tinta de silicatos um comportamento semelhante à argamassa **R** em ambas as fases de secagem, embora com valores ligeiramente inferiores, no que se refere ao D1 e D2. Quanto à tinta plástica, esta apresenta os menores valores das taxas de secagem de todos os sistemas.

No que diz respeito aos sistemas com acabamento de barramento, há que referir que apenas se considerou na aplicação a fresco o declive da reta média dos três provetes e não a média dos declives dos três provetes, uma vez que numa das séries foi impossível calcular o declive da reta. Assim sendo, não é apresentado desvio-padrão para o D2 do **RfB**. Desta forma, os sistemas aplicados a fresco e a seco ocupam posições distintas em relação ao sistema de referência, embora os primeiros sejam bastante semelhantes entre si e o sistema com tinta plástica.

Para finalizar, para os sistemas com argamassa de emboço, à semelhança do sistema **RfB**, também não foi possível determinar o desvio-padrão, apresentando-se a mesma justificação para o sucedido. Posto isto, os sistemas **EsMaB** e **EfMaB** são semelhantes entre si e obtêm valores superiores de D1 e D2 face ao sistema de referência, **E**.

Constata-se também que em todos os sistemas cujo acabamento foi aplicado a seco e a fresco, os sistemas a seco apresentam valores de D1 e D2 superiores, ou seja, libertam mais rapidamente a humidade. São de exceção os sistemas com argamassa de emboço, em que a relação é a contrária.

Mais uma vez, os valores e as tendências obtidas para os acabamentos por pintura, estão de acordo com estudos anteriormente realizados, nomeadamente (Brito et al., 2011).

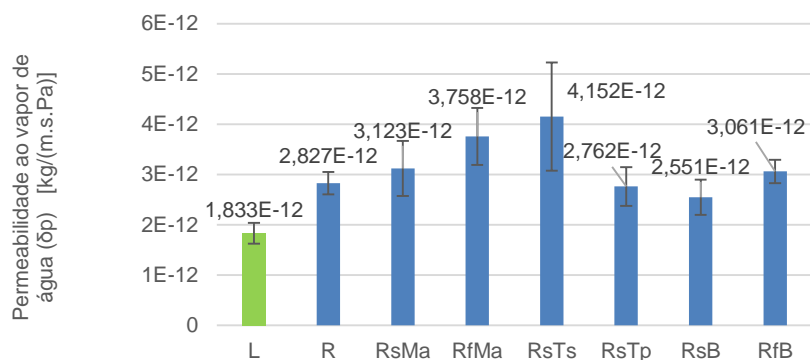
4.6 Permeabilidade ao vapor de água

Na figura 4.8 são apresentados os valores de permeabilidade ao vapor de água e da espessura da camada de ar de difusão equivalente.

Observando os valores de permeabilidade ao vapor de água de todos os sistemas verifica-se que a permeabilidade é menor quando temos só ladrilho comparativamente a ladrilho com camadas sobrepostas. Dessa forma, parece que as camadas sobrepostas podem aumentar a permeabilidade ao vapor dos sistemas.

Existe uma tendência muito semelhante entre o valor de permeabilidade ao vapor de água face aos resultados obtidos para o coeficiente de capilaridade, verificando-se uma permeabilidade crescente do ladrilho para o reboco sem acabamento, e deste para a massa areada aplicada a seco, com um valor idêntico ao barramento aplicado a fresco. Ambos os sistemas de pintura plástica e o barramento aplicado a seco, que tinham registado os menores coeficientes de capilaridade, apresentam, de novo, as menores permeabilidades ao vapor de água.

(a)



(b)

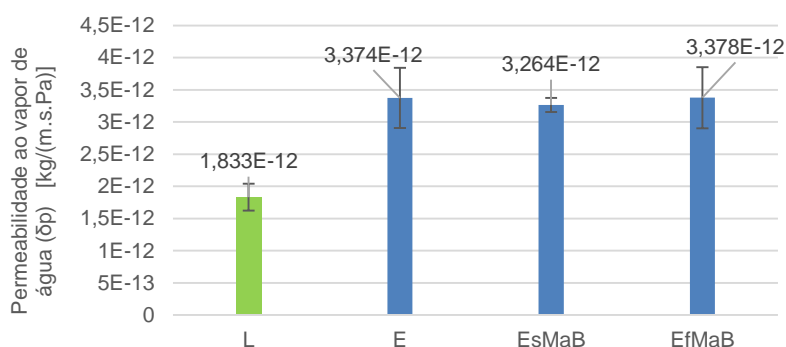


Figura 4.8 – Permeabilidade ao vapor de água dos sistemas com argamassa de reboco (a) e com argamassa de emboço (b)

Quanto aos sistemas com argamassa de emboço, verifica-se a mesma tendência em relação ao coeficiente de capilaridade, mas apenas para os sistemas com acabamento. Isto porque o sistema de referência, **E**, permite uma maior passagem de vapor de água do que água líquida.

É de salientar que o sistema de acabamento de tinta de silicatos aplicada sobre o reboco seco apresenta-se como o sistema mais permeável ao vapor, uma vez que esta tinta não bloqueia os poros, por não criar película, combinando-se com o material de base. Não se encontra justificação para o valor deste sistema ser superior ao valor do sistema de reboco sem acabamento, embora o sistema de tinta de silicatos se encontre dentro do erro estimado do sistema base. O sistema com tinta de silicatos é logo seguido pelos sistemas de massa areada aplicada sobre reboco fresco. Uma explicação possível, principalmente para este último sistema, poderá ser a rugosidade apresentada, devido à maior área para dissipação do vapor, embora não se tenha realizado ensaio específico para a medição da mencionada.

4.7 Absorção de água a baixa pressão

Na figura 4.9 estão expostas as curvas de absorção de água a baixa pressão, que apresentam a quantidade de água absorvida por área de contacto, em função do tempo. Na figura 4.10 podem observar-se os coeficientes de absorção de água a baixa pressão ao fim de 60 minutos. Verifica-se que os sistemas de referência, constituídos pelo reboco ou pelo emboço aplicados sobre o ladrilho (**R** e **E**) absorvem muito

mais água e muito mais rapidamente que o ladrilho isolado, assim como quando camadas suplementares são aplicadas sobre o respectivo reboco ou emboço, a seco ou a fresco.

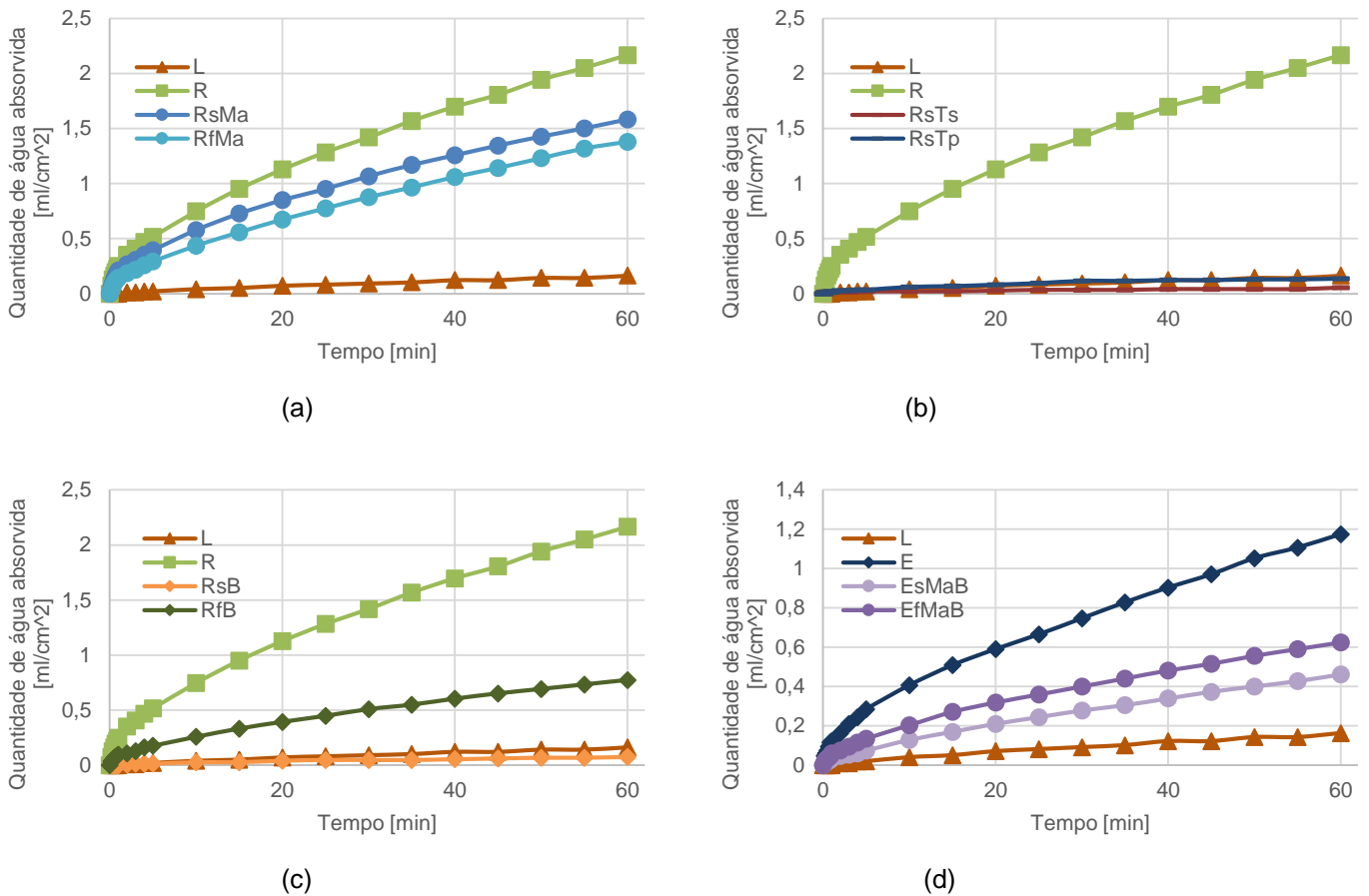


Figura 4.9 – Curvas de absorção de água sob baixa pressão em função da área ao fim de 60 minutos para diferentes grupos de sistemas de acabamento

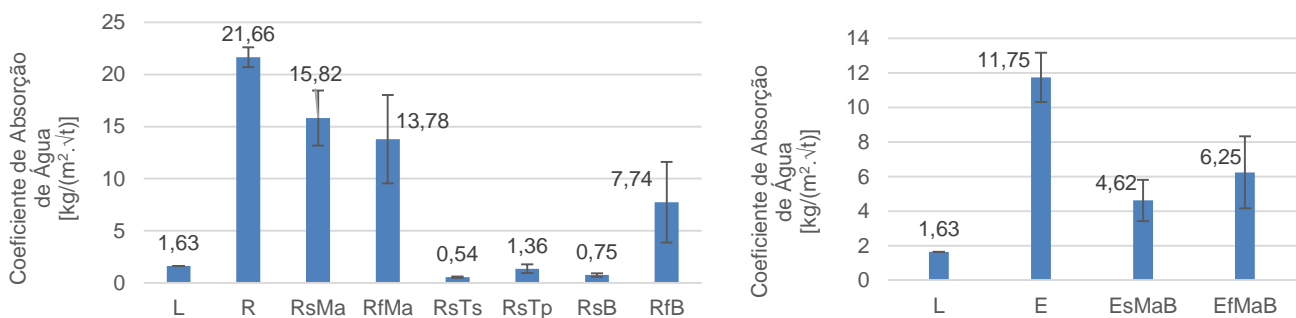


Figura 4.10 – Coeficiente de absorção de água sob baixa pressão ao fim de 60 minutos para os sistemas com reboco e com emboço, face às referências

Os acabamentos de **Ma** apresentam valores próximos do sistema de referência, **R**. Não existe uma diferença significativa entre os tempos de aplicação, embora o acabamento aplicado a seco apresente um coeficiente de absorção superior ao acabamento a fresco.

As tintas exibem um comportamento e valor de coeficiente de absorção de água idêntico entre si e muito semelhante ao comportamento do ladrilho sem argamassa nem acabamento.

Os sistemas com acabamento de barramento apresentam valores distintos em relação ao tempo de aplicação, ou seja, o barramento aplicado a seco, **RsB** tem um comportamento em tudo semelhante às tintas e o barramento aplicado a fresco, **RfB** possui uma maior absorção de água, devido à continuidade da rede porosa com a argamassa de reboco subjacente, a água é facilmente transportada para o reboco, aumentando a absorção total.

Os sistemas **EsMaB** e **EfMaB** possuem valores idênticos entre si e encontram-se balizados entre o ladrilho sem argamassa e o sistema de referência, **E**.

4.8 Erosão por desgaste a seco

A figura 4.11 demonstra a superfície de um acabamento após o ensaio. Na figura 4.12 estão representados os valores de perda de massa provocada pela rotação padronizada da escova sobre o sistema de acabamento.



Figura 4.11 – Superfície ilustrativa do desgaste provocado pela escova num acabamento (canto superior direito)

Verifica-se que, tal como seria expectável, o sistema **R** sofreu o maior desgaste. Tal é devido ao facto deste sistema não ter qualquer tipo de acabamento. Pela disparidade de valores obtidos, apresentam-se os resultados dos restantes sistemas em escalas distintas.

Os sistemas com acabamento de massa areada **Ma** têm um comportamento distinto quanto à altura de aplicação (seco ou fresco); o acabamento aplicado a fresco sofre um maior desgaste comparativamente ao aplicado a seco.

Os revestimentos por pintura com tintas sofreram um desgaste nulo, que não provocou qualquer alteração no seu acabamento.

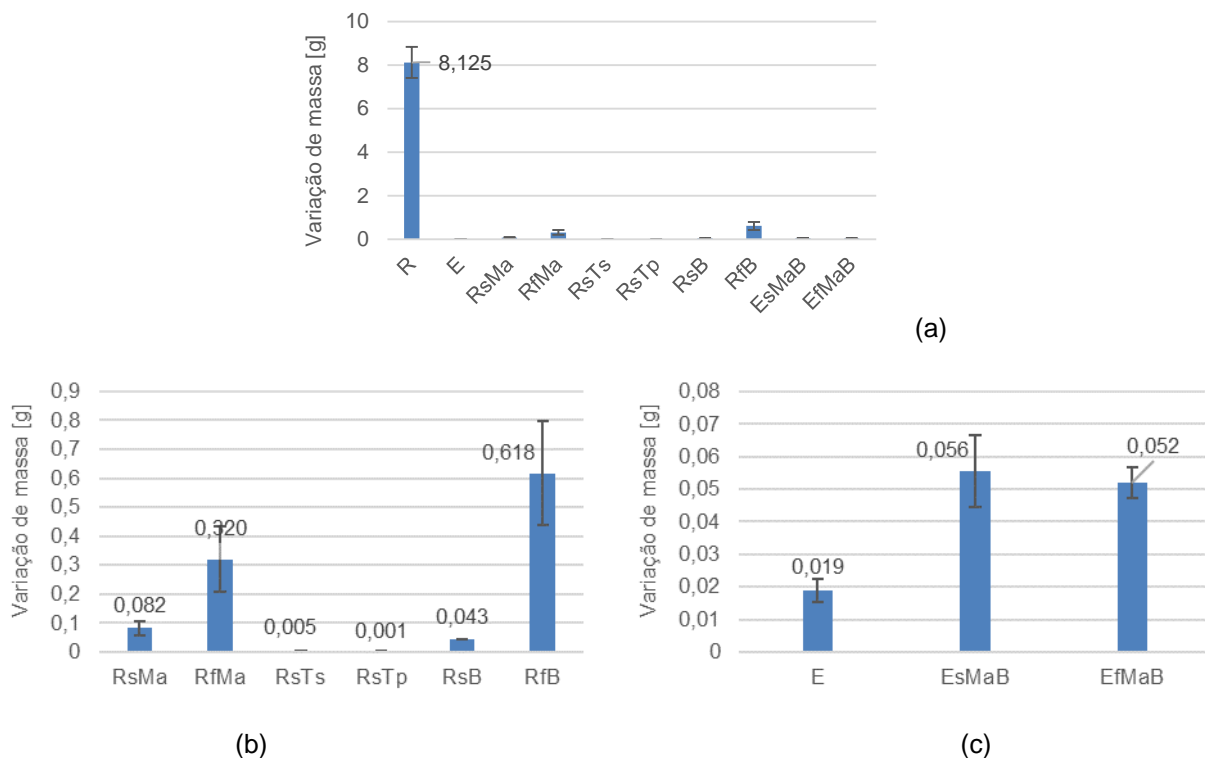


Figura 4.12 – Variação de massa por erosão /desgaste a seco de: (a) todos os sistemas ensaiados; (b) sistemas com argamassa de reboco; (c) sistemas com argamassa de emboço

Relativamente ao acabamento de barramento, confirma-se a mesma tendência existente nos sistemas com **Ma**, ou seja, o barramento aplicado a fresco sofreu um maior desgaste do que o aplicado a seco.

Os sistemas de emboço sofreram um desgaste mínimo, mas de uma forma contrária aos sistemas de reboco, isto porque o acabamento aplicado a seco sofreu maior desgaste que o aplicado a fresco, sendo ambos superiores ao de referência, **E**.

4.9 Coesão superficial

A figura 4.13 ilustra o material aderido à fita-cola após ensaio. Na figura 4.14 estão representados os valores de perda de massa, por perda de coesão superficial, dos acabamentos e dos sistemas base.



Figura 4.13 – Exemplo de material arrancando do acabamento do provete

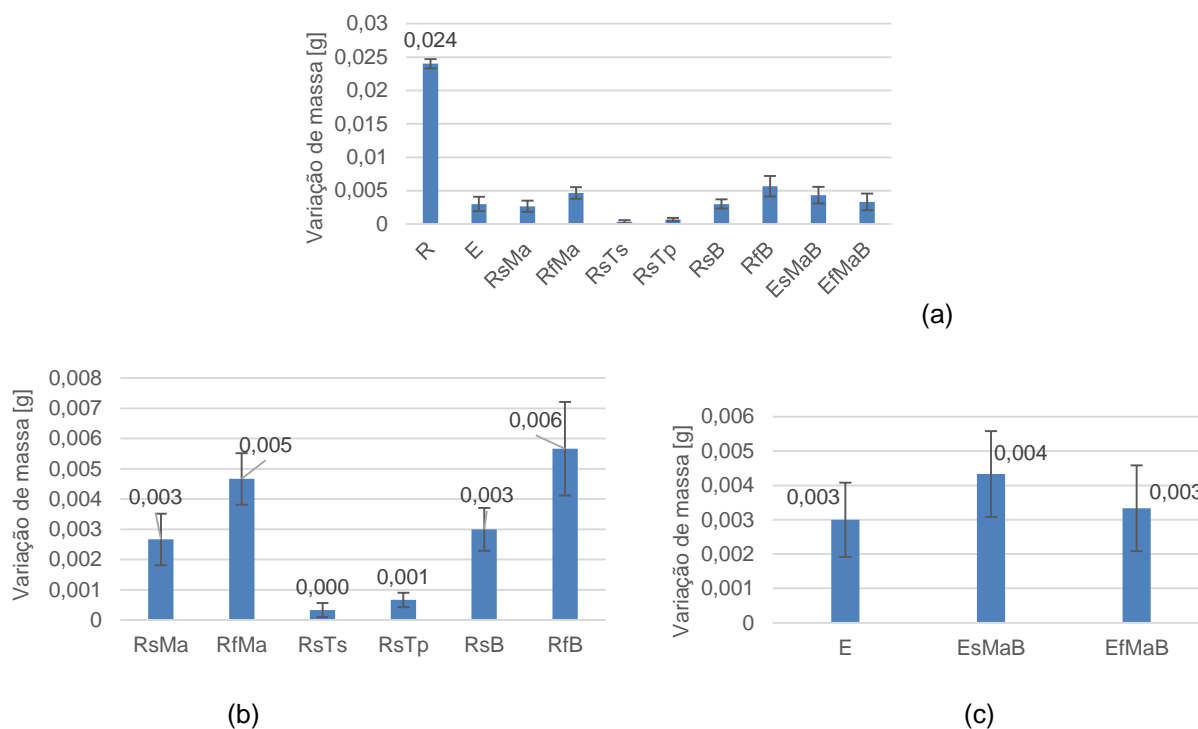


Figura 4.14 – Variação de massa no ensaio de coesão superficial de: (a) todos os sistemas ensaiados; (b) sistemas com argamassa de reboco; (c) sistemas com argamassa de emboço

Os resultados obtidos neste ensaio em tudo se assemelham aos valores obtidos para a erosão por desgaste a seco. Daí também a opção por apresentar os resultados dos sistemas não incluindo o sistema só de reboco sobre ladrilho, **R**, com escala distinta.

Verifica-se um acréscimo de perda de coesão nos sistemas aplicados a fresco em relação aos aplicados a seco, no caso dos acabamentos em argamassas de reboco.

Nos sistemas de pintura por tintas, mais uma vez, não ocorre perda de coesão, como seria de esperar.

Os sistemas de emboço também confirmam a tendência apresentada anteriormente, com a exceção de que, neste caso, os valores de **EsMaB**, **EfMaB** e **E** se aproximam bastante.

4.10 Aderência

Na figura 4.15 estão representados os valores da tensão necessária ao arrancamento dos sistemas. Neste ensaio, como é óbvio, não foi ensaiado o provete **L**.

É de salientar que um dos provetes com sistema de acabamento de massa areada aplicada a fresco não foi considerado, pelo facto de ter existido uma rotura do ladrilho durante o ensaio. Como tal, o valor médio de **RfMa** é apenas constituído por dois valores, não se determinando nesse caso o desvio-padrão.

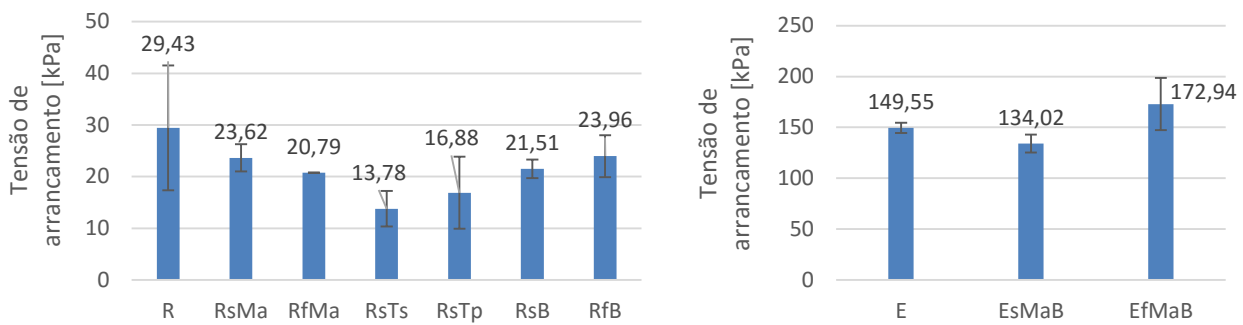


Figura 4.15 – Tensão de arrancamento

As tensões de arrancamento dos sistemas com reboco encontram-se todas dentro do mesmo intervalo (20 – 30 kPa), com exceção dos sistemas com acabamento por pintura com tintas. Verifica-se que o sistema com barramento aplicado a seco apresenta um valor ligeiramente superior ao aplicado a fresco.

Os sistemas com argamassa de emboço, à partida, obtiveram valores muito superiores aos com argamassa de reboco, como seria de esperar. O sistema com acabamento a seco apresenta um valor inferior ao sistema de referência, e o sistema com aplicação a fresco apresenta um valor superior, confirmando a tendência verificada nos sistemas com barramento.

Na figura 4.16 representam-se as duas formas de rutura ocorridas durante o ensaio.

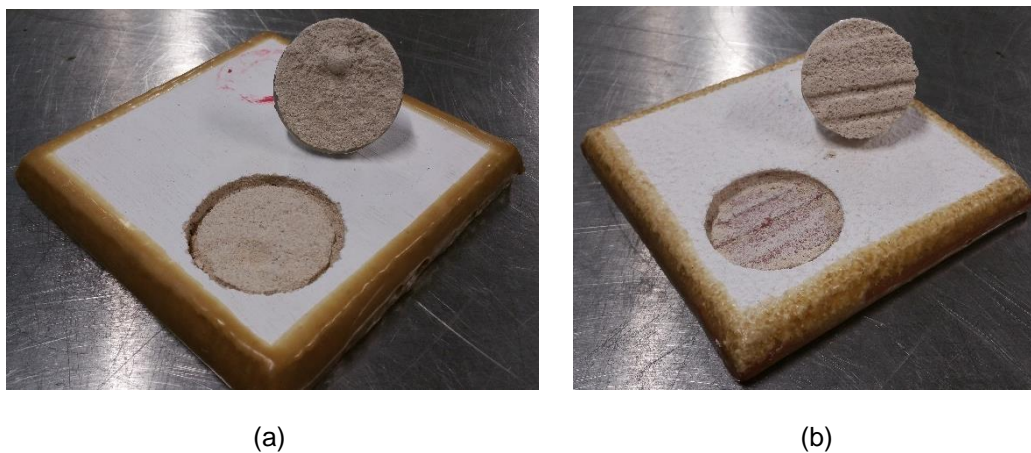


Figura 4.16 – Rotura coesiva no sistema RsB-1 (a); Rotura adesiva no sistema RfMa-3

Na tabela 4.1 são apresentados os tipos de rotura existentes no decorrer do ensaio de arrancamento.

Pode-se constatar que a rotura predominante neste ensaio foi a rotura adesiva entre a argamassa e o suporte, demonstrando, assim, que a camada mais fraca dos sistemas é a interface de ligação ladrilho – argamassa.

Alguns sistemas constituídos por argamassa de reboco apresentam uma rotura coesiva da argamassa significando, desta maneira, que o valor de resistência de aderência ao suporte é superior ao valor obtido.

Tabela 4.1 – Tipo de rotura no ensaio de arrancamento: coesiva na argamassa; adesiva entre a argamassa e o suporte

Sistemas	Tipo de rotura
R-1	Coesiva
R-2	Adesiva
R-3	Coesiva
E-1	Adesiva
E-2	Adesiva
E-3	Adesiva
RsMa-1	Adesiva
RsMa-2	Adesiva
RsMa-3	Adesiva
RfMa-1	Adesiva
RfMa-2	-
RfMa-3	Adesiva
RsTs-1	Adesiva
RsTs-2	Adesiva
RsTs-3	Adesiva
RsTp-1	Adesiva
RsTp-2	Adesiva
RsTp-3	Adesiva
RsB-1	Coesiva
RsB-2	Adesiva
RsB-3	Coesiva
RfB-1	Adesiva
RfB-2	Adesiva
RfB-3	Adesiva
EsMaB-1	Adesiva
EsMaB-2	Adesiva
EsMaB-3	Adesiva
EfMaB-1	Adesiva
EfMaB-2	Adesiva
EfMaB-3	Adesiva

Embora em nenhum grupo de acabamento igual se tenha obtido, nos três provetes, uma rotura coesiva, considera-se que os sistemas de argamassa de reboco e de barramento aplicado a seco (**R** e **RsB**) possuem uma rotura coesiva. Uma possível justificação para o sucedido poderá ser um fraco reaperto da argamassa, originando uma argamassa menos coesa.

4.11 Síntese de resultados

Apresenta-se nas Tabelas 4.2, 4.3 e 4.4 uma síntese dos resultados de todos os ensaios realizados, com os valores médios e, quando possível, os desvios-padrão obtidos (resultantes, no entanto, de apenas três ensaios).

Tabela 4.2 – Dureza superficial, coeficiente de absorção de água por capilaridade, taxas de secagem nas 1ª e 2ª fases de secagem e índice de secagem

Sistema	Dureza superficial [Shore A]		Coeficiente de absorção capilar [kg/(m ² .s ^{1/2})]		Taxa de secagem 1ª fase [kg/(m ² .h)]		Taxa de secagem 2ª fase [kg/(m ² .h ^{1/2})]		Índice de secagem	
	Média	DsvPad	CC	DsvPad	D1	DsvPad	D2	DsvPad	IS	DsvPad
L	95,89	0,14	0,089	0,024	0,046	0,007	0,143	0,030	0,728	0,006
R	83,22	1,73	0,156	0,023	0,051	0,008	0,386	0,047	0,427	0,009
E	90,00	4,15	0,163	0,026	0,050	0,002	0,291	0,005	0,650	0,003
RsMa	78,56	3,86	0,176	0,023	0,054	0,002	0,404	0,032	0,432	0,013
RfMa	79,89	1,41	0,208	0,018	0,041	0,011	0,342	0,061	0,504	0,013
RsTs	88,00	1,54	0,137	0,069	0,046	0,002	0,326	0,036	0,503	0,007
RsTp	87,33	1,73	0,143	-	0,018	0,002	0,189	0,027	0,824	0,002
RsB	92,78	0,55	0,140	0,072	0,025	0,001	0,252	0,041	0,630	0,010
RfB	86,56	1,46	0,211	-	0,022	0,019	0,231	-	1,328	0,132
EsMaB	95,89	1,20	0,229	0,051	0,046	-	0,358	-	0,751	0,047
EfMaB	90,00	0,82	0,236	-	0,058	-	0,394	-	0,987	0,109

R – Reboco; E – Emboço; Ma – Massa areada; B – Barramento; Ts – Tinta de silicatos; Tp – Tinta plástica

Tabela 4.3 – Permeabilidade ao vapor de água, espessura da camada de ar equivalente segundo as normas EN 15803, EN ISO 12572, EN 1015-19 e NP EN 998-1

Sistema	Permeabilidade ao vapor de água							
	δ_p [kg/(m.s.Pa)]	DsvPad	EN 15803 $\delta_a = 1,79 \times 10^{-10}$ [kg/(m.s.Pa)]		EN ISO 12572 $\delta_a = 1,94 \times 10^{-10}$ [kg/(m.s.Pa)]		EN 1015-19 por NP EN 998-1 $\delta_a = 1,94 \times 10^{-10}$ [kg/(m.s.Pa)]	
			Sd [m]	DsvPad	Sd [m]	DsvPad	Sd [m]	DsvPad
L	1,833E-12	4,144E-13	1,18	0,114	4236,3	410,9	1,28	0,124
R	2,827E-12	4,444E-13	1,14	0,089	4107,8	321,4	1,24	0,097
E	3,374E-12	9,324E-13	1,01	0,161	3618,3	580,3	1,09	0,175
RsMa	3,123E-12	1,093E-12	1,13	0,166	4047,5	596,6	1,22	0,180
RfMa	3,758E-12	1,129E-12	0,89	0,119	3212,8	426,0	0,97	0,129
RsTs	4,152E-12	2,155E-12	0,88	0,166	3156,1	598,1	0,95	0,181
RsTp	2,762E-12	7,675E-13	1,13	0,131	4057,3	471,5	1,23	0,142
RsB	2,551E-12	7,000E-13	1,22	0,152	4374,9	545,2	1,32	0,165
RfB	3,061E-12	4,666E-13	1,01	0,069	3614,0	246,5	1,09	0,074
EsMaB	3,264E-12	2,210E-13	0,98	0,033	3533,5	120,2	1,07	0,036
EfMaB	3,378E-12	9,534E-13	1,04	0,126	3742,8	452,8	1,13	0,137

R – Reboco; E – Emboço; Ma – Massa areada; B – Barramento; Ts – Tinta de silicatos; Tp – Tinta plástica

Como se comprova pela leitura da Tabela 4.3, consoante a norma utilizada, o δ_a assume um resultado diferente para as mesmas condições de temperatura e humidade relativa, o que condiciona os resultados de Sd apresentados. Considera-se que os valores mais lógicos obtêm-se pelo método de cálculo das normas EN 1015-19 e NP EN 998-1. No entanto, independentemente dos valores em si, as tendências entre sistemas mantêm-se.

Tabela 4.4 – Absorção de água a baixa pressão durante 60 minutos

Sistema	Absorção de água a baixa pressão		
	Absorção ao fim de 60min. [ml/cm ²]	C _{abs} [kg/(m ² .√min)]	DsvPad
L	0,16	1,63	0,00
R	2,17	21,66	1,89
E	1,17	11,75	2,85
RsMa	1,58	15,82	5,31
RfMa	1,38	13,78	8,48
RsTs	0,05	0,54	0,10
RsTp	0,14	1,36	0,82
RsB	0,07	0,75	0,35
RfB	0,77	7,74	7,74
EsMaB	0,46	4,62	2,41
EfMaB	0,62	6,25	4,19

R – Reboco; E – Emboço; Ma – Massa areada; B – Barramento; Ts – Tinta de silicatos; Tp – Tinta plástica

Tabela 4.5 – Erosão por desgaste a seco, coesão superficial e aderência

Sistema	Erosão por desgaste a seco		Coesão superficial		Aderência	
	Variação de massa [g]	DsvPad	Variação de massa [g]	DsvPad	Tensão de aderência [kPa]	DsvPad
L	-	-	-	-	-	-
R	8,125	1,420	0,024	0,001	29,43	24,15
E	0,019	0,007	0,003	0,002	149,55	10,27
RsMa	0,082	0,050	0,003	0,002	23,62	5,25
RfMa	0,320	0,226	0,005	0,002	20,79	-
RsTs	0,005	0,002	0,000	0,000	13,78	6,90
RsTp	0,001	0,001	0,001	0,000	16,88	13,91
RsB	0,043	0,003	0,003	0,001	21,51	3,60
RfB	0,618	0,362	0,006	0,003	23,96	8,16
EsMaB	0,056	0,022	0,004	0,002	134,02	17,50
EfMaB	0,052	0,009	0,003	0,002	172,94	51,23

R – Reboco; E – Emboço; Ma – Massa areada; B – Barramento; Ts – Tinta de silicatos; Tp – Tinta plástica

Na figura 4.17 apresentam-se o coeficiente de capilaridade pelo suporte, as taxas de secagem (D1 e D2) e o coeficiente de absorção de água pelo acabamento, este teve de ser multiplicado por 0,01 de modo a estar dentro da escala dos restantes resultados apresentados.

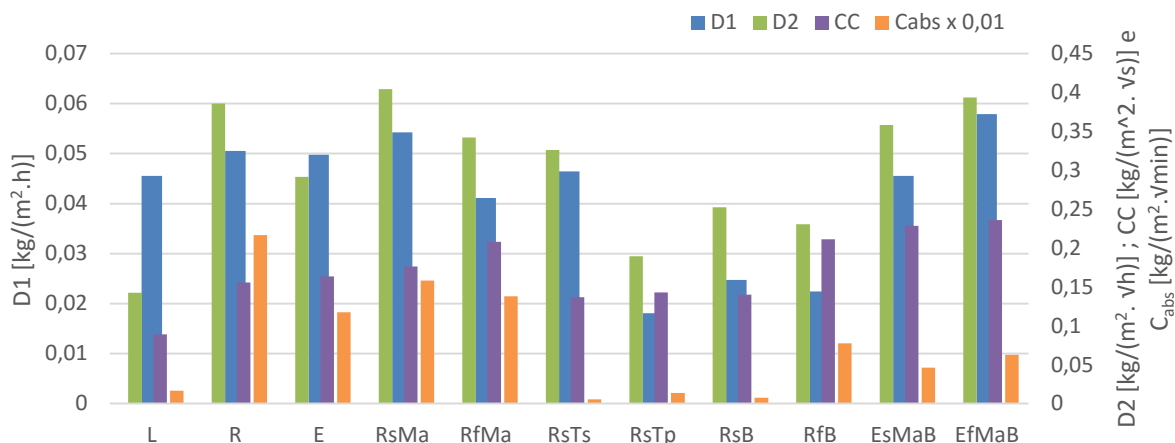


Figura 4.17 – Coeficiente de capilaridade pelo suporte, as taxas de secagem (D1 e D2) e o coeficiente de absorção de água pelo acabamento

Através da interpretação da figura anterior pode-se confirmar algumas das análises já realizadas ao longo deste capítulo, nomeadamente, que os sistemas de massa areada, **Ma**, de entre os sistemas com argamassa de reboco, apresentam as maiores taxas de secagem, embora também exibam os maiores valores de coeficiente de absorção capilar, como os maiores valores de coeficiente de absorção de água sob baixa pressão.

Os acabamentos por pintura apresentam valores semelhantes de coeficiente de absorção por capilaridade e de absorção de água sob baixa pressão, sendo que apresentam comportamentos distintos no que se refere às taxas de secagem, tendo a tinta de silicatos valores substancialmente mais favoráveis em comparação com o acabamento por tinta plástica.

Em relação ao tempo de aplicação do acabamento por barramento, existe um comportamento distinto em comparação à absorção de água sob baixa pressão, ou seja, a aplicação a seco aproxima-se do comportamento das tintas, enquanto que a aplicação a fresco apresenta valores superiores. Os valores das taxas de secagem e de absorção de água por capilaridade são bastante semelhantes.

Por fim, os acabamentos com argamassa de emboço apresentam valores bastante melhores que o sistema de referência, **E**, sendo que o sistema aplicado a fresco apresenta valores mais favoráveis em relação ao aplicado a seco, embora o primeiro possua uma absorção de água sob baixa pressão maior do que o último.




Na Tabela 4.6 apresenta-se uma comparação qualitativa das características dos sistemas ensaiados. Esta comparação realizou-se através de um esquema de três cores (verde, amarelo e vermelho), significando a verde um bom comportamento, a amarelo um comportamento mediano e a vermelho um mau comportamento.

De salientar que esta análise comparativa atribui a cada característica o mesmo peso de importância, o que não corresponde inteiramente à verdade, pois existem parâmetros que possuem um factor decisivo na escolha do sistema a aplicar sobre um reboco antigo.

Tabela 4.6 – Avaliação qualitativa dos sistemas em relação às características ensaiadas

Ensaio	Sistemas										
	L	R	E	RsMa	RfMa	RsTs	RsTp	RsB	RfB	EsMaB	EfMaB
Dureza superficial	Verde	Amarelo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Absorção capilar	Verde	Amarelo	Amarelo	Amarelo	Vermelho	Amarelo	Amarelo	Amarelo	Vermelho	Vermelho	Vermelho
Secagem na primeira fase D1	Amarelo	Verde	Verde	Verde	Amarelo	Amarelo	Vermelho	Vermelho	Vermelho	Amarelo	Verde
Secagem na segunda fase D2	Vermelho	Verde	Amarelo	Verde	Verde	Verde	Vermelho	Amarelo	Amarelo	Verde	Verde
Permeabilidade ao vapor de água	Vermelho	Amarelo	Verde	Verde	Verde	Verde	Amarelo	Amarelo	Verde	Verde	Verde
Absorção a baixa pressão	Verde	Vermelho	Vermelho	Vermelho	Vermelho	Verde	Verde	Verde	Amarelo	Verde	Amarelo
Erosão por desgaste a seco	-	Vermelho	Verde	Verde	Amarelo	Verde	Verde	Verde	Amarelo	Amarelo	Verde
Coesão superficial	-	Vermelho	Verde	Verde	Amarelo	Verde	Verde	Verde	Amarelo	Amarelo	Verde
Aderência	-	Verde	Verde	Verde	Verde	Amarelo	Amarelo	Verde	Verde	Verde	Verde

R – Reboco; E – Emboço; Ma – Massa areada; B – Barramento; Ts – Tinta de silicatos; Tp – Tinta plástica

	- Bom
	- Mediano
	- Mau

Verifica-se que os sistemas que apresentam melhor desempenho são os sistemas **RsMa**, **RsTs** e **EfMaB**. Já os sistemas que apresentam pior desempenho, ou seja, mais vermelhos e amarelos, são os sistemas **RsTp**, **RfB** e **RfMa**.

De entre os anteriormente referidos salienta-se o sistema com tinta de silicatos **RsTs** que não apresenta nenhuma característica negativa no que diz respeito aos ensaios realizados.

5 CONCLUSÃO

5.1 Considerações finais

Terminado este estudo, considera-se que os objetivos inicialmente propostos foram atingidos, tendo sido possível avaliar diversos parâmetros e retirar ilações dos resultados obtidos. Deste modo, as principais conclusões retiradas são apresentadas de seguida.

Do ponto de vista estético, não se verificaram muitas alterações no final de todos os ensaios. Apenas de destacar que todos os provetes que possuem acabamento por tinta de silicatos apresentaram, no final da secagem, uma coloração diferente da original na sua periferia, o que poderá estar relacionado com a migração de algum componente do ladrilho. É também relevante o facto dos sistemas de barramento como camada final, quando saturados de água, perderem ligeiramente a cor.

Do ponto de vista da dureza superficial, todos os acabamentos apresentaram resultados semelhantes e considerados adequados. Relativamente à fissuração, esta apenas foi detetada nos sistemas com massa areada aplicada sobre a argamassa de reboco em ambas as fases de aplicação, a fresco e a seco. Pode deduzir-se que o agregado introduzido na constituição da massa areada poderá ter influência nesta microfissuração.

De todos os resultados relativos ao comportamento face à água, consegue depreender-se que os sistemas que apresentam maior coeficiente de capilaridade pelo suporte, maior coeficiente de absorção de água pelo acabamento e, ao mesmo tempo, menores taxas de secagem traduzem soluções nefastas para aplicação em paredes com problemas de ascensão capilar, na envolvente de espaços com elevada produção de vapor de água ou ainda muito expostas à chuva, uma vez que, nestes casos, a humidade terá maior dificuldade em dissipar-se.

Nos sistemas com acabamento de massa areada a diferença entre as aplicações é mais positiva para as aplicações a seco, com menor coeficiente de capilaridade a partir do suporte e as mais elevadas taxas de secagem. Entre os sistemas de pintura, o acabamento de tinta de silicatos exhibe, claramente, resultados muito satisfatórios em comparação com a tinta plástica. O sistema com tinta de silicatos apresenta menor coeficiente de capilaridade pelo suporte, menor absorção de água pelo acabamento e taxas de secagem mais elevadas. O sistema com barramento como camada final tem um comportamento em tudo semelhante ao sistema de tinta plástica, indiciando, assim, não ser um bom sistema a aplicar nas situações descritas anteriormente (paredes com problemas de ascensão capilar, na envolvente de espaços com elevada produção de vapor de água ou ainda muito expostas à chuva). Por último, os sistemas com dois tipos de acabamento (**EsMaB** e **EfMaB**) são bastante semelhantes no que diz respeito ao comportamento face à água, existindo apenas poucas melhorias na aplicação a seco, visto que a aplicação a fresco favorece uma maior absorção de água devido à continuidade da rede porosa.

A redução do coeficiente de capilaridade pelo suporte registada pelos acabamentos com pintura e com barramento aplicado a seco pode ser justificada por uma possível menor porosimetria. Esta menor porosimetria, por sua vez, pode dificultar a dissipação do vapor de água, estando, também, diretamente relacionada com o reduzido coeficiente de absorção de água pelo acabamento.

Os resultados obtidos no ensaio de permeabilidade ao vapor de água de alguma maneira comprovam estas conclusões, embora se considere que este ensaio não se adapta corretamente a provetes constituídos por diversas camadas com variáveis espessuras de diferentes materiais. Considera-se que o simples ensaio de secagem pode ser mais fiável na reprodução da situação destes sistemas.

Em relação ao desgaste a seco e à coesão superficial, conclui-se que é fundamental para a preservação de uma parede rebocada a existência de acabamentos. Estes ensaios são a prova disso, pois o sistema **R** possui valores de desgaste cerca de dez vezes superiores em relação a um sistema que possui acabamento, seja ele qual for de entre os analisados.

No ensaio de arrancamento, conclui-se, como esperado, que os provetes de emboço apresentam valores entre cinco a dez vezes superiores em relação aos provetes de reboco, tendo estes últimos um comportamento semelhante independentemente do tipo de acabamento.

Em suma, os sistemas de acabamento que se destacam neste estudo como os mais adequados em aplicações de fachadas antigas são o sistema de tinta de silicatos e o sistema de massa areada aplicada a seco. Em contrapartida, os sistemas mais nefastos são o sistema com tinta plástica e o sistema de barramento aplicado sobre o reboco fresco.

5.2 Propostas para estudos futuros

Numa fase preliminar do estudo, foi submetido e aceite um artigo em conferência internacional (que se encontra no Anexo II uma vez que só será publicado em Maio), com parte dos resultados obtidos (Remédios e Faria, 2016). Pretende-se vir a publicar os resultados finais obtidos.

Existem alguns aspetos que podem ser completados em estudos futuros, de modo a aferir com um maior rigor os resultados apresentados nesta dissertação. Um desses casos será a realização de estudos complementares, mas com maior número de provetes por sistema.

Para além do mais, será interessante aprofundar os factos que justificam alguns acabamentos à base de cal aplicados sobre argamassas provocarem um maior coeficiente de absorção capilar e uma maior permeabilidade ao vapor de água em relação a sistemas constituídos, em exclusivo, por argamassas com o mesmo suporte e com menos camadas de revestimento.

Será ainda relevante realizar ensaios para avaliar o comportamento destes sistemas face a sais que possam existir em alvenarias antigas e realizar o estudo da porosimetria das diferentes camadas dos diferentes sistemas.

Por fim, será interessante que o estudo possa vir a ser alargado a outros sistemas de acabamento de rebocos à base de cal aérea, para comparação com os apresentados e, por outro lado, que um estudo semelhante seja efetuado para revestimentos de paredes correntes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ, J.; SEQUEIRA, C.; COSTA, M. (2005) - Ensinaamentos a retirar do passado histórico das argamassas. In 1º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, APFAC, Lisboa (CD)
- BOYNTON, R. (1980) - Chemistry and technology of lime and limestone. 2ª. ed. New York: John Wiley & Sons.
- BRAGA, M.; CHARRUA, A. (1992) - Estuques e esgrafitos de Évora. Lisboa : Direcção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais.
- BRITO, V. (2009). Influência dos revestimentos por pintura na secagem do suporte. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Nova de Lisboa
- BRITO, V.; GONÇALVES, T.; FARIA, P. (2011) - Coatings applied on damp building substrates: performance and influence on moisture transport. Journal of Coatings Technology Research, 8 (4), 513-525. Doi: 10.1007/s11998-010-9319-5.
- CARVALHO, S. (2005) - As características das tintas e as características dos polímeros com que são formuladas. Boletim nº 95 da SPQ: Química e a Indústria 24-30 p, Porto, Portugal.
- CEN. (1998/2004). EN 1015-19. Methods of test for mortar for masonry - Part 19: Determination of water vapour permeability of hardened rendering and plastering mortars. Brussels.
- CEN. (2001) - EN ISO 12572. Hygrothermal performance of building materials and products - Determination of water vapour transmission properties. Geneva.
- CEN (2004) - EN 1062-1. Paints and varnishes coating materials and coating systems for exterior masonry and concrete. Part 1: Classification. Brussels.
- CEN (2009) - EN 15801. Conservation of cultural property - test methods - determination of water absorption by capillarity. Brussels.
- CEN (2009) - EN 15803. Conservation of cultural property - test methods - determination of water vapour permeability. Brussels.
- CEN. (2010) - NP EN 998-1. Especificações de argamassas para alvenarias. Parte 1: Argamassas para rebocos interiores e exteriores. Brussels.
- CEN (2013) - EN 16322. Conservation of cultural heritage - test methods - determination of drying properties. Brussels.
- CEN (2013) - EN 16302. Conservation of cultural heritage - test methods - measurement of water absorption by pipe method. Brussels.
- CONSTANTINIDES, I.; HUMPHRIES, L. (2003) - Exterior stucco. in the building conservation directory. London : Cathedral Communications Ltd.
- DIN (2013) - DIN 1847 - Earth plasters - Terms and definitions, requirements, test methods. (in German), Berlin.
- DOERNER, M. (1988) - Los materiales de pintura y su empleo en el arte. 5.ª ed. Barcelona
- DRDÁCKÝ, M.; LESÁK, J.; NIEDOBA, K.; VALACH, J. (2015) - Peeling tests for assessing the cohesion and consolidation characteristics of mortar and render surfaces. Materials and Structures, 48 (6), 1947-1963. Doi: 10.1617/s11527-014-0285-8.
- EUSÉBIO, I. (1985) - Tintas. características dos constituintes e da película seca, LNEC, Lisboa, Portugal.
- EUSÉBIO, I.; RODRIGUES, M. (1990) - Tintas, vernizes e revestimentos por pinturas para a construção Civil. Lisboa : LNEC. (Cursos e Seminários; CS 14).
- FARIA, P. (2004) - Argamassas de revestimento para alvenarias antigas - contribuição para o estudo da influência dos ligantes. Tese de doutoramento em Engenharia Civil, Universidade Nova de Lisboa.
- FARIA, P.; SANTOS, T.; AUBERT, J. E. (2016) - Experimental characterization of an earth eco-efficient plastering mortar. Materials in Civil Engineering, 28 (1), 04015085-1 - 9 . Doi: 04015085-1-04015085-9.
- FONSECA, A. (2010) - Tintas e correlatos, Seminário de Química Industrial. Universidade Federal de Santa

Maria, SM, Brasil.

GETTWERT, G.; RIEBER, W.; BONARIUS, J. (1998)- One-component silicate binder systems for coatings. Surface Coating International. Vol. 81. Boston : Springer Boston. ISBN 1476-48651356-0751.

GIL, S. (2013) - Criação de uma base de dados destinada à formulação automática de cores para uma tinta de fachadas, aquosa e de formulação genérica, com uma gama nova de pastas corantes de base aquosa. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Materiais, Universidade Nova de Lisboa.

GONÇALVES, T. (1996) - Guarnecimentos tradicionais para paredes exteriores de edifícios antigos, LNEC Rel.11/96 - NCCt, Lisboa.

GRIMMER, A. (1990) - The preservation and repair of historic stucco. Preservation Briefs 22.

HEMPEL (2006) - Hempel opening training. Módulo 1.

HENRIQUES, F. (2007) - Humidade em paredes. 4. ed. Lisboa : LNEC.

IPQ (2011) - NP EN 459-1. Cal de construção Parte 1: Definições, especificações e critérios de conformidade, Caparica.

LNEC (2015) - FE Pa 45.1. Ficha de ensaio - Determinação da permeabilidade ao vapor de água de amostras irregulares.

MALINOWSKI, R. (1982) - Ancient mortars and concrets: Aspects of their durability, Histoire of Technology, 7th Annual Volume, p.89-101, Mansell U.K.

MARGALHA, M. (1997) - O uso da cal em argamassa no Alentejo. Évora: Universidade de Évora. Dissertação de Mestrado em Recuperação do Património Arquitectónico, Universidade de Évora.

MATIAS, G.; FARIA, P.; TORRES, I. (2014) - Lime mortars with heat treated clays and ceramic waste: A review. Construction and Building Materials, 73, 125–136. Doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.09.028.

MATOS, S. (2008) - Estudo da incorporação de estearatos em tintas de forma a aumentar a sua impermeabilidade à água . Dissertação de Mestrado em Engenharia Química. Instituto Politécnico de Bragança.

MAYER, R. (1996) - Manual do artista. São Paulo : Martins Fontes.

PAPWORTHS Pty Ltd - Porositester, Site Testing Equipment. Nowergrup, Australia.

REMÉDIOS, N.; FARIA, P. - Avaliação de sistemas de acabamento para rebocos de edifícios antigos. Euro-American Congress REHABEND 2016 – 6th Euro-American Congress on Construction, Pathology, Rehabilitation Technology and Heritage management, Burgos, Spain, 24-27 May 2016, p. 1260-1268.

SHWARTZ, M. (2001) - Waterbased acrylates for decorative coatings. European Coatings Literature, Hannover, Alemanha.

STOYE, D. (1998) - Paints, coatings and solvents. Wiley-VCH, Weinheim.

TAVARES, M. (2009) - A conservação e o restauro de revestimentos exteriores de edifícios antigos. Tese de Doutoramento em Arquitectura, Universidade Técnica de Lisboa.

TAVARES, M.; VEIGA, M. (2002) - Características das paredes antigas. requisitos dos revestimentos por pintura. Encontro A Indústria das Tintas no Início do Século XXI. Lisboa, APTETI (CD).

TONIOLO, L. et al. (1998) - Gilded stuccoes of the italian barroque. Studies Conservation. IIC. N.º 4 ed. Studies Conservation. London.

VEIGA, M. (1998) - Comportamento de argamassas de revestimento de paredes - contribuição para o estudo da sua resistência à fendilhação. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, Universidade do Porto.

VEIGA, M. (2007) - Conservação e reparação de revestimentos de paredes de edifícios antigos. Métodos e materiais. Lisboa : LNEC. Programa de Investigação e Programa de Pós graduação apresentados para a obtenção do título de Habilitação para o Exercício de Funções de Coordenação de Investigação Científica.

ANEXO I – Valores individuais dos ensaios realizados e cálculos auxiliares

Tabela A.1 – Ensaio de dureza superficial

Provetes		Valor médio [Shore A]	Média [Shore A]	Desvio-padrão
L	1	95,89	95,89	0,14
	2	95,78		
	3	96,11		
R	1	81,44	83,22	1,73
	2	83,22		
	3	85,67		
E	1	90,00	90,00	4,15
	2	95,89		
	3	85,78		
RsMa	1	78,56	78,56	3,86
	2	82,78		
	3	73,33		
RfMa	1	79,89	79,89	1,41
	2	77,89		
	3	81,33		
RsTs	1	85,44	88,00	1,54
	2	89,11		
	3	88,00		
RsTp	1	89,78	87,33	1,73
	2	87,33		
	3	85,56		
RsB	1	92,78	92,78	0,55
	2	92,89		
	3	91,67		
RfB	1	86,56	86,56	1,46
	2	85,00		
	3	88,56		
EsMaB	1	90,67	90,67	1,20
	2	88,78		
	3	91,67		
EfMaB	1	90,78	90,00	0,82
	2	88,78		
	3	90,00		

Tabela A.2 – Ensaio de absorção de água por capilaridade

m	in	sec	g	Tempo t (h)	0	2,2	3,2	3,9	5,5	7,7	11,0	13,4	15,5	17,3	19,0	20,5	21,9	23,2	24,5	25,7	26,8	27,9	29,0	30,0	31,0	31,9	32,9	33,8	34,6	35,5	36,3	37,1	37,9						
L-1	533,738		482,530	massa [g]	463,317	463,746	464,119	465,085	466,726	468,726	471,165	474,548	478,526	483,883	489,546	496,547	487,104	487,833	488,546	489,240	490,926	491,272	491,934	492,600	493,260	493,926	494,240	494,926	495,546	496,240	496,926	497,272	497,934	498,600	499,260				
				Δm [g]	0,000	0,787	1,216	1,589	2,555	4,196	7,075	9,686	12,018	13,966	15,635	17,031	18,277	19,416	20,448	21,363	22,039	23,025	23,817	24,574	25,303	26,016	26,710	27,396	28,066	28,742	29,404	30,070	30,730	31,390	32,050	32,710	33,370		
				kg/m ²	0,000	0,047	0,072	0,094	0,151	0,248	0,419	0,573	0,711	0,828	0,925	1,008	1,149	1,284	1,409	1,454	1,497	1,539	1,580	1,621	1,661	1,701	1,740	1,779	1,818	1,857	1,896	1,935	1,974	2,013	2,052	2,091	2,130	2,169	2,208
R-1	768,719		672,633	massa [g]	673,557	674,334	675,093	677,235	681,135	688,017	694,312	700,334	706,100	711,979	718,918	719,584	724,552	724,659	726,648	728,092	729,307	730,700	731,339	732,249	733,090	734,694	735,471	736,221	736,966	737,703	738,437	739,170	739,903	740,636	741,369	742,102			
				Δm [g]	0,000	0,924	1,701	2,460	4,602	6,502	15,394	21,679	33,467	38,746	43,295	46,951	49,919	52,228	54,015	55,459	56,674	57,737	58,706	59,610	60,457	61,276	62,061	62,838	63,606	64,368	65,126	65,883	66,633	67,383	68,133	68,883	69,633	70,383	
				kg/m ²	0,000	0,065	0,101	0,146	0,272	0,503	0,910	1,283	1,639	1,980	2,293	2,561	2,778	2,954	3,090	3,196	3,282	3,353	3,416	3,474	3,527	3,577	3,626	3,672	3,718	3,763	3,807	3,851	3,894	3,938	3,981	4,025	4,068	4,111	4,155
E-1	835,952		715,825	massa [g]	716,405	717,192	717,823	719,533	722,428	727,409	731,943	736,313	740,549	744,710	748,741	752,618	756,296	759,663	762,643	765,212	767,419	769,294	770,911	772,319	773,576	774,715	775,756	776,725	777,617	778,466	779,273	779,938	780,533	781,068	781,543	781,958	782,323		
				Δm [g]	0,000	0,580	1,367	1,986	3,708	6,603	11,594	16,118	20,488	24,724	28,885	32,916	36,739	40,471	43,838	46,818	49,387	51,594	53,469	55,086	56,494	57,751	58,980	59,931	60,900	61,792	62,661	63,498	64,313	65,106	65,878	66,630	67,363	68,078	68,783
				kg/m ²	0,000	0,034	0,081	0,118	0,219	0,391	0,685	0,954	1,212	1,463	1,709	1,948	2,177	2,395	2,594	2,770	2,922	3,053	3,164	3,260	3,343	3,417	3,485	3,546	3,604	3,656	3,708	3,759	3,809	3,858	3,906	3,954	4,001	4,048	4,094
Rslte-1	794,259		660,765	massa [g]	662,012	663,204	664,230	666,902	671,522	679,466	689,809	693,945	700,776	707,566	713,317	717,014	719,391	721,148	722,593	723,692	724,986	726,074	726,963	727,894	728,761	729,607	730,434	731,260	732,064	732,864	733,656	734,444	735,228	736,008	736,783	737,553	738,318		
				Δm [g]	0,000	1,247	2,439	3,465	6,137	10,757	18,701	26,044	33,080	40,011	46,821	52,552	58,249	63,887	64,221	65,249	66,198	67,119	67,996	68,842	69,669	70,485	71,295	72,091	72,886	73,671	74,446	75,211	75,966	76,711	77,446	78,171	78,886	79,591	
				kg/m ²	0,000	0,074	0,144	0,205	0,363	0,637	1,07	1,541	1,957	2,388	2,770	3,110	3,328	3,469	3,573	3,658	3,733	3,800	3,861	3,917	3,972	4,023	4,073	4,122	4,171	4,219	4,266	4,313	4,359	4,406	4,452	4,498	4,544	4,590	4,636
Rlta-1	789,319		654,118	massa [g]	655,024	655,756	656,360	658,001	660,895	666,086	670,871	675,471	679,849	683,890	687,516	690,764	693,672	696,188	700,123	701,721	703,115	704,370	705,521	706,598	707,598	708,536	709,456	710,348	711,222	712,085	712,934	713,768	714,588	715,394	716,187	716,968			
				Δm [g]	0,000	0,906	1,638	2,251	3,883	6,767	11,968	16,753	21,353	25,731	29,422	33,398	36,946	39,489	41,954	44,070	46,065	47,603	48,997	50,252	51,403	52,470	53,470	54,418	55,338	56,230	57,114	57,977	58,826	59,661	60,486	61,301	62,106	62,891	
				kg/m ²	0,000	0,064	0,097	0,133	0,230	0,400	0,708	0,991	1,263	1,523	1,760	1,976	2,168	2,337	2,482	2,608	2,722	2,817	2,899	2,973	3,042	3,105	3,164	3,220	3,274	3,327	3,380	3,431	3,481	3,531	3,580	3,629	3,678	3,726	3,774
RSt-1	770,398		655,503	massa [g]	658,467	659,602	660,579	663,272	668,061	676,398	683,859	690,820	697,351	703,212	708,212	712,440	715,923	718,671	720,813	722,577	724,115	725,469	726,750	727,956	729,057	730,120	731,155	732,141	733,138	734,124	735,119	736,114	737,109	738,104	739,099	740,094	741,089		
				Δm [g]	0,000	1,964	3,099	4,076	6,769	11,558	19,885	27,356	34,317	40,848	46,709	51,709	55,937	59,420	62,168	64,310	66,074	67,612	68,986	70,247	71,433	72,554	73,617	74,652	75,638	76,635	77,631	78,616	79,591	80,566	81,541	82,516	83,491		
				kg/m ²	0,000	0,117	0,183	0,241	0,401	0,684	1,177	1,619	2,031	2,417	2,764	3,060	3,310	3,516	3,679	3,805	3,910	4,001	4,082	4,157	4,227	4,293	4,356	4,417	4,476	4,535	4,594	4,652	4,710	4,768	4,826	4,884	4,942		
RSP-1	795,355		675,199	massa [g]	676,211	676,972	677,712	679,693	683,179	688,055	694,002	698,401	702,399	705,930	709,214	712,253	715,086	717,800	720,354	722,775	725,085	727,281	729,377	731,308	733,274	735,155	736,969	738,694	740,367	741,995	743,560	745,060	746,500	747,980	750,400	752,760	755,060		
				Δm [g]	0,000	1,012	1,773	2,513	4,494	7,980	13,856	18,803	23,202	27,140	30,731	34,015	37,054	39,887	42,601	45,155	47,576	49,886	52,082	54,178	56,109	58,075	59,966	61,770	63,495	65,168	66,796	68,361	69,881	71,346	72,766	74,131	75,451		
				kg/m ²	0,000	0,060	0,105	0,149	0,296	0,472	0,820	1,113	1,373	1,606	1,818	2,013	2,193	2,360	2,521	2,672	2,815	2,952	3,082	3,206	3,320	3,436	3,548	3,655	3,757	3,856	3,952	4,045	4,133	4,226	4,314	4,402	4,490		
ESltaB-1	846,101		711,504	massa [g]	714,024	716,746	717,263	721,292	728,325	740,671	751,903	762,394	771,401	775,277	779,628	783,962	788,152	792,155	796,031	799,746	803,341	806,846	810,291	813,626	816,901	820,146	823,321	826,446	829,521	832,546	835,521	838,446	841,321	844,146	846,921	849,646			
				Δm [g]	0,000	2,520	4,242	5,759	9,798	16,821	29,677	40,399	50,880	58,887	63,733	66,403	68,124	69,438	70,548	71,540	72,463	73,348	74,183	75,006	75,819	76,631	77,433	78,236	79,047	79,846	80,648	81,444	82,236	83,026	83,813	84,596	85,375		
				kg/m ²	0,000	0,149	0,251	0,341	0,579	0,995	1,726	2,390	3,011	3,485	3,771	3,929	4,031	4,109	4,174	4,233	4,287	4,340	4,393	4,446	4,498	4,551	4,603	4,656	4,708	4,761	4,813	4,865	4,917	4,969	5,021	5,073	5,125		
EtltaB-1	838,254		720,069	massa [g]	720,879	721,281	721,662	722,600	724,349	727,556	733,396	738,555	743,068	747,125	750,824	754,316	757,648	760,864	763,974	766,928	769,777	772,572	775,353	778,128	780,897	783,612	786,272	788,887	791,447	793,952	796,402	798,847	801,287	803,722	806,152	808,577			
				Δm [g]	0,000	0,810	1,212	1,593	2,531	4,280	7,467	10,466	13,327	16,022	18,597	21,066	23,437	25,735	27,985	30,185	32,338	34,456	36,546	38,618	40,663	42,688	44,699	46,696	48,681	50,654	52,614	54,564	56,504	58,434	60,354				
				kg/m ²	0,000	0,048	0,072	0,094	0,150	0,253	0,443	0,620	0,789	0,948	1,100	1,246	1,387	1,523	1,658	1,786	1,913	2,039	2,162	2,285	2,406	2,525	2,643	2,760	2,875	2,989	3,101	3,212	3,321	3,429	3,536	3,643			

(a)

m	Tempo [s]	0	22	3.2	3.9	5.5	7.7	11.0	13.4	15.5	17.3	19.0	20.5	21.9	23.2	24.5	25.7	26.8	27.9	29.0	30.0	31.0	31.9	32.9	33.8	34.6	35.5	36.3	37.1	37.9	
L-2	massa [g]	438,126	438,671	440,680	441,520	443,675	447,280	453,207	457,165	459,574	461,430	462,925	464,077	464,728	465,462	466,149	466,820	467,441	468,113	468,759	469,315	470,088	470,764	471,438	472,127	472,825	473,534	474,240	474,957	475,403	
	Am [g]	0,000	1,545	2,554	3,394	5,549	9,154	15,081	19,039	21,448	23,304	24,739	25,891	26,602	27,336	28,023	28,694	29,315	29,987	30,633	31,289	31,962	32,638	33,312	34,001	34,699	35,408	36,114	36,831	37,277	
	kgim ²	0,000	0,081	0,151	0,201	0,328	0,542	0,892	1,127	1,289	1,379	1,467	1,532	1,574	1,618	1,668	1,698	1,735	1,774	1,813	1,851	1,891	1,931	1,971	2,012	2,053	2,095	2,137	2,179	2,206	
R-2	massa [g]	679,644	681,585	682,617	683,471	685,639	689,147	694,986	700,130	705,013	709,710	714,310	718,836	723,290	727,476	730,826	733,189	734,940	736,344	737,553	738,626	739,614	740,638	741,415	742,270	743,079	743,888	744,681	745,470	746,249	
	Am [g]	0,000	1,741	2,773	3,627	5,795	9,303	15,142	20,286	25,169	29,866	34,466	38,992	43,446	47,634	51,992	53,345	55,096	56,500	57,709	58,782	59,770	60,684	61,571	62,426	63,235	64,044	64,837	65,626	66,405	
	kgim ²	0,000	0,103	0,164	0,215	0,343	0,550	0,896	1,200	1,489	1,767	2,039	2,307	2,571	2,819	3,017	3,157	3,260	3,343	3,415	3,478	3,537	3,591	3,643	3,694	3,742	3,790	3,837	3,883	3,929	
E-2	massa [g]	691,940	692,518	693,163	693,758	695,365	698,147	702,954	707,299	711,459	715,498	719,443	723,329	727,141	730,783	734,057	736,762	738,892	740,555	741,885	743,014	744,013	744,923	745,772	746,591	747,376	748,128	748,881	749,617	750,340	
	Am [g]	0,000	0,578	1,223	1,818	3,425	6,207	11,074	15,339	19,519	23,558	27,503	31,389	35,201	38,943	42,417	44,822	46,952	48,615	49,945	51,074	52,073	52,993	53,832	54,651	55,436	56,188	56,941	57,671	58,400	
	kgim ²	0,000	0,034	0,072	0,108	0,203	0,367	0,662	0,909	1,155	1,394	1,627	1,857	2,083	2,298	2,492	2,652	2,778	2,877	2,955	3,022	3,081	3,135	3,185	3,234	3,280	3,325	3,369	3,413	3,456	
Rslm-2	massa [g]	703,009	703,952	704,590	705,108	706,433	708,661	712,568	716,011	719,209	722,271	725,258	728,204	731,097	733,962	736,829	739,677	742,519	745,356	748,168	750,866	753,392	755,853	757,354	758,862	760,160	761,296	762,326	763,282	764,164	
	Am [g]	0,000	0,943	1,591	2,099	3,424	5,672	9,959	13,002	16,200	19,262	22,249	25,195	28,088	30,953	33,820	36,688	39,510	42,347	45,159	47,877	50,393	52,544	54,345	55,853	57,151	58,287	59,317	60,273	61,155	
	kgim ²	0,000	0,066	0,094	0,124	0,203	0,336	0,566	0,789	0,969	1,140	1,317	1,491	1,662	1,832	2,001	2,170	2,338	2,506	2,672	2,833	2,991	3,109	3,216	3,305	3,382	3,449	3,510	3,566	3,619	
Rlm-2	massa [g]	668,942	661,648	663,269	664,645	668,179	674,168	684,574	694,162	703,214	710,813	715,493	718,059	719,801	721,161	722,315	723,336	724,259	725,194	725,992	726,740	727,487	728,210	728,912	729,592	730,259	730,918	731,552	732,172	732,790	
	Am [g]	0,000	2,706	4,327	5,709	9,237	15,227	25,622	35,220	44,272	51,871	58,541	64,889	70,889	76,192	80,373	84,394	88,517	92,192	96,102	99,798	103,545	107,288	110,970	114,600	118,176	121,717	125,220	128,688	132,120	
	kgim ²	0,000	0,160	0,256	0,337	0,547	0,901	1,517	2,094	2,620	3,068	3,346	3,498	3,601	3,682	3,750	3,810	3,865	3,917	3,966	4,012	4,056	4,099	4,140	4,180	4,220	4,259	4,296	4,333	4,370	
Rst-2	massa [g]	627,004	630,375	632,544	634,946	638,951	646,673	660,051	669,937	675,547	678,440	680,297	681,721	682,875	683,686	684,089	685,419	686,604	687,686	688,686	689,282	689,865	690,438	690,981	691,505	692,016	692,512	693,001	693,481	693,954	694,420
	Am [g]	0,000	3,371	5,540	7,342	11,947	19,669	33,047	42,933	48,543	51,436	53,293	54,717	55,671	56,062	57,665	58,415	59,080	59,692	60,278	60,861	61,434	62,007	62,581	63,165	63,768	64,377	65,005	65,656	66,286	
	kgim ²	0,000	0,199	0,328	0,434	0,707	1,164	1,955	2,540	2,872	3,044	3,153	3,239	3,306	3,365	3,413	3,457	3,498	3,532	3,567	3,601	3,635	3,669	3,703	3,738	3,773	3,809	3,846	3,884	3,922	
Rstp-2	massa [g]	575,437	578,102	579,662	580,945	584,171	589,517	598,046	605,721	612,480	617,639	620,915	622,933	624,337	625,436	626,338	626,996	627,445	627,833	628,208	628,575	628,943	629,313	629,682	630,095	630,503	630,914	631,341	631,757	632,169	
	Am [g]	0,000	2,665	4,225	5,509	8,734	14,080	22,619	30,294	37,043	42,202	45,478	47,496	49,300	49,999	50,901	51,549	52,008	52,396	52,771	53,138	53,506	53,876	54,255	54,658	55,066	55,477	55,920	56,320	56,732	
	kgim ²	0,000	0,158	0,250	0,326	0,517	0,833	1,338	1,792	2,192	2,497	2,691	2,810	2,893	2,959	3,012	3,060	3,077	3,100	3,123	3,144	3,166	3,188	3,210	3,234	3,258	3,283	3,308	3,333	3,357	
Rsb-2	massa [g]	631,200	632,850	633,716	634,413	636,055	638,682	643,112	647,037	650,739	654,309	657,800	661,253	664,670	668,044	671,322	674,402	677,201	679,955	681,474	683,013	684,233	685,407	686,422	687,349	688,228	689,074	689,896	690,690	691,440	
	Am [g]	0,000	1,650	2,516	3,213	4,855	7,482	11,912	15,837	19,539	23,109	26,600	30,063	33,470	36,844	40,122	43,202	46,001	48,395	50,274	51,913	53,093	54,207	55,222	56,149	57,028	57,874	58,696	59,490	60,240	
	kgim ²	0,000	0,098	0,149	0,190	0,297	0,443	0,705	0,937	1,155	1,367	1,574	1,776	1,990	2,180	2,374	2,556	2,722	2,862	2,975	3,066	3,142	3,208	3,268	3,322	3,374	3,424	3,473	3,520	3,564	
Rb-2	massa [g]	536,753	541,366	542,849	544,777	549,958	558,657	574,786	587,756	593,810	598,207	601,607	605,635	609,493	610,199	610,929	611,410	611,955	612,470	612,979	613,444	613,944	614,372	614,829	615,285	615,736	616,109	616,509	616,937	617,356	
	Am [g]	0,000	4,633	6,096	8,024	13,105	21,904	38,033	51,003	57,057	59,448	60,854	61,882	62,730	63,446	64,076	64,657	65,202	65,717	66,226	66,691	67,157	67,619	68,076	68,532	68,993	69,436	69,866	70,335	70,783	
	kgim ²	0,000	0,274	0,361	0,475	0,775	1,296	2,250	3,018	3,376	3,518	3,601	3,662	3,712	3,754	3,791	3,826	3,859	3,889	3,919	3,946	3,974	4,001	4,028	4,055	4,082	4,109	4,135	4,162	4,188	
EslmB-2	massa [g]	734,829	738,174	740,406	742,262	746,997	755,072	769,683	782,595	791,024	794,539	796,352	797,591	798,595	799,517	800,394	801,179	801,977	802,752	803,513	804,271	805,036	805,789	806,542	807,294	808,033	808,775	809,511	810,248	811,017	
	Am [g]	0,000	3,345	5,577	7,433	12,168	20,243	34,854	47,766	56,195	59,710	61,523	62,762	63,766	64,688	65,555	66,350	67,149	67,923	68,694	69,442	70,207	70,990	71,713	72,465	73,204	73,946	74,682	75,419	76,188	
	kgim ²	0,000	0,198	0,330	0,440	0,720	1,198	2,062	2,826	3,325	3,533	3,640	3,714	3,773	3,828	3,879	3,926	3,973	4,019	4,064	4,109	4,154	4,199	4,243	4,288	4,332	4,376	4,419	4,463	4,508	
EtlmB-2	massa [g]	734,683	737,882	740,146	742,123	747,160	755,650	769,857	782,444	790,461	793,855	795,541	796,733	797,742	798,644	799,303	800,326	801,132	801,912	802,692	803,471	804,253	805,039	805,848	806,659	807,463	808,313	809,153	809,995	810,835	
	Am [g]	0,000	3,199	5,463	7,440	12,477	20,967	35,174	47,761	55,798	59,172	60,888	62,060	63,069	63,961	64,820	65,643	66,449	67,229	68,009	68,788	69,570	70,356	71,165	71,976	72,800	73,600	74,470	75,312	76,152	
	kgim ²	0,000	0,189	0,323	0,440	0,738	1,241	2,061	2,826	3,302	3,501	3,601	3,672	3,731	3,785	3,836	3														

m (sec)	Tempo [s]	0	2.2	3.2	3.9	5.5	7.7	11.0	13.4	15.5	17.3	19.0	20.5	21.9	23.2	24.5	25.7	26.8	27.9	29.0	30.0	31.0	31.9	32.9	33.8	34.6	35.5	36.3	37.1	37.9	
L-3	massa [g]	408,016	410,441	411,939	413,087	415,903	420,342	428,767	430,388	432,588	434,054	435,188	436,094	436,872	437,592	438,284	438,284	438,284	438,284	438,284	438,284	438,284	438,284	438,284	438,284	438,284	438,284	438,284	438,284	438,284	438,284
	Am [g]	0,000	2,425	3,893	5,071	7,887	12,226	18,751	22,972	24,582	26,098	27,173	28,078	28,858	29,576	30,288	30,288	30,288	30,288	30,288	30,288	30,288	30,288	30,288	30,288	30,288	30,288	30,288	30,288	30,288	30,288
	kgm ²	0,000	0,143	0,230	0,300	0,467	0,729	1,110	1,324	1,453	1,541	1,608	1,661	1,707	1,730	1,791	1,791	1,791	1,791	1,791	1,791	1,791	1,791	1,791	1,791	1,791	1,791	1,791	1,791	1,791	1,791
R-3	massa [g]	605,741	608,624	610,356	611,785	615,371	621,257	630,906	638,886	647,894	653,241	656,123	657,936	659,244	660,373	661,335	662,199	663,041	663,803	663,803	663,803	663,803	663,803	663,803	663,803	663,803	663,803	663,803	663,803	663,803	663,803
	Am [g]	0,000	2,883	4,615	6,044	9,630	15,516	25,165	34,155	42,123	47,500	50,382	52,165	53,503	54,632	55,594	56,458	57,300	58,062	58,062	58,062	58,062	58,062	58,062	58,062	58,062	58,062	58,062	58,062	58,062	58,062
	kgm ²	0,000	0,171	0,273	0,358	0,570	0,918	1,489	2,021	2,492	2,811	2,981	3,087	3,166	3,233	3,290	3,341	3,391	3,436	3,436	3,436	3,436	3,436	3,436	3,436	3,436	3,436	3,436	3,436	3,436	3,436
E-3	massa [g]	665,114	668,821	671,438	673,736	679,681	689,949	707,486	717,868	721,158	722,651	723,729	724,620	725,481	726,370	727,208	727,987	728,514	729,045	729,045	729,045	729,045	729,045	729,045	729,045	729,045	729,045	729,045	729,045	729,045	729,045
	Am [g]	0,000	3,707	6,324	8,622	14,567	24,735	42,382	52,744	56,044	57,537	58,615	59,506	60,377	61,256	62,094	62,873	63,400	63,931	63,931	63,931	63,931	63,931	63,931	63,931	63,931	63,931	63,931	63,931	63,931	63,931
	kgm ²	0,000	0,219	0,374	0,510	0,882	1,464	2,508	3,121	3,316	3,405	3,468	3,521	3,573	3,625	3,674	3,720	3,751	3,783	3,783	3,783	3,783	3,783	3,783	3,783	3,783	3,783	3,783	3,783	3,783	3,783
RstB-3	massa [g]	671,584	675,219	677,454	679,358	684,293	692,717	707,873	722,273	732,212	736,572	739,920	740,588	741,910	743,035	744,007	744,877	745,688	746,458	746,458	746,458	746,458	746,458	746,458	746,458	746,458	746,458	746,458	746,458	746,458	746,458
	Am [g]	0,000	3,655	5,890	7,794	12,729	21,153	36,309	50,719	60,648	65,008	67,356	69,024	70,346	71,471	72,443	73,313	74,104	74,894	74,894	74,894	74,894	74,894	74,894	74,894	74,894	74,894	74,894	74,894	74,894	74,894
	kgm ²	0,000	0,216	0,349	0,461	0,753	1,252	2,148	3,001	3,589	3,847	3,986	4,084	4,162	4,229	4,287	4,338	4,385	4,432	4,432	4,432	4,432	4,432	4,432	4,432	4,432	4,432	4,432	4,432	4,432	4,432
RlB-3	massa [g]	599,375	603,624	606,633	608,965	615,175	625,689	643,680	655,849	669,994	681,888	686,206	686,206	685,161	685,956	686,679	687,357	687,998	688,612	689,183	689,183	689,183	689,183	689,183	689,183	689,183	689,183	689,183	689,183	689,183	689,183
	Am [g]	0,000	4,239	7,158	9,590	15,800	26,924	44,305	56,474	60,619	62,483	63,831	64,893	65,786	66,581	67,304	67,982	68,623	69,237	69,808	69,808	69,808	69,808	69,808	69,808	69,808	69,808	69,808	69,808	69,808	69,808
	kgm ²	0,000	0,252	0,424	0,567	0,935	1,558	2,622	3,342	3,587	3,688	3,771	3,840	3,893	3,940	3,982	4,023	4,061	4,097	4,131	4,131	4,131	4,131	4,131	4,131	4,131	4,131	4,131	4,131	4,131	4,131
RstS-3	massa [g]	620,639	622,415	623,184	623,849	625,405	628,088	632,352	636,031	639,542	643,071	646,579	649,889	652,901	655,526	657,733	659,546	661,012	662,213	662,213	662,213	662,213	662,213	662,213	662,213	662,213	662,213	662,213	662,213	662,213	662,213
	Am [g]	0,000	1,776	2,545	3,210	4,766	7,459	11,713	15,382	18,903	22,432	25,940	29,250	32,262	34,887	37,094	38,907	40,373	41,574	41,574	41,574	41,574	41,574	41,574	41,574	41,574	41,574	41,574	41,574	41,574	41,574
	kgm ²	0,000	0,105	0,151	0,190	0,282	0,441	0,693	0,911	1,119	1,327	1,535	1,731	1,909	2,084	2,195	2,302	2,389	2,460	2,460	2,460	2,460	2,460	2,460	2,460	2,460	2,460	2,460	2,460	2,460	2,460
RstP-3	massa [g]	567,425	568,818	569,506	570,049	571,365	573,480	576,914	579,829	582,508	585,076	587,551	589,953	592,315	594,624	596,888	599,089	601,239	603,295	603,295	603,295	603,295	603,295	603,295	603,295	603,295	603,295	603,295	603,295	603,295	603,295
	Am [g]	0,000	1,393	2,081	2,624	3,940	6,065	9,489	12,404	15,083	17,651	20,126	22,528	24,890	27,199	29,463	31,674	33,814	35,870	35,870	35,870	35,870	35,870	35,870	35,870	35,870	35,870	35,870	35,870	35,870	35,870
	kgm ²	0,000	0,082	0,123	0,155	0,233	0,359	0,581	0,794	0,892	1,044	1,191	1,333	1,473	1,609	1,743	1,874	2,001	2,122	2,122	2,122	2,122	2,122	2,122	2,122	2,122	2,122	2,122	2,122	2,122	2,122
RstB-3	massa [g]	557,889	559,312	560,035	560,614	562,066	564,505	568,553	572,115	575,525	578,857	582,170	585,469	588,766	592,088	595,414	598,703	601,945	604,520	604,520	604,520	604,520	604,520	604,520	604,520	604,520	604,520	604,520	604,520	604,520	604,520
	Am [g]	0,000	1,413	2,136	2,715	4,167	6,066	10,654	14,216	17,626	20,958	24,271	27,570	30,867	34,109	37,515	40,804	43,946	46,621	46,621	46,621	46,621	46,621	46,621	46,621	46,621	46,621	46,621	46,621	46,621	46,621
	kgm ²	0,000	0,084	0,126	0,161	0,247	0,391	0,630	0,841	1,043	1,240	1,436	1,631	1,826	2,023	2,220	2,414	2,600	2,759	2,759	2,759	2,759	2,759	2,759	2,759	2,759	2,759	2,759	2,759	2,759	2,759
RlB-3	massa [g]	589,230	592,787	595,240	597,251	602,383	611,087	620,642	630,271	640,189	647,742	649,342	649,342	651,367	653,474	653,286	654,065	654,881	655,361	655,361	655,361	655,361	655,361	655,361	655,361	655,361	655,361	655,361	655,361	655,361	655,361
	Am [g]	0,000	3,557	6,010	8,021	13,153	21,857	37,412	50,941	55,959	58,512	60,112	61,922	62,337	63,244	64,058	64,835	65,451	66,131	66,131	66,131	66,131	66,131	66,131	66,131	66,131	66,131	66,131	66,131	66,131	66,131
	kgm ²	0,000	0,210	0,356	0,475	0,778	1,293	2,214	2,961	3,311	3,462	3,557	3,629	3,689	3,742	3,790	3,836	3,873	3,913	3,913	3,913	3,913	3,913	3,913	3,913	3,913	3,913	3,913	3,913	3,913	3,913
EstB-3	massa [g]	737,510	740,775	742,937	744,697	749,310	757,266	772,082	785,800	796,194	801,450	803,973	805,538	806,711	807,669	808,528	809,297	810,028	810,621	810,621	810,621	810,621	810,621	810,621	810,621	810,621	810,621	810,621	810,621	810,621	810,621
	Am [g]	0,000	3,265	5,427	7,187	11,800	19,776	34,572	48,290	58,624	63,940	66,463	68,028	69,201	70,159	71,018	71,787	72,518	73,111	73,111	73,111	73,111	73,111	73,111	73,111	73,111	73,111	73,111	73,111	73,111	73,111
	kgm ²	0,000	0,193	0,321	0,425	0,698	1,170	2,046	2,857	3,469	3,783	3,933	4,025	4,085	4,151	4,202	4,248	4,291	4,326	4,326	4,326	4,326	4,326	4,326	4,326	4,326	4,326	4,326	4,326	4,326	4,326
EtlB-3	massa [g]	678,015	682,272	685,109	687,546	693,745	704,205	722,295	736,127	742,408	744,812	746,250	747,336	748,253	749,050	749,791	750,487	751,154	751,789	752,404	752,404	752,404	752,404	752,404	752,404	752,404	752,404	752,404	752,404	752,404	752,404
	Am [g]	0,000	4,257	7,094	9,531	15,730	26,190	44,280	58,112	64,388	66,797	68,235	69,231	70,238	71,035	71,776															

(d)

Provetes	Equação da recta	R ²	Coefficiente de capilaridade [kg/(m ² .√t)]
L-1	y=0,0561x-0,1749	0,9941	0,0561
R-1	y=0,175x-1,04287	0,9983	0,1750
E-1	y=0,1405x-1,1345	0,9978	0,1405
RsMa-1	y=0,2072x-1,4826	0,9958	0,2072
RfMa-1	y=0,1837x-0,9853	0,9983	0,1837
RsTs-1	y=0,1328x-0,7675	0,9988	0,1328
RsTp-1	y=0,1982x-1,0172	0,9993	0,1982
RsB-1	y=0,2262x-1,1787	0,9988	0,2262
RfB-1	-	-	-
EsMaB-1	y=0,2632x-1,0965	0,9975	0,2632
EfMaB-1	-	-	-

(e)

Provetes	Equação da recta	R ²	Coefficiente de capilaridade [kg/(m ² .√t)]
L-2	y=0,0988x-0,2015	0,9981	0,0988
R-2	y=0,1685x-1,1396	0,9984	0,1685
E-2	y=0,1499x-1,1945	0,9985	0,1499
RsMa-2	y=0,1542x-1,7955	0,9998	0,1542
RfMa-2	y=0,2281x-0,9239	0,9962	0,2281
RsTs-2	Y=0,2229x-0,5191	0,9965	0,2229
RsTp-2	y=0,1673x-0,4418	0,9963	0,1673
RsB-2	y=0,1438x-1,1507	0,9991	0,1438
RfB-2	y=0,2705x-0,7292	0,9945	0,2705
EsMaB-2	y=0,2663x-0,8011	0,9971	0,2663
EfMaB-2	y=0,2614x-0,7377	0,9979	0,2614

(f)

Provetes	Equação da recta	R ²	Coefficiente de capilaridade [kg/(m ² .√t)]
L-3	y=0,1140x-0,1243	0,9984	0,1114
R-3	y=0,1236x-0,1129	0,9979	0,1236
E-3	y=0,1998x-0,2454	0,9957	0,1998
RsMa-3	y=0,1668x-0,1701	0,9964	0,1668
RfMa-3	y=0,2119x-0,2369	0,9972	0,2119
RsTs-3	y=0,0549x-0,0206	0,9987	0,0549
RsTp-3	-	-	-
RsB-3	y=0,0505x-0,0317	0,9985	0,0505
RfB-3	y=0,176x-0,1943	0,9977	0,1760
EsMaB-3	y=0,1566x-0,1679	0,9971	0,1566
EfMaB-3	y=0,2109x-0,2359	0,9968	0,2109

Tabela A.3 – Valores de massa durante a secagem, num período de 578,5 h

	L	R	E	RsMa	RfMa	RsTs	RsTp	RsB	RfB	EsMaB	EfMaB
t(h)	Massa (g)	Massa (g)	Massa (g)	Massa (g)	Massa (g)	Massa (g)	Massa (g)	Massa (g)	Massa (g)	Massa (g)	Massa (g)
0	567,230	822,397	877,256	858,989	827,080	794,957	797,415	820,859	803,092	914,552	894,703
1	566,075	821,119	875,944	857,967	826,221	793,977	797,004	820,281	802,619	913,641	893,845
2	565,270	820,273	875,077	857,109	825,532	793,325	796,742	819,927	802,295	912,993	892,821
3	564,450	819,406	874,200	855,982	824,698	792,353	796,334	819,387	801,853	911,911	891,594
4	563,815	818,711	873,495	855,131	824,046	791,581	796,058	818,989	801,452	911,235	890,694
5	563,305	818,130	872,924	854,456	823,525	790,881	795,776	818,620	801,110	910,567	889,955
6	562,289	816,860	871,676	853,699	822,775	790,179	795,497	818,251	800,784	909,871	889,118
7	561,827	816,244	871,072	852,786	822,127	789,510	795,241	817,866	800,456	909,123	888,183
26,5	556,423	801,835	859,548	837,498	810,215	775,903	790,078	810,965	794,065	895,592	872,501
50,5	554,651	787,230	852,128	822,934	797,350	764,881	784,065	803,229	786,536	882,373	861,916
74,5	553,616	781,759	847,089	816,204	788,816	759,184	778,910	796,174	782,312	874,402	855,386
98,5	552,930	780,102	843,831	812,344	784,038	756,495	774,327	787,515	779,783	868,376	851,802
170,5	551,641	777,634	837,618	810,030	780,541	753,181	764,069	778,919	774,185	863,481	849,125
194,5	551,277	777,467	836,920	809,359	779,005	752,558	762,186	777,195	772,577	862,267	848,459
218,5	550,932	776,952	835,903	808,440	777,570	751,949	760,648	776,313	770,795	861,542	847,615
242,5	550,629	776,507	835,094	807,897	777,099	751,460	759,571	774,966	768,931	860,150	847,025
338,5	549,446	774,903	832,462	807,163	775,421	749,739	756,806	773,427	763,680	858,621	846,048
578,5	547,420	773,053	828,903	804,940	772,822	747,159	753,372	770,851	758,607	855,253	843,543

Tabela A.4 – Taxas de secagem D1 e D2 e índice de secagem

Provetes	D1 [kg/m ² .h]	D2 [kg/m ² .√h]	IS
L-1	0,047	0,102	0,234
R-1	0,057	0,426	0,129
E-1	0,042	0,291	0,222
RsMa-1	0,053	0,423	0,130
RfMa-1	0,028	0,286	0,177
RsTs-1	0,049	0,338	0,155
RsTp-1	0,021	0,227	0,278
RsB-1	0,026	0,284	0,212
RfB-1	0,049	0,421	0,151
EsMaB-1	0,015	0,113	0,381
EfMaB-1	0,066	0,430	0,157

Provetes	D1 [kg/m ² .h]	D2 [kg/m ² .√h]	IS
L-2	0,044	0,174	0,235
R-2	0,054	0,412	0,130
E-2	0,060	0,286	0,209
RsMa-2	0,057	0,431	0,122
RfMa-2	0,055	0,427	0,133
RsTs-2	0,047	0,363	0,162
RsTp-2	0,016	0,176	0,268
RsB-2	0,024	0,279	0,184
RfB-2	0,004	-	0,791
EsMaB-2	0,050	0,366	0,168
EfMaB-2	0,007	-	0,636

Provetes	D1 [kg/m ² .h]	D2 [kg/m ² .√h]	IS
L-3	0,046	0,152	0,259
R-3	0,041	0,320	0,168
E-3	0,047	0,297	0,219
RsMa-3	0,054	0,360	0,180
RfMa-3	0,040	0,314	0,194
RsTs-3	0,043	0,278	0,186
RsTp-3	0,017	0,165	0,278
RsB-3	0,024	0,194	0,234
RfB-3	0,014	0,276	0,386
EsMaB-3	0,041	0,350	0,202
EfMaB-3	0,050	0,357	0,194

Tabela A.5 – Valores de massa no ensaio de permeabilidade ao vapor de água

(a)

Provetes	Massa (Kg)					
L-1	1,52633	1,52543	1,52526	1,52506	1,52496	1,52472
R-1	1,75849	1,75747	1,75729	1,75705	1,75687	1,75661
E-1	1,83592	1,83476	1,83445	1,83412	1,83384	1,83346
RsMa-1	1,78574	1,78478	1,78458	1,78440	1,78424	1,78399
RfMa-1	1,74668	1,74557	1,74528	1,74501	1,74477	1,74443
RsTs-1	1,79069	1,78965	1,78947	1,78924	1,78905	1,78879
RsTp-1	1,79712	1,79624	1,79604	1,79584	1,79569	1,79547
RsB-1	1,73728	1,73637	1,73619	1,73599	1,73581	1,73560
RfB-1	1,76060	1,75958	1,75937	1,75912	1,75894	1,75869
EsMaB-1	1,84481	1,84370	1,84348	1,84319	1,84296	1,84264
EfMaB-1	1,83081	1,82989	1,82974	1,82957	1,82941	1,82914
t(s)	0	241200	327600	414000	500400	586800

(b)

Provetes	Massa (Kg)					
L-2	1,55219	1,55136	1,55117	1,55099	1,55081	1,55063
R-2	1,79716	1,79639	1,79619	1,79602	1,79581	1,79562
E-2	1,82472	1,82399	1,82382	1,82363	1,82346	1,82327
RsMa-2	1,78696	1,78624	1,78608	1,78589	1,78572	1,78553
RfMa-2	1,77275	1,77182	1,77160	1,77139	1,77115	1,77093
RsTs-2	1,74837	1,74742	1,74719	1,74696	1,74670	1,74647
RsTp-2	1,74255	1,74183	1,74162	1,74141	1,74118	1,74101
RsB-2	1,75291	1,75221	1,75204	1,75190	1,75171	1,75157
RfB-2	1,73565	1,73471	1,73447	1,73423	1,73398	1,73374
EsMaB-2	1,81884	1,81782	1,81758	1,81735	1,81708	1,81688
EfMaB-2	1,84881	1,84795	1,84771	1,84747	1,84720	1,84696
t(s)	0	241200	327600	414000	500400	586800

(c)

Provetes	Massa (Kg)					
L-3	1,50032	1,49958	1,49930	1,49902	1,49871	1,49839
R-3	1,69771	1,69682	1,69657	1,69635	1,69610	1,69588
E-3	1,75956	1,75858	1,75828	1,75801	1,75759	1,75718
RsMa-3	1,78653	1,78560	1,78530	1,78498	1,78452	1,78409
RfMa-3	1,70317	1,70198	1,70158	1,70118	1,70075	1,70031
RsTs-3	1,69867	1,69779	1,69725	1,69650	1,69563	1,69485
RsTp-3	1,69650	1,69576	1,69545	1,69516	1,69475	1,69434
RsB-3	1,71395	1,71313	1,71288	1,71261	1,71228	1,71192
RfB-3	1,69307	1,69192	1,69164	1,69142	1,69117	1,69092
EsMaB-3	1,84303	1,84216	1,84188	1,84168	1,84139	1,84116
EfMaB-3	1,80603	1,80502	1,80465	1,80436	1,80399	1,80363
t(s)	0	241200	327600	414000	500400	586800

Tabela A.6 – Ensaio de permeabilidade ao vapor de água – G - taxa de fluxo do vapor de água; W_p – permeância do vapor de água; δ_p – permeabilidade ao vapor de água; μ - coeficiente de resistência à difusão do vapor de água; S_d – espessura da camada de ar equivalente

(a)

Provetes	G [kg/s]	W_p [kg/(m ² .s.Pa)]	δ_p [kg/(m.s.Pa)]	μ [-]	S_d [m]
L-1	2,66E-09	1,34E-10	1,55E-12	5398,58	62,53
R-1	3,12E-09	1,57E-10	2,78E-12	3011,09	53,21
E-1	4,12E-09	2,08E-10	3,61E-12	2319,65	40,31
RsMa-1	2,89E-09	1,46E-10	2,58E-12	3243,43	57,45
RfMa-1	3,75E-09	1,89E-10	3,28E-12	2549,53	44,25
RsTs-1	3,15E-09	1,59E-10	2,61E-12	3211,40	52,73
RsTp-1	2,76E-09	1,39E-10	2,27E-12	3685,53	60,28
RsB-1	2,81E-09	1,41E-10	2,29E-12	3645,51	59,20
RfB-1	3,19E-09	1,61E-10	2,72E-12	3077,07	52,01
EsMaB-1	3,61E-09	1,82E-10	3,26E-12	2567,34	45,99
EfMaB-1	2,73E-09	1,37E-10	2,52E-12	3315,34	60,94

(b)

Provetes	G [kg/s]	W_p [kg/(m ² .s.Pa)]	δ_p [kg/(m.s.Pa)]	μ [-]	S_d [m]
L-2	2,62E-09	1,32E-10	1,53E-12	5466,99	63,32
R-2	2,59E-09	1,31E-10	2,31E-12	3624,59	64,06
E-2	2,44E-09	1,23E-10	2,13E-12	3921,31	68,14
RsMa-2	2,40E-09	1,21E-10	2,14E-12	3905,62	69,18
RfMa-2	3,06E-09	1,54E-10	2,68E-12	3125,67	54,25
RsTs-2	3,21E-09	1,61E-10	2,65E-12	3156,39	51,83
RsTp-2	2,63E-09	1,33E-10	2,17E-12	3855,10	63,05
RsB-2	2,26E-09	1,14E-10	1,85E-12	4518,15	73,37
RfB-2	3,22E-09	1,62E-10	2,74E-12	3048,16	51,52
EsMaB-2	3,32E-09	1,67E-10	3,00E-12	2791,84	50,01
EfMaB-2	3,13E-09	1,58E-10	2,90E-12	2883,58	53,01

(c)

Provetes	G [kg/s]	W_p [kg/(m ² .s.Pa)]	δ_p [kg/(m.s.Pa)]	μ [-]	S_d [m]
L-3	4,15E-09	2,09E-10	2,42E-12	3458,71	40,06
R-3	3,81E-09	1,92E-10	3,39E-12	2465,39	43,57
E-3	5,01E-09	2,52E-10	4,38E-12	1909,42	33,18
RsMa-3	5,21E-09	2,62E-10	4,65E-12	1799,61	31,88
RfMa-3	6,08E-09	3,06E-10	5,31E-12	1574,01	27,32
RsTs-3	8,71E-09	4,38E-10	7,20E-12	1161,96	19,08
RsTp-3	4,67E-09	2,35E-10	3,85E-12	2175,35	35,58
RsB-3	4,29E-09	2,16E-10	3,51E-12	2385,00	38,73
RfB-3	4,37E-09	2,20E-10	3,72E-12	2248,18	38,00
EsMaB-3	3,92E-09	1,98E-10	3,54E-12	2364,68	42,36
EfMaB-3	5,09E-09	2,56E-10	4,71E-12	1776,86	32,66

Tabela A.7 – Coeficiente de absorção de água sob baixa pressão

Provetes	C_{abs} [kg/(m ² ·√t)]		
	1	2	3
L	1,63	1,63	1,63
R	19,76	24,24	20,98
E	8,56	11,20	15,48
RsMa	8,35	20,17	18,95
RfMa	2,44	22,82	16,09
RsTs	0,61	0,61	0,41
RsTp	0,20	1,83	2,04
RsB	0,61	0,41	1,22
RfB	18,54	0,81	3,87
EsMaB	1,22	6,11	6,52
EfMaB	11,00	0,81	6,93

Tabela A.8 – Ensaio de erosão por desgaste a seco

(a)

Provetes	Massa inicial [g]	Massa final [g]	Varição [g]
R-1	769,290	761,598	7,692
E-1	837,32	837,292	0,028
RsMa-1	794,695	794,647	0,048
RfMa-1	799,915	799,722	0,193
RsTs-1	739,998	739,996	0,002
RsTp-1	770,387	770,384	0,003
RsB-1	795,474	795,428	0,046
RfB-1	747,455	746,325	1,130
EsMaB-1	847,044	847,003	0,041
EfMaB-1	839,642	839,581	0,061

(b)

Provetes	Massa inicial [g]	Massa final [g]	Varição [g]
R-2	797,736	791,092	6,644
E-2	814,273	814,262	0,011
RsMa-2	786,357	786,204	0,153
RfMa-2	771,582	770,945	0,637
RsTs-2	752,233	752,228	0,005
RsTp-2	743,018	743,018	0,000
RsB-2	749,278	749,233	0,045
RfB-2	741,231	740,890	0,341
EsMaB-2	824,467	824,380	0,087
EfMaB-2	843,634	843,578	0,056

(c)

Provetes	Massa inicial [g]	Massa final [g]	Varição [g]
R-3	747,600	737,560	10,040
E-3	830,388	830,37	0,018
RsMa-3	829,416	829,372	0,044
RfMa-3	744,335	744,206	0,129
RsTs-3	742,396	742,389	0,007
RsTp-3	733,333	733,332	0,001
RsB-3	762,452	762,413	0,039
RfB-3	747,950	747,567	0,383
EsMaB-3	882,739	882,700	0,039
EfMaB-3	844,057	844,018	0,039

Tabela A.9 – Ensaio de coesão superficial

(a)

Provetes	Massa inicial [g]	Massa final [g]	Variação [g]
R-1	0,297	0,323	0,026
E-1	0,300	0,306	0,006
RsMa-1	0,29	0,292	0,002
RfMa-1	0,298	0,305	0,007
RsTs-1	0,304	0,305	0,001
RsTp-1	0,301	0,302	0,001
RsB-1	0,300	0,305	0,005
RfB-1	0,269	0,272	0,003
EsMaB-1	0,299	0,300	0,001
EfMaB-1	0,298	0,302	0,004

(b)

Provetes	Massa inicial [g]	Massa final [g]	Variação [g]
R-2	0,281	0,304	0,023
E-2	0,297	0,299	0,002
RsMa-2	0,295	0,300	0,005
RfMa-2	0,288	0,291	0,003
RsTs-2	0,284	0,284	0,000
RsTp-2	0,264	0,264	0,000
RsB-2	0,308	0,310	0,002
RfB-2	0,290	0,300	0,010
EsMaB-2	0,292	0,297	0,005
EfMaB-2	0,294	0,300	0,006

(c)

Provetes	Massa inicial [g]	Massa final [g]	Variação [g]
R-3	0,303	0,326	0,023
E-3	0,312	0,313	0,001
RsMa-3	0,316	0,317	0,001
RfMa-3	0,306	0,31	0,004
RsTs-3	0,311	0,311	0,000
RsTp-3	0,314	0,315	0,001
RsB-3	0,309	0,311	0,002
RfB-3	0,308	0,312	0,004
EsMaB-3	0,311	0,318	0,007
EfMaB-3	0,307	0,307	0,000

Tabela A.10 – Ensaio de arrancamento – F_u – carga de rotura; A – área; f_u – tensão de aderência à tração

(a)

Provetes	F_u [N]	A [m ²]	f_u [kPa]	f_u [MPa]
R-1	95,40	1,503E-03	63,47	0,06
E-1	247,31	1,519E-03	162,83	0,16
RsMa-1	29,68	1,829E-03	16,23	0,02
RfMa-1	31,05	1,836E-03	16,91	0,02
RsTs-1	15,11	1,816E-03	8,32	0,01
RsTp-1	20,98	1,797E-03	11,68	0,01
RsB-1	31,06	1,891E-03	16,43	0,02
RfB-1	27,14	1,790E-03	15,17	0,02
EsMaB-1	247,87	1,636E-03	151,48	0,15
EfMaB-1	244,23	1,759E-03	138,84	0,14

(b)

Provetes	Fu [N]	A [m ²]	fu [kPa]	fu [MPa]
R-2	18,19	1,799E-03	10,11	0,01
E-2	273,29	1,846E-03	148,02	0,15
RsMa-2	50,65	1,887E-03	26,84	0,03
RfMa-2	-	-	-	-
RsTs-2	17,36	1,825E-03	9,51	0,01
RsTp-2	5,60	1,828E-03	3,06	0,00
RsB-2	37,76	1,577E-03	23,94	0,02
RfB-2	40,01	1,827E-03	21,90	0,02
EsMaB-2	237,85	1,693E-03	140,48	0,14
EfMaB-2	444,63	1,812E-03	245,35	0,25

(c)

Provetes	Fu [N]	A [m ²]	fu [kPa]	fu [MPa]
R-3	24,68	1,680E-03	14,69	0,01
E-3	235,54	1,709E-03	137,81	0,14
RsMa-3	50,77	1,826E-03	27,81	0,03
RfMa-3	45,44	1,843E-03	24,66	0,02
RsTs-3	43,96	1,870E-03	23,51	0,02
RsTp-3	65,35	1,820E-03	35,91	0,04
RsB-3	44,31	1,833E-03	24,17	0,02
RfB-3	65,07	1,868E-03	34,83	0,03
EsMaB-3	204,65	1,859E-03	110,09	0,11
EfMaB-3	249,90	1,856E-03	134,63	0,13

ANEXO II – Artigo em conferência internacional

CODE: 2.2**EVALUATION OF FINISHING COAT SYSTEMS FOR OLD BUILDING RENDERS****Remédios, Nuno^{1*}; Faria, Paulina²**

1: Depart. Civil Engineering, Universidade NOVA de Lisboa

E-mail: n.remedios@campus.fct.unl.pt

2: CERIS, Universidade de Lisboa and Depart. Civil Engineering, Universidade NOVA de Lisboa

E-mail: paulina.faria@fct.unl.pt**KEYWORDS:** Wall coating; lime mortar; finishing coat; testing; water transport**ABSTRACT**

The use of lime in construction dates back to thousands of years ago, having been a commonly used binder. Therefore, many old buildings still have masonry and wall coatings (plasters, renders and finishing coatings) made with lime. The renders and their finishing coatings are the constructive elements more exposed and thus, more subject to degradation. They are also decisive for the aesthetic appearance of the buildings. Hence, it is essential to deepen the knowledge about the efficiency of different coating systems for these walls, to ensure a good overall performance.

The present study aims to evaluate preliminarily the adequacy of some finishing wall coatings based on air lime for application on old walls, in comparison with finishing systems based on common paints. The influence that different types of wall finishing coatings may have on the performance of the wall is assessed taking into account observations and test results on laboratory specimens: visual appearance (in terms of cracking and surface texture), surface hardness, water capillarity, permeability to water vapor. The study highlights the technical and aesthetic advantages and disadvantages of the different systems and application modes analyzed.

It is concluded that the application of the same finishing coatings on the fresh mortar (medium moisture content) and on dry mortar (low moisture content) or the application of different finishing systems may give the final system a distinctive behavior regarding the water transport.

Some of the tested systems presented water vapor permeability much lower than others. Although the same systems also register low capillary coefficient, they are particularly not efficient for old walls with high moisture content, from capillary rise or from other sources. The fact that systems with supplementary layers present faster drying and higher water vapor permeability need to be deeply studied.

CÓDIGO: 2.2

AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE ACABAMENTO PARA REBOCOS DE EDIFÍCIOS ANTIGOS

Remédios, Nuno^{1*}; Faria, Paulina²

1: Departamento de Engenharia Civil, Universidade NOVA de Lisboa

E-mail: n.remedios@campus.fct.unl.pt

2: Departamento de Engenharia Civil, Universidade NOVA de Lisboa e CERIS, Universidade de Lisboa

E-mail: paulina.faria@fct.unl.pt

PALAVRAS-CHAVE: Revestimento de parede; argamassa de cal; camada de acabamento; ensaio; transporte de água

RESUMO

O uso da cal na construção remonta há milhares de anos atrás. Existem inúmeras construções antigas que ainda apresentam alvenarias, revestimentos e acabamentos de paredes com cal. Os revestimentos e particularmente as camadas de acabamento são os elementos construtivos mais expostos das paredes e são, também, os elementos mais sujeitos a degradação. São também fundamentais para a aparência estética dos edifícios. Torna-se necessário aprofundar o conhecimento sobre a eficiência de diferentes sistemas de revestimento para paredes rebocadas de edifícios antigos, para garantir um bom desempenho geral.

O presente estudo tem como objetivo avaliar preliminarmente a adequação de revestimentos de paredes com acabamentos à base de cal aérea para aplicação sobre rebocos de alvenarias antigas, em comparação com sistemas de pintura com tintas correntes. A influência que diferentes tipos de revestimentos de paredes podem ter sobre o desempenho da parede é avaliada tendo em conta as observações e resultados de ensaios em provetes de laboratório: aparência visual (em termos de fissuras e textura), dureza superficial, capilaridade à água e permeabilidade ao vapor de água. O estudo destaca as vantagens e desvantagens estéticas e técnicas dos diferentes sistemas e modos de aplicação analisadas.

Conclui-se que a aplicação dos mesmos revestimentos de acabamento sobre a argamassa fresca ou seca ou a aplicação de diferentes sistemas de acabamento pode conferir ao sistema final de revestimento um comportamento distinto em relação ao transporte de água.

Alguns dos sistemas analisados apresentaram permeabilidade ao vapor de água muito menor que outros. Embora esses mesmos sistemas também registem um coeficiente capilar baixo, eles não são particularmente eficientes para aplicação em paredes antigas com alto teor de humidade, proveniente de ascensão capilar ou de outras fontes. A secagem mais rápida e maior permeabilidade ao vapor de água apresentada por alguns sistemas com camadas suplementares tem de ser aprofundadamente estudada.

1. INTRODUÇÃO

Os revestimentos de paredes com base em cal aérea são utilizados desde há muito. Com o passar dos séculos, foi-se aperfeiçoando a técnica de trabalho com a cal, tendo surgido também vários tipos de acabamentos, tais como os barramentos e as caiações.

A cal caiu em desuso com o surgimento do cimento, um ligante com características muito diferentes e que permitia outro tipo de utilizações. No entanto, nas últimas décadas tem-se notado um interesse crescente pelo reconhecimento e aperfeiçoamento das técnicas e conhecimentos para trabalhar com a cal.

Uma adequada aplicação, com vista a um comportamento eficiente dos sistemas de paredes exteriores, é essencial na proteção dos edifícios contra os agentes de degradação [1]. Para que se garantam bons níveis de desempenho das fachadas, é necessário quantificar e avaliar as características que o satisfaçam, isto é, que os revestimentos possuam bom comportamento em serviço, desempenhando as funções que lhes são exigidas. Um dos principais agentes de degradação que contribui para a diminuição do desempenho dos rebocos é a água. É essencial que um sistema de revestimento de parede possibilite a evaporação da água que aceda à parede, para que esta não fique retida no seu interior [1]. A evaporação da água é avaliada pela permeabilidade ao vapor de água ou pela capacidade de secagem. A primeira destas características define-se como sendo o fluxo de vapor que atravessa a argamassa, em condições de equilíbrio, por unidade de superfície e pressão de vapor [2], enquanto a segunda pode definir-se pelas taxas de secagem relativas à primeira ou à segunda fases de secagem ocorridas.

Os sistemas de pintura são dos acabamentos mais correntes de rebocos, mesmo de rebocos de cal aérea. A tinta é definida como sendo uma composição pigmentada líquida ou pastosa que, quando aplicada sobre uma superfície (em alguns casos, após a diluição ou dispersão), se transforma, após algum tempo, num revestimento opaco sólido [3]. A aplicação das tintas é frequentemente precedida pelo emprego de um primário. Um sistema de pintura compreende todos os produtos (primário e pintura) que, de acordo com indicação do produtor, devem ser aplicados sequencialmente. As tintas de silicatos são baseadas num ligante inorgânico, geralmente silicato de potássio ou silicato de sódio [2]. O endurecimento destes compostos de silicato ocorre como um processo de silicificação que inclui reacções químicas com dióxido de carbono a partir do ar e com alguns componentes minerais do substrato (cal apagada ou de quartzo), conferindo-lhe uma grande durabilidade e permeabilidade ao vapor de água.

No presente estudo pretende-se apurar preliminarmente as características de distintos sistemas de acabamento aplicáveis em fachadas de edifícios antigos com rebocos com base em cal aérea, com o objetivo de avaliar quais as vantagens e os inconvenientes que apresentam como solução para a reabilitação deste tipo de fachadas. Na campanha experimental os acabamentos são aplicados sobre um reboco de cal aérea que, por sua vez, é aplicado sobre um ladrilho cerâmico simulando o suporte da parede. Desta forma, são caracterizados provetes de referência, constituídos apenas pelo ladrilho ou pelo ladrilho com reboco não revestido, e os resultados são comparados com provetes em que, sobre o reboco, foram aplicados os distintos sistemas de acabamento. Os ensaios de caracterização preliminar apresentados neste estudo são a observação visual, em termos de textura e fissuração, a dureza superficial, a absorção capilar pelo suporte, a secagem através da superfície e a permeabilidade ao vapor de água.

2. MATERIAIS, SISTEMAS E PROVETES

Para a realização dos provetes no presente estudo utilizou-se como material de suporte um ladrilho cerâmico de barro vermelho cozido, com dimensões de 150 mm x 150 mm x 12 mm, fabricado pela Cerâmica Torreense, simulando a parede de suporte. Os provetes apenas de ladrilho são designados por L. Para a constituição de todos os restantes provetes sobre os ladrilhos foi aplicada uma camada de argamassa de cal aérea, simulando o reboco, constituindo os provetes R. A argamassa de reboco aplicada sobre o ladrilho é pré-doseada, da SicalPor e constituída por cal aérea e uma areia fina de rio lavada.

Para aplicação dos rebocos os ladrilhos cerâmicos foram mergulhados em água durante 24 h, tendo sido, de seguida, colocados num suporte por forma a escorrer a água em excesso. A argamassa foi aplicada sobre os ladrilhos numa camada com 15 mm de espessura, apertada com talocha plástica. Os acabamentos aplicados a fresco foram aplicados após 3,5 h de secagem da argamassa ao ar. Os acabamentos aplicados a seco foram aplicados ao fim de 12 dias dias de secagem da argamassa em

ambiente interior.

Os acabamentos aplicados sobre o reboco foram:

- uma massa de estuque de cal, Ma, pré-doseada, comercializada pela empresa Fradical, constituída por cal aérea não hidrófuga em pasta, areia fina e pó de mármore, com um traço em volume de 1:0,5 (Ma:água), a rolo, resultando numa textura rugosa, areada; este acabamento foi aplicado a fresco e a seco;

- uma massa especial de barramento, B, pré-doseada, comercializada pela empresa Fradical, constituída por cal aérea não hidrófuga em pasta e pó de pedra, aplicada à brocha em três demãos, variando em cada uma delas a diluição do produto na água e o sentido de aplicação (cada uma aplicada perpendicularmente à anterior); a primeira demão apresentou um traço de 1:3 (B:água), a segunda, por sua vez, um traço de 1:2 e a última um traço de 1:1, todos em volume; as demãos foram aplicadas com um intervalo de 30 minutos entre cada uma; resultou um acabamento com textura lisa; este acabamento foi aplicado a fresco e a seco;

- um sistema de pintura com tinta de silicatos, U6-Silicatus - Tinta Orgânica Mate Mineral, de acordo com o fabricante constituída por silicatos de potássio, polímeros orgânicos e pigmentos inorgânicos de grande solidez; a quantidade de componente orgânico é inferior a 5% em peso de acordo com a norma DIN 18363; foi aplicada à brocha, de acordo com a sua ficha técnica: o primário Silicatus A7 confere uma regulação da absorção da água, aderência e protege a tinta do contacto directo com substâncias prejudiciais do sistema base; posteriormente foi aplicada a tinta Silicatus apenas numa demão, tendo esta sido diluída em 10% de água (100ml de tinta para 10ml de água); este acabamento só foi aplicado a seco;

- um sistemas de pintura com tinta corrente plástica, B10-Neucegold, de acordo com o fabricante uma Tinta Plástica Acrílica Pura, 100% acrílica; foi aplicada a rolo: uma primeira demão de primário aquoso Barboprimer diluído em 10% de água (140ml de primário para 14ml de água); posteriormente foi aplicada a tinta Neucegold, tendo esta a mesma diluição que o primário; este acabamento só foi aplicado a seco.

Após aplicação dos acabamentos os provetes foram acondicionados em ambiente controlado com temperatura de $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ e $65\pm 5\%$ de humidade relativa (HR). Todos os provetes permaneceram na sala condicionada até ao início dos ensaios, que decorreu ao fim de um mínimo de 40 dias.

Na tabela 1 apresenta-se a designação e constituição sumária dos sistemas ensaiados.

Tabela 1: Designação e constituição dos provetes

Provetes	Ladrilho cerâmico	Reboco fresco (Rf)	Reboco seco (Rs)	Massa de estuque de cal areada (Ma)	Massa especial de Barramento (B)	Tinta Plástica (Tp)	Tinta de Silicato (Ts)
				Aplicado a rolo	Aplicado à brocha	Aplicado a rolo	Aplicado à brocha
L	X						
R	X		X				
RsMa	X		X	X			
RfMa	X	X		X			
RsTs	X		X				X
RsTp	X		X			X	
RsB	X		X		X		
RfB	X	X			X		

3. PROCEDIMENTOS DE ENSAIOS

Análise visual a olho nu e à lupa binocular

Todos os provetes foram submetidos a uma análise visual a olho nu. Foram também observados com lupa binocular, permitindo esta um aumento de 25 vezes, por forma a verificar a ocorrência de fissuras na argamassa ou nos sistemas de acabamento.

Resistência superficial

Para a realização deste ensaio utilizou-se, em toda a amostragem, um Durometro Shore A, estando este de acordo com as normas DIN 53505, ASTM D 2240, ISO 7619 e ISO 868.

Foram medidos 9 pontos por provete, considerando-se a dureza de cada sistema a média dos valores dos provetes do mesmo sistema.

Absorção capilar pelo suporte

O ensaio de capilaridade foi baseado na norma EN 15801. Pretendeu-se simular absorção de água a partir do suporte, neste caso do ladrilho mas que numa situação real seria a parede, com problemas de humidade. Este ensaio foi realizado com recurso a uma balança na qual estava suspenso um cesto de rede, no qual foram colocados sucessivamente um provete de cada sistema, com o ladrilho em baixo. O cesto com o provete, por sua vez, estava dentro de uma caixa com água até meia altura do ladrilho.

Cada provete foi pesado seco antes de ser colocado no cesto de rede e foi sujeito a uma pesagem contínua durante 13 h, tendo sido registados os valores ininterruptamente através do auxílio de uma câmara de filmar. Ao fim deste tempo, o provete foi retirado do cesto e colocado numa caixa fechada, mantendo-se o contacto com água até metade da espessura do ladrilho; o provete foi mantido em saturação por um período mínimo de 48 h. Os resultados são expressos através das curvas de absorção capilar, a partir das quais se determinam os coeficientes de capilaridade dos diferentes sistemas: declive da recta de absorção capilar inicial representativa. Permitem ainda comparar a quantidade total de água absorvida ao fim de determinado período de tempo. Esta obviamente depende da espessura dos provetes de cada sistema mas não sofreu grande variação entre sistemas (excepto no caso do provete apenas constituído por ladrilho, menos espesso e por isso não comparável com os restantes).

Capacidade de secagem

Todo o ensaio foi realizado de acordo com a norma EN 16322. Este ensaio consiste em deixar o provete secar livremente num ambiente controlado e monitorizar a sua perda de humidade através da perda de massa. O resultado é expresso pelas curvas de evaporação, que mostram a variação do teor de humidade por área, ao longo do tempo (ilustrando bem a primeira fase de secagem) ou ao longo de raiz do tempo (ilustrando bem a segunda fase de secagem).

O ensaio foi realizado a um provete de cada sistema. Os provetes foram retirados da caixa de saturação, tendo sido retirada a água em excesso da base de cada provete através de papel absorvente. A base do ladrilho foi selada com um filme de polietileno, mantido com elásticos, garantindo, assim, que a secagem se realizasse apenas pela face do acabamento. Os provetes foram pesados e colocados a secar na sala condicionada a $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ e a $65\pm 5\%$ de HR. Foram realizadas pesagens dos provetes de hora a hora durante as primeiras 8 h, tendo sido as seguintes pesagens realizadas de 24h em 24h.

Os resultados são expressos através das curvas de evaporação, a partir das quais se determinam as taxas de secagem relativas à primeira e segunda fases de secagem, respectivamente D1 (em $\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$) e D2 (em $\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\sqrt{\text{h}})$).

Permeabilidade ao vapor de água

O ensaio de permeabilidade ao vapor de água foi baseado na norma EN 15803 para o método da cápsula húmida. Como os provetes tinham área de 150 mm x 150 mm foram utilizadas caixas plásticas com dimensões 190 x 190 x 130mm, por forma a permitir que os provetes encaixassem sobre as tampas. Todos os restantes procedimentos foram realizados de acordo com as exigências da norma. Foi definida uma secção útil de 130 x 130mm no provete, tendo sido impermeabilizados, com cera líquida, as faces laterais e 10 mm em todo o perímetro da face do provete. Na tampa das caixas plásticas foi recortada uma secção de 130 x 130mm. Posteriormente, o provete foi colado à tampa das caixas plásticas com mastique resistente à humidade, de modo a impedir a passagem de ar. Estas caixas foram cheias até cerca de 1/3 da sua capacidade com água e algodão. Este último serviu apenas para evitar a deslocação da água dentro da caixa durante as pesagens consecutivas. Por fim, a caixa foi fechada e selada novamente com mastique, de modo a ser criado um ambiente estanque e saturado no seu interior.

Os sistemas caixa-provete foram pesados e colocados numa câmara condicionada com $23\pm 1^{\circ}\text{C}$ e $50\pm 3\%$ de HR. A diferença de HR dentro da câmara climática e dentro das caixas dos provetes, permite um fluxo migratório de vapor de água através das amostras. Depois do provete estabilizar por um período de 48h, tiveram início as medições (pesagens) periódicas de 24h em 24h.

Os resultados do ensaio realizado apenas a um provete de cada sistema foram expressos em permeabilidade ao vapor de água, δ_p (em kg/(m.s.Pa)), através da equação 1,

$$\delta_p = \frac{G \cdot D}{A \cdot \Delta p_v} \quad (1)$$

onde G (kg/s) é a taxa de fluxo do vapor de água, que flui através do provete; D (m) é a espessura da amostra, A (m²) é a área de superfície de ensaio e Δp_v (Pa) é a diferença da pressão do vapor de água em toda a amostra.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todos os acabamentos apresentaram uma textura rugosa, excepto os acabamentos com massa especial de barramento B. Na figura 1 apresentam-se exemplos das fissuras detectadas nos provetes a partir da observação com lupa binocular.

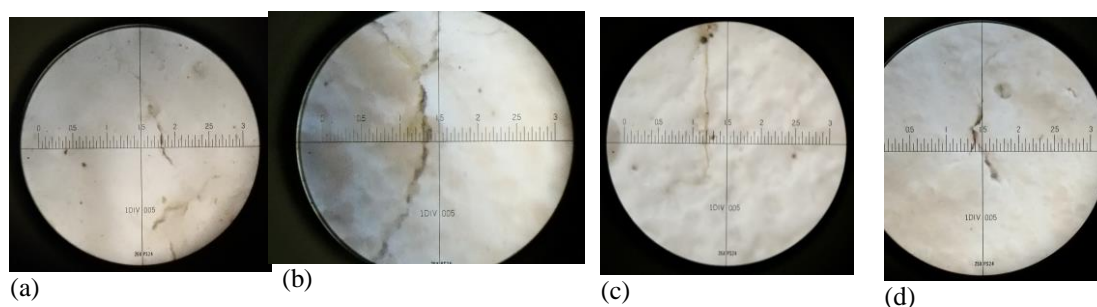


Figura 1: Microfissuração ocorrida nas superfícies de acabamento: (a) provete RsMa - microfissura com 0,05 mm; (b) provete RsMa - microfissura com 0,1 mm; (c) provete RfMa - microfissura com 0,05 mm; (d) provete RfMa - microfissura com 0,05 mm

Apenas se detetou microfissuração nos provetes cujo acabamento possui areia fina – sistema de acabamento com massa de estuque de cal areada Ma.

A figura 2 apresenta as curvas de absorção de água por capilaridade, a partir do ladrilho. A figura 3 apresenta as curvas de secagem, em termos de tempo ou de raiz do tempo, através da superfície dos sistemas de acabamento. A tabela 2 apresenta o valor médio e desvio padrão da dureza superficial, o coeficiente de capilaridade, as taxas de secagem na 1^a e 2^a fases (D1 e D2) de secagem e a permeabilidade ao vapor de água de cada sistema de acabamento.

Tabela 2: Dureza superficial, coeficiente de capilaridade, taxas de secagem na 1^a e 2^a fases de secagem e permeabilidade ao vapor de água

Provetes	Dureza superficial [Shore A]		Coeficiente de absorção capilar CC [kg/(m ² .s ^{1/2})]	Taxa de secagem 1 ^a fase D1 [kg/(m ² .h)]	Taxa de secagem 2 ^a fase D2 [kg/(m ² .h ^{1/2})]	Permeabilidade ao vapor de água δ_p [kg/(m.s.Pa)]
	Média	DsvPad				
L	95,9	0,1	0,11	0,05	0,15	1,52E-12
R	83,2	0,9	0,12	0,05	0,33	2,33E-12
RsMa	78,6	1,9	0,17	0,06	0,37	2,97E-12
RfMa	79,9	0,7	0,21	0,05	0,32	3,30E-12
RsTs	88,0	0,8	0,05	0,04	0,28	1,89E-12
RsTp	87,3	0,9	0,05	0,02	0,19	1,98E-12
RsB	92,8	0,3	0,05	0,02	0,20	1,59E-12
RfB	86,6	0,7	0,18	0,02	-	2,90E-12

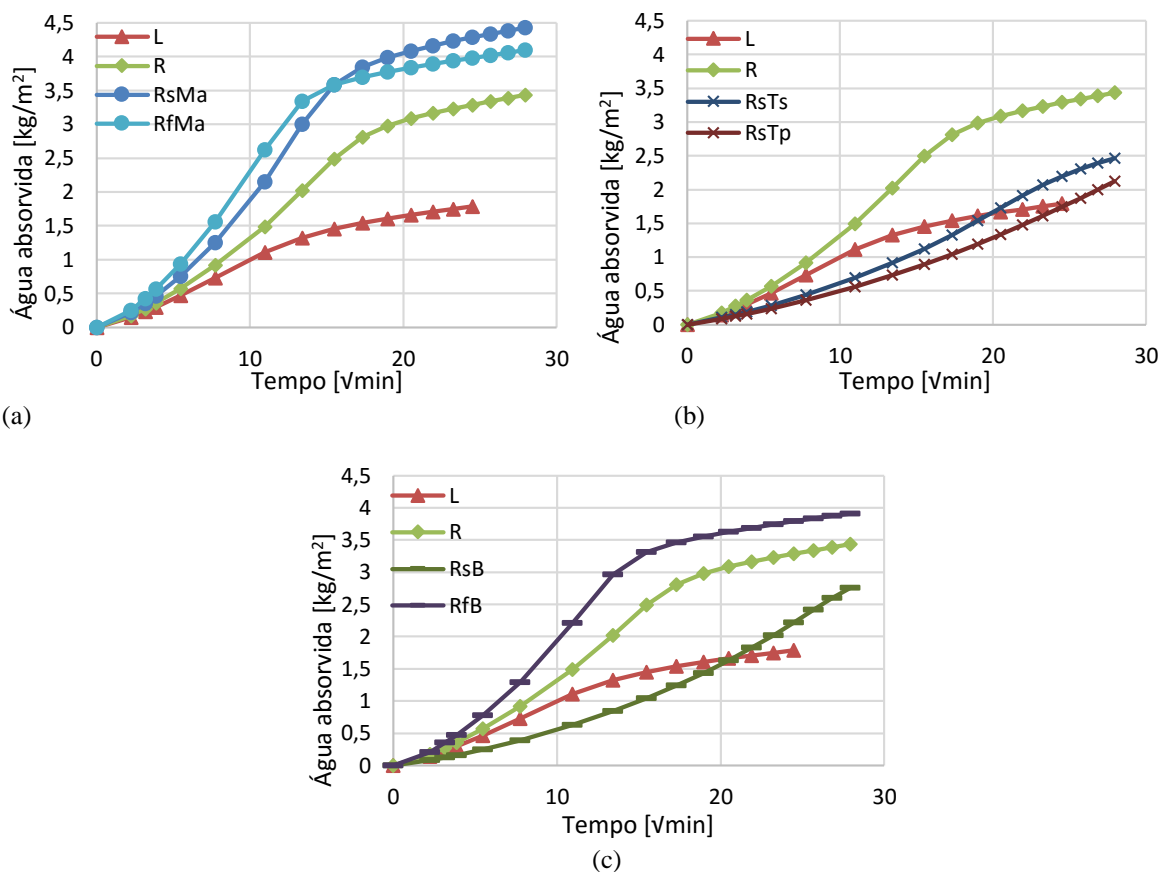


Figura 2: Curvas de absorção capilar a partir do ladrilho, comparativamente às referências: (a) provetes com massa areada sobre reboco seco e fresco, RsMa e RfMa; (b) provetes com pinturas de tintas de silicatos e plástica sobre reboco seco, RsTs e RsTp; (c) provetes com barramento sobre reboco seco e fresco, RsB e RfB

A figura 4 apresenta uma comparação visual entre as taxas de secagem das fases de secagem 1 e 2 e o coeficiente de capilaridade.

A dureza superficial apenas do ladrilho é superior a todos os sistemas de revestimento. Os acabamentos com massa areada apresentam dureza superficial ligeiramente inferior ao reboco sem acabamento. Os sistemas de pintura e os barramentos registam dureza um pouco superior, tendo o acabamento com barramento sobre reboco seco dureza que se aproxima da do ladrilho não revestido.

Relativamente à absorção capilar sobressai o facto dos sistemas de pintura contribuírem para a redução do coeficiente de capilaridade e para uma menor quantidade de água absorvida ao fim de 13 h de ensaio. Pelo contrário, os sistemas de acabamentos aplicados sobre o reboco fresco contribuem para mais elevados coeficientes de capilaridade, embora as quantidades de água absorvidas ao fim de 13 h de ensaio sejam semelhantes aos mesmo sistemas aplicados sobre reboco seco.

Quanto à taxa na primeira fase de secagem verifica-se que todos os sistemas apresentam valores semelhantes ao ladrilho e ao ladrilho apenas com reboco, excepto os sistemas com acabamento com pintura com tinta plástica e com barramento, nos quais a secagem se processa muito mais lentamente. Relativamente à taxa na segunda fase de secagem (que não se atingiu no sistema de barramento sobre reboco fresco ao fim de 9 dias) verifica-se que todos os sistemas apresentam valores superiores ao ladrilho não revestido, sendo no caso dos sistemas com massa areada aplicada sobre o rebocos superiores ao sistema de reboco não revestido quando aplicada a seco e semelhante quando aplicada a fresco. No caso da tinta de silicatos existe redução face ao reboco simples mas essa redução é maior no caso do barramento aplicado a seco e principalmente no caso do acabamento com tinta plástica.

Os resultados da permeabilidade ao vapor de água apresentam uma tendência muito semelhante à do coeficiente de capilaridade, com permeabilidade crescente do ladrilho para o reboco simples, e deste para a massa areada aplicada a seco, com valor semelhante ao barramento aplicado a fresco. A permeabilidade mais elevada é registada para a massa areada aplicada a fresco. Ambos os sistemas de

pintura e o barramento aplicado a seco, que tinham registado os menores coeficientes de capilaridade, apresentam, no entanto, também as menores permeabilidades ao vapor de água.

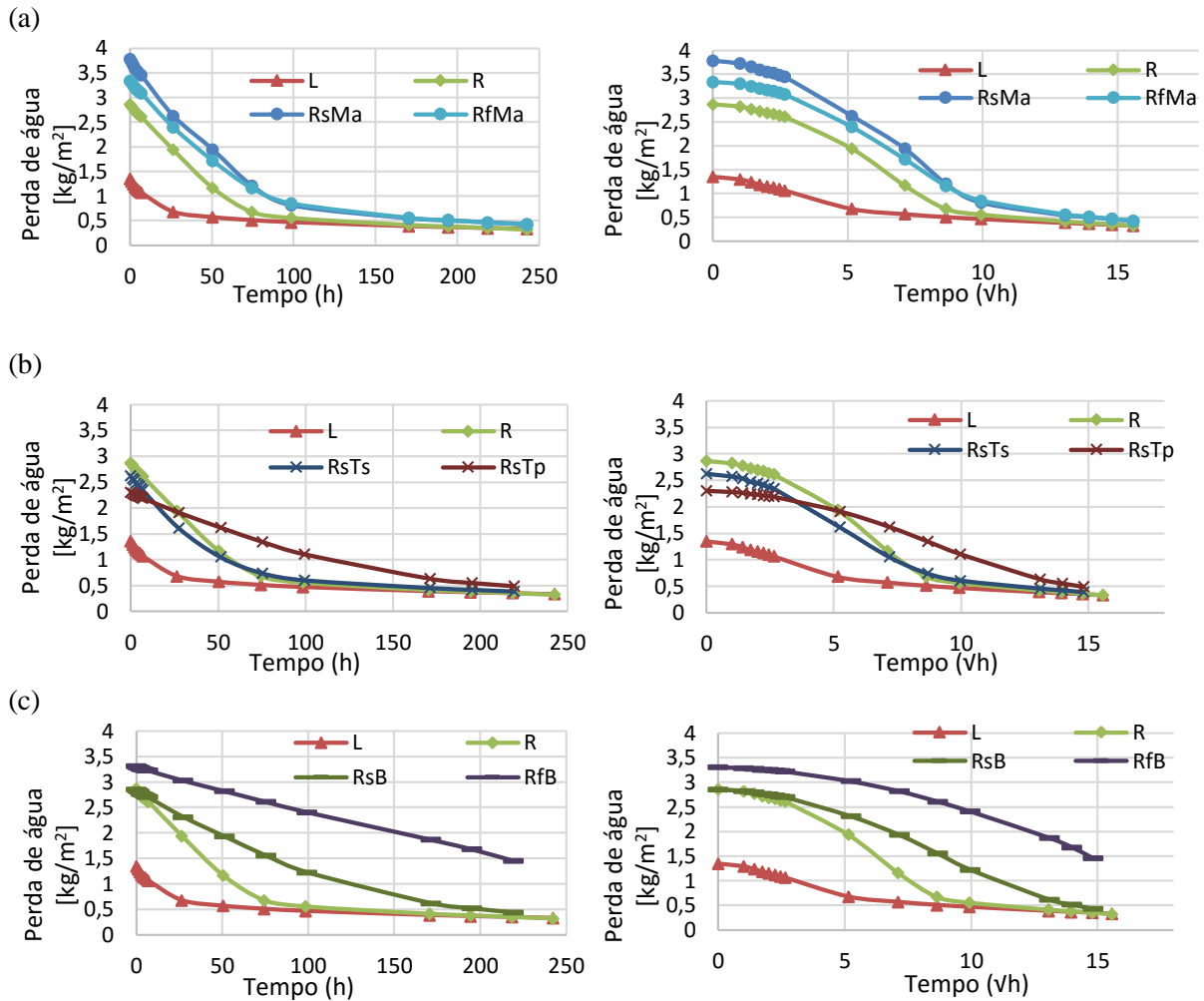


Figura 3: Curvas de secagem em ordem ao tempo (esquerda) e à raiz quadrada do tempo (direita), comparativamente às referências: (a) provetes com massa areada sobre reboco seco e fresco, RsMa e RfMa; (b) provetes com pintura com tintas de silicatos e plástica sobre reboco seco, RsTs e RsTp; (c) povetes com barramento sobre reboco seco e fresco, RsB e RfB

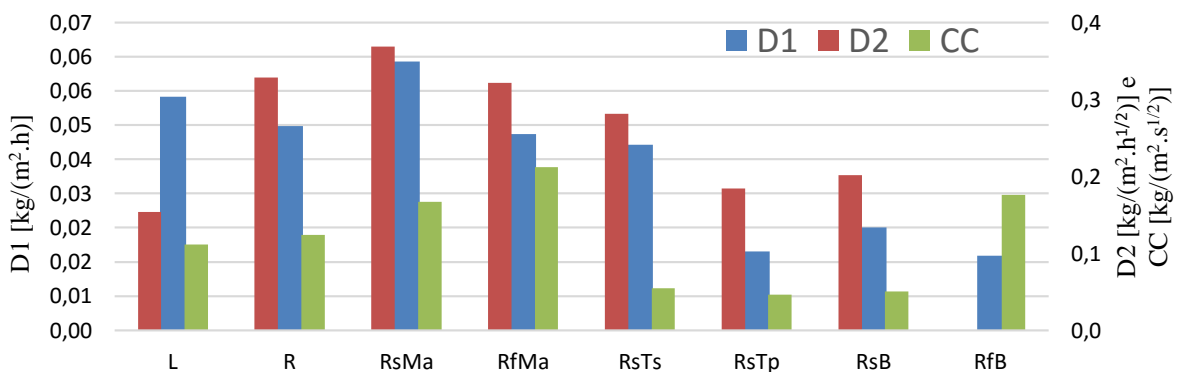


Figura 4: Taxas de secagem na fase 1 (D1) e 2 (D2) de secagem e coeficiente de absorção capilar

Salientam-se os resultados obtidos para o sistema de reboco sobre ladrilho comparativamente ao ladrilho simples e comparativamente a sistemas complementares aplicados sobre o reboco. Com efeito, quer em

termos de capilaridade a partir da base, quer de secagem ou permeabilidade ao vapor, os sistemas compostos apresentam valores quer superiores, quer inferiores. Isto mostra a grande influência que sistemas de acabamento distintos podem ter no transporte de humidade e sua retenção dentro das alvenarias.

5. CONCLUSÕES

Do ponto de vista da dureza superficial, todos os acabamentos apresentam resultados semelhantes e considerados adequados. Relativamente à fissuração, esta apenas foi detectada nos sistemas com massa areada aplicada sobre o reboco seco ou fresco; não foi detectada qualquer fissuração nos restantes sistemas.

Os resultados de todos os ensaios relativos ao comportamento face à água têm ainda de ser confirmados por repetição, uma vez que resultam apenas, nesta fase preliminar, do ensaio de um provete por sistema. No entanto, no caso dos acabamentos com aplicação de massa areada ou com barramento liso a diferença de comportamento entre as aplicações é mais positiva para as aplicações a seco, com menor coeficiente de capilaridade a partir do suporte e mais elevadas taxas de secagem. Entre os sistemas de pintura o com tinta de silicatos apresenta-se como mais vantajoso comparativamente ao com tinta plástica.

A redução do coeficiente de capilaridade registada para os acabamentos por pintura e com barramento aplicado a seco pode ser justificada pelo efeito de tamponamento à dissipação de vapor de água provocado pelos acabamentos respetivos, devida à sua possível menor porosimetria. Esta menor porosimetria, por sua vez, pode dificultar a dissipação do vapor de água.

Em paredes com problemas de ascensão capilar a dissipação da humidade pela superfície é particularmente importante. Por isso, sistemas de acabamento com maiores taxas de secagem e menores coeficientes de capilaridade constituirão à partida soluções particularmente positivas para aplicação em paredes com problemas de ascensão capilar ou na envolvente de espaços com elevada produção de vapor de água, uma vez que nesses casos a humidade terá maior facilidade em dissipar-se na forma de vapor. A caracterização vai assim continuar tanto em termos de repetibilidade para confirmação das tendências encontradas e sua justificação, como ao nível de caracterização complementar, nomeadamente em termos de absorção de água sob baixa pressão a partir da superfície e coesão superficial.

6. AGRADECIMENTOS

Agradece-se à empresa Fradical pela disponibilização dos materiais utilizados neste estudo e o apoio laboratorial do Eng. Vítor Silva.

7. BIBLIOGRAFIA

[1] Veiga, M. R. (1998), “Comportamento de argamassas de revestimento de paredes – contribuição para o estudo da sua resistência à fendilhação”, Dissertação de Doutoramento em Engenharia Civil pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Teses e programas de investigação do LNEC, 458 p.

[2] Brito V.;Gonçalves T.D.; Faria P. (2011), Coatings applied on damp building substrates: performance and influence on moisture transport. J. Coat. Technol. Res., 8 (4), 513-525.

[3] Stoye, D.; Freitag, W. (eds.), Paints, Coatings and Solvents. Wiley-VCH, Weinheim, 1998.