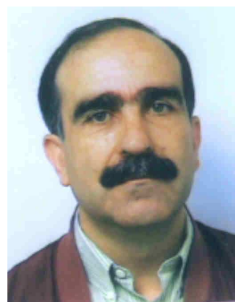


Argamassas de Revestimento para Paredes Afectadas por Cristalização de Sais Solúveis: Influência do substrato.



Teresa Diaz Gonçalves
LNEC
Portugal
teresag@lnec.pt



José Delgado Rodrigues
LNEC
Portugal
delgado@lnec.pt

Resumo: A cristalização de sais solúveis é um dos principais mecanismos de degradação dos materiais de construção porosos como a pedra, as argamassas e os cerâmicos. Este artigo foca a influência que o substrato poderá ter no comportamento dos rebocos em relação à acção dos sais. O artigo apresenta e discute os resultados de um ensaio de cristalização realizado com cloreto de sódio ou sulfato de sódio sobre provetes de um reboco aplicado sobre tijolo cerâmico ou argamassa de cal aérea. Conclui-se que o tipo de suporte pode determinar o comportamento dos rebocos relativamente à acumulação de sal, pelo que a prescrição destes deve ter em conta as características de cada construção.

Palavras-chave: sais solúveis, cristalização, rebocos, argamassas, edifícios antigos

1. INTRODUÇÃO

1.1 Âmbito e objecto

A degradação por sais solúveis é desde há muito conhecida, como o demonstra a conhecida observação de Heródoto (484 - 425 AC) de que “o sal exsudava do solo em tal quantidade que até danificava as pirâmides”.

Actualmente, a degradação por sais solúveis é reconhecida como um dos principais mecanismos de degradação dos materiais de construção porosos como a pedra, as argamassas e os cerâmicos [1, 2, 3]. É especialmente relevante em edifícios antigos (construídos antes da utilização do cimento Portland) pelas seguintes razões principais:

- Nestes edifícios, a presença de sais solúveis e humidade é recorrente uma vez que:
 - (i) os edifícios antigos incluem materiais muito porosos e hidrófilos, que favorecem o ingresso e a permanência de humidade na sua rede porosa; (ii) as paredes são normalmente construídas em continuidade sobre o terreno, pelo que a ascensão capilar de água do solo é vulgar; (iii) sais e humidade com origens diversas podem acumular-

- se na alvenaria ao longo dos anos, em particular durante períodos de deterioração construtiva (falta de estanquicidade de coberturas, degradação dos rebocos, etc.).
- A degradação por sais progride geralmente mais depressa nas alvenarias antigas, baseadas em materiais de baixa resistência mecânica como as argamassas de cal aérea.
 - As consequências da degradação podem ser mais graves nos edifícios antigos. Como nestes edifícios muitas paredes têm função estrutural, a sua deterioração pode levar, como se observa frequentemente em edifícios abandonados, ao colapso estrutural.
 - Muitos edifícios antigos têm valor histórico, não se lhes aplicando o conceito de “vida útil”: quer sejam monumentos individuais ou integrem conjuntos arquitectónicos, estes edifícios devem ser preservados para as gerações futuras, como definido na muito citada (mas infelizmente não tão respeitada) “Carta de Veneza” [4].
 - Os edifícios antigos incluem muitas vezes elementos artísticos como esculturas e pinturas murais, que podem perder-se ou ser danificados pelos sais solúveis.

Os sais solúveis provocam também degradação em edifícios recentes, nomeadamente problemas estéticos e de salubridade, resultantes da presença de eflorescências, e ao agravamento de anomalias devidas à humidade. Os problemas de sais são uma consequência da presença de humidade, o que nos edifícios recentes decorre normalmente de defeitos construtivos, não consubstanciando em geral situações “crónicas” como acontece nos edifícios antigos [5]. Não obstante, por dificuldades de diagnóstico ou devido à falta de meios para efectuar uma intervenção correctiva eficaz, a presença de sais solúveis obriga muitas vezes, também nos edifícios recentes, a reparações recorrentes com elevados custos.

Devido ao elevado número de edifícios afectados pela cristalização de sais solúveis, bem como à gravidade e complexidade dos mecanismos que lhe estão subjacentes, têm-se realizado numerosos estudos e projectos de investigação sobre o assunto, envolvendo especialidades diversas (química, física, engenharia, geologia e outras). Não obstante, apesar dos muitos avanços conseguidos, não foram ainda totalmente compreendidos vários aspectos importantes deste tipo de degradação, tanto a nível da micro como da macro escala. Muito por esta razão, não é frequentemente possível adoptar estratégias adequadas de prevenção e de mitigação [2, 3].

O comportamento dos rebocos relativamente à cristalização de sais solúveis é um dos tópicos em relação ao qual as necessidades de investigação são particularmente prementes [6, por exemplo]. Os rebocos constituem a camada superficial da parede. Condicionam por isso todas as trocas de humidade entre o ambiente e os materiais de construção, determinando a distribuição de humidade e de sais nos elementos construtivos. Por outro lado, os rebocos possuem um importante papel sacrificial, de protecção da alvenaria em relação a acções destrutivas, nomeadamente das que resultam da cristalização de sais solúveis. Uma das questões que se levantam é a da influência que os materiais do suporte poderão ter no comportamento dos rebocos.

O presente artigo apresenta e discute os resultados de um ensaio de cristalização realizado sobre provetes de um reboco aplicado sobre dois tipos de substrato, ambos representativos de materiais correntes em alvenarias antigas: tijolo cerâmico e argamassa de cal aérea. O ensaio foi efectuada com dois sais frequentemente presentes em construções antigas, o cloreto de sódio (NaCl) e o sulfato de sódio (Na₂SO₄), que são também os sais mais utilizados em ensaios laboratoriais de cristalização.

O artigo tem como objectivo principal discutir a influência que o suporte pode ter na distribuição de sal através do reboco. Enquadra-se num estudo mais alargado sobre o comportamento dos rebocos face aos sais [7], parte do qual decorreu no âmbito do projecto europeu de investigação COMPASS, e cujos resultados têm vindo a ser publicados em artigos abordando outros factores de influência: o tipo de sais solúveis [8], a presença de revestimentos por pintura [9] e o uso de hidrófugos de massa [10].

Nas secções que se seguem apresentam-se um breve resumo da patologia associada à degradação por sais (secção 1.2), os princípios de funcionamento a que podem obedecer os rebocos (secção 1.3) e alguns fundamentos sobre secagem de materiais porosos (secção 1.4). A campanha experimental apresenta-se nos capítulos 2 a 4. Inclui-se a caracterização dos materiais (secção 2.1), a descrição do método de ensaio (secção 2.2), os resultados (capítulo 3) e a discussão destes resultados (capítulo 4) face aos objectivos do trabalho.

1.2 Patologia da degradação por cristalização de sais solúveis

Os sais solúveis estão presentes nos materiais de construção sob a forma de soluções aquosas que migram na rede porosa. Admite-se que, em geral, a sua cristalização decorre de processos evaporativos, embora as variações de temperatura possam também ter influência para alguns tipos de sais. A cristalização pode ocorrer na superfície do material, formando-se eflorescências, ou no interior dos poros, o que dá origem a subflorescências. As subflorescências introduzem tensões internas, que podem originar a desintegração do material. As eflorescências não causam danos mecânicos mas a sua presença pode constituir por si só uma degradação, com consequências a nível, por exemplo, da estética ou da salubridade do edifício. Os sais podem também, independentemente de formarem eflorescências ou subflorescências, originar ou agravar os problemas de humidade [7, 8].

A degradação por sais requer, pois, a presença simultânea de sais solúveis e água nos poros dos materiais, bem como condições ambientes favoráveis à cristalização. É um processo bastante complexo, cuja patologia se esquematiza na Fig. 1.

1.3 Princípios de funcionamento dos rebocos

Há importantes diferenças funcionais entre os rebocos e outros elementos de construção, com funções estruturais ou de compartimentação. Em primeiro lugar, os rebocos são substituíveis e comparativamente fáceis de reparar. Em segundo lugar, os rebocos têm o importante papel, que normalmente se sobrepõe à sua própria preservação, de proteger a alvenaria e os elementos adjacentes (cantarias e outros). Por estas razões, a ocorrência de cristalização no reboco (ou sobre ele) não é *per se* negativa. O insucesso acontece, sim, quando, por exemplo, o reboco “empurra” as soluções salinas para elementos adjacentes, introduz sais nefastos na construção, tem durabilidade incompatível com as possibilidades de manutenção ou, acima de tudo, quando não cumpre o princípio de funcionamento para que foi concebido.

O princípio de funcionamento tem a ver com a profundidade a que os sais cristalizam no reboco. Condiciona portanto exigências funcionais prioritárias da construção relativas, por exemplo, à estética e à salubridade (incompatíveis com a ocorrência de cristalização na superfície ou a pequena profundidade) ou à protecção da alvenaria (incompatíveis com a ocorrência de cristalização na interface reboco/alvenaria ou perto dela).

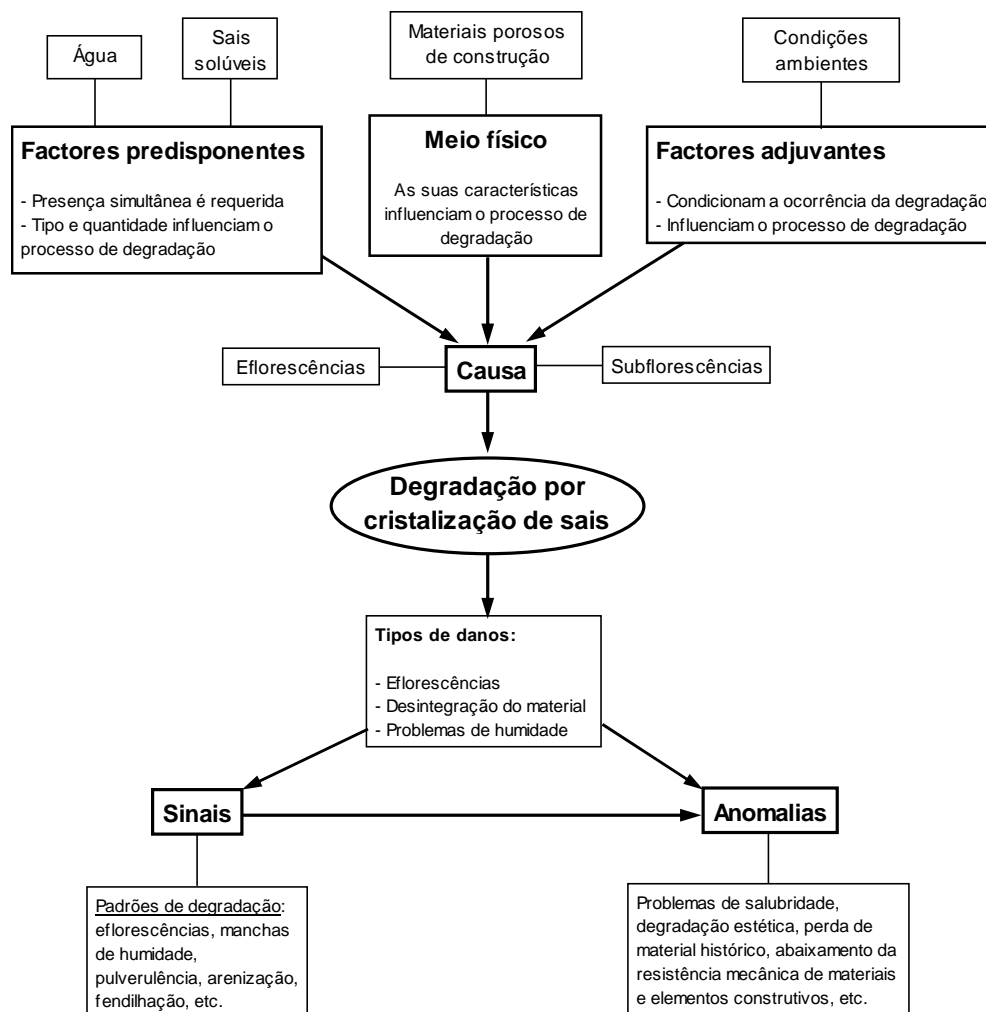


Fig. 1 – Patologia da degradação por cristalização de sais solúveis

Há quatro princípios de funcionamento básicos [11, 7, 12], podendo na prática existir também situações intermédias ou mistas. A Fig. 2, que se refere a processos evaporativos de cristalização (os mais prováveis), expressa esses quatro princípios:

- Os rebocos de transporte de sal favorecem a migração das soluções salinas até à superfície e, conseqüentemente, a formação de eflorescências. Este é o comportamento que apresentam em geral os rebocos tradicionais de cal aérea.
- Os rebocos de acumulação de sal permitem o transporte líquido das soluções provenientes do suporte, impedindo ao mesmo tempo que estas soluções atinjam a superfície da parede. A cristalização tende, assim, a ocorrer na massa do reboco. Muitos rebocos industriais são actualmente formulados com base neste princípio.

- c) Os rebocos de bloqueio de sal permitem o transporte de vapor mas não de líquido. A cristalização tende por isso a ocorrer junto à interface reboco/alvenaria. Um exemplo são os rebocos totalmente hidrófugos, tradicionais ou industriais.
- d) Os rebocos selantes não permitem a migração de vapor nem de líquido. Assim, em teoria, não ocorrerá cristalização (uma vez que não há evaporação). Contudo, na prática, há tendência para acontecerem dois tipos de situações: (i) as soluções são desviadas para elementos adjacentes que permitam evaporação e que podem assim “sofrer as consequências” da cristalização; (ii) se ocorrerem pontos de escape, o que acaba normalmente por acontecer, por exemplo, devido à fissuração do reboco, ocorre cristalização localizada de sal numa zona que se alarga progressivamente (Fig. 2d).

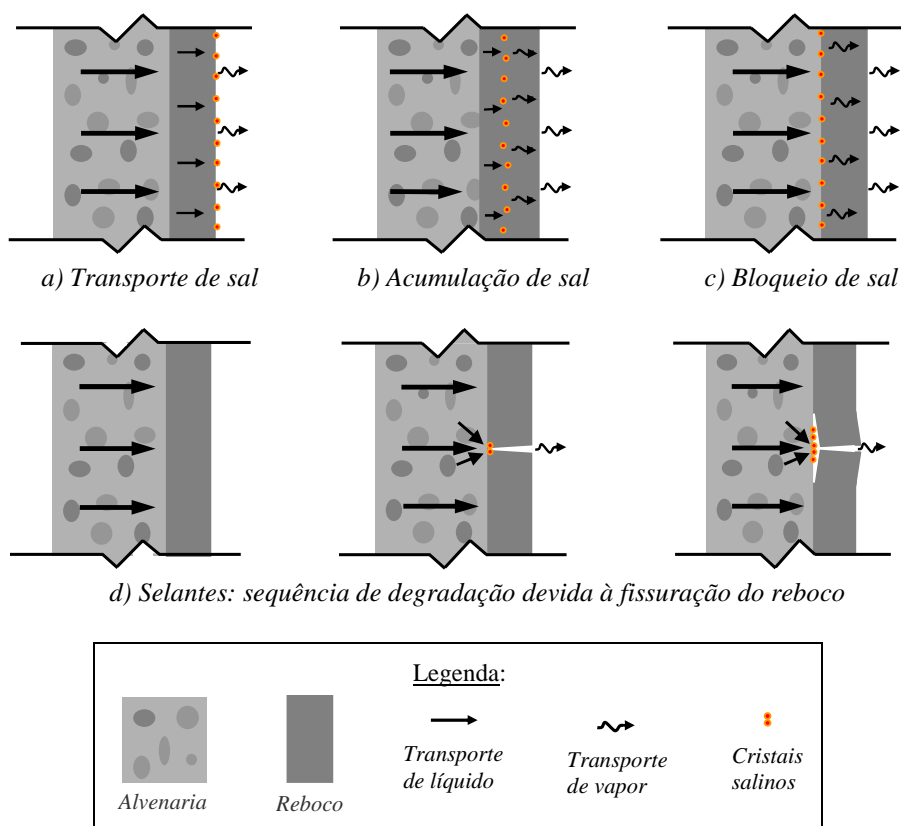


Fig. 2 - Representação dos quatro principais princípios de funcionamento dos rebocos

1.4 Secagem dos materiais de construção porosos

A secagem dos materiais porosos a partir do estado de saturação tem duas fases principais [13, por exemplo], que se representam na Fig. 3. Na primeira fase, o teor de água do material é elevado, havendo continuidade da fase líquida, e a frente de evaporação está localizada na superfície do material. Com o progressivo decréscimo do teor de humidade,

a certa altura o fluxo líquido deixa de ser suficiente para compensar a procura evaporativa. Em consequência, a frente húmida recua para dentro do material, iniciando-se a segunda fase de secagem.

Durante a secagem, a posição da frente de evaporação resulta, de facto, de um balanço entre o fluxo líquido que migra em direcção à frente e o fluxo de vapor que abandona essa frente. Estes fluxos tendem a equalizar-se, segundo um processo quase estático, configurando numa situação que tende permanentemente para o equilíbrio. O sal cristaliza na frente de evaporação, que é onde o soluto se evapora e portanto a concentração da solução aumenta progressivamente. Quando a frente se encontra à superfície (1ª fase de secagem) formam-se eflorescências. Quando a frente se encontra no interior do material (2ª fase de secagem) formam-se subflorescências.

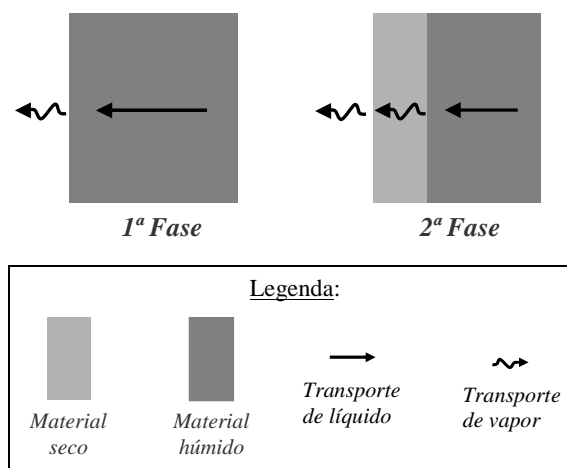


Fig. 3 – Secagem de um material poroso a partir da saturação

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Os ensaios de cristalização foram realizados sobre provetes compostos por um reboco aplicado sobre dois tipos de suporte: tijolo cerâmico e argamassa de cal.

Utilizou-se um reboco tradicional de cimento e cal aérea, composto por uma camada de aderência e uma camada de base com traços volumétricos de 1:1:6 e 1:3:12 (cimento pozolânico tipo IV: cal aérea hidratada em pó LUSICAL : areia do rio Tejo) e aplicadas com espessuras de cerca de 5 mm e 20 mm, respectivamente. O suporte de tijolo foi obtido a partir de um tijolo maciço Holandês, do qual se cortaram pequenos blocos com cerca de 20 mm de espessura. A argamassa de cal aérea tem traço volumétrico de 1:1,5:1,5 (cal aérea hidratada em pó LUSICAL : areia do rio Tejo : areia amarela de Corroios). Nos provetes, utilizaram-se bases desta argamassa com 30 mm de espessura, que foram previamente moldadas para o efeito.

Na Fig. 4 apresenta-se uma vista lateral dos dois tipos de provetes. Estes provetes têm dimensões planas de cerca de 50 mm x 50 mm e foram lateralmente selados com uma resina epoxi transparente. A face inferior dos provetes de reboco sobre argamassa de cal foi, tal como se pode observar, protegida com tecido de algodão para evitar perda de material, durante a absorção de líquido e o manuseamento dos provetes. Este cuidado foi necessário pelo facto de a argamassa de cal, que visa aproximar as argamassas originais das construções antigas, ter resistência mecânica bastante baixa.

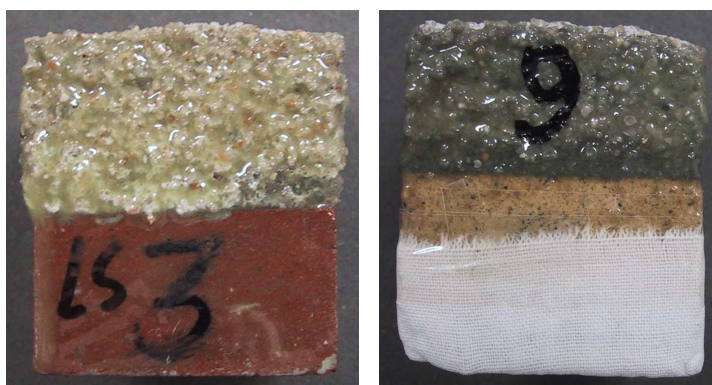


Figura 4 - Provetes de reboco sobre tijolo (esquerda) ou sobre argamassa de cal (direita)

Para efeitos de caracterização, indicam-se na Tabela 1 os coeficiente de capilaridade dos materiais utilizados nos provetes. Estes valores referem-se a ensaios de absorção capilar realizados sobre três provetes de cada material, com dimensões faciais de 45mm x 45mm e espessura de 20mm, cujas faces laterais foram seladas com resina epoxi. Exceptua-se o caso da argamassa de cal aérea, cujo ensaio seguiu, neste aspecto, o procedimento da norma EN 1015-18 [14], tendo sido efectuado sobre seis meios prismas (dimensões originais dos prismas: 40 mm x 40 mm x 160 mm) com as faces laterais seladas com cera. Os provetes foram previamente secos numa estufa ventilada a 60°C e depois colocados a absorver água através da face inferior (a face quebrada, no caso dos meios prismas). Durante a absorção, os provetes foram conservados dentro de uma caixa fechada, sendo o nível de água mantido sensivelmente 5 mm acima da sua superfície inferior. Pela realização de pesagens periódicas, obtiveram-se as curvas de absorção, que expressam a quantidade média de água absorvida por unidade de superfície, em função da raiz quadrada do tempo. O coeficiente de capilaridade corresponde à inclinação do troço (recto) inicial desta curva.

Tabela 1 – Coeficiente de capilaridade dos materiais utilizados

Material	Coeficiente de capilaridade ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1/2}$)
Reboco – camada de base	7,3
Reboco – camada de aderência	3,6
Tijolo cerâmico	14,4
Argamassa de cal aérea	13,3

2.2 Ensaio de cristalização

O ensaio de cristalização foi realizado com soluções aquosas de cloreto de sódio (NaCl) e sulfato de sódio (Na₂SO₄) com concentração (ponderal) de 10%. Realizou-se também um ensaio semelhante, utilizando apenas água pura, que serviu como referência.

Os provetes foram previamente secos em estufa ventilada a 60°C. Após arrefecerem numa sala condicionada a 20°C e 50% HR, foram sujeitos a ciclos de absorção / secagem, de acordo com o seguinte procedimento:

- Os provetes são parcialmente imersos na solução durante 5 minutos, com a superfície livre do líquido cerca de 5 mm acima da sua face inferior. Testes preliminares permitiram confirmar que durante este período a frente húmida não chega a atingir o reboco, o que significa que apenas o suporte é contaminado.
- Os provetes são colocados numa câmara climática (a FITOCLIMA 500 EDTU®) e sujeitos a ciclos diários de 16 horas a 40°C e 20% HR e 8 horas a 20°C e 50% HR.
- Semanalmente, os provetes são pesados e os seus danos avaliados e registados.
- Os ciclos, com excepção do último, acabam quando tiver evaporado pelo menos 80% da água presente nos provetes após a fase de absorção. Para evitar distorção dos resultados, uma vez que o comportamento dos vários provetes de cada grupo foi sempre muito semelhante, um ciclo só terminava para determinado grupo quando todos os provetes desse grupo cumprissem este critério. De facto, como os provetes eram pesados apenas uma vez por semana, pequenas diferenças no processo de secagem dos diferentes provetes de um grupo, que sistematicamente se verificou serem insignificantes, seriam ampliadas se o ciclo terminasse em semanas distintas.
- O último ciclo prolonga-se até que a massa dos provetes seja sensivelmente constante.
- Em regra, os provetes foram sujeitos a 5 ciclos de absorção / secagem. Contudo, como se explicará na secção seguinte, foi necessário realizar um maior número de ciclos para dois dos três provetes de reboco sobre argamassa de cal contaminados com Na₂SO₄, bem como para os provetes de reboco sobre tijolo testados com água.

No fim do ensaio de cristalização, a distribuição de sal foi determinada para um provete de cada grupo. Exceptua-se o caso dos provetes de reboco sobre argamassa de cal testados com Na₂SO₄, em que foi necessário determinar a distribuição de sal para os três provetes.

Para obter o perfil de distribuição de sal, o provete é primeiro dividido em camadas. Para o tijolo foi possível usar uma serra de corte. Neste caso, a distância entre cortes foi tipicamente de 5mm, correspondendo a perda de material a uma espessura de cerca de 2 a 3 mm por corte. Para as argamassas (de reboco e do suporte de cal aérea) não foi possível utilizar a serra pois a baixa resistência mecânica do material e a presença de grãos de areia de dimensão significativa originava a desagregação do material. Nestes casos, a divisão em camadas foi conseguida por lixagem, efectuando a desagregação controlada e progressiva da argamassa.

O teor de sal das várias camadas é avaliado com base no método do teor de humidade higroscópica (HMC - do Inglês “hygroscopic moisture content”). Este método é o objecto de uma Especificação LNEC [15] que se encontra em preparação na presente data (Novembro de 2009), mas que provavelmente estará já publicada aquando da realização do congresso da APFAC, em Março de 2010.

O HMC é o teor de humidade que o material adquire em condições de equilíbrio, por sorção de humidade do ar ou por desorção, quando sujeito a um ambiente com determinada temperatura e HR. O HMC é directamente proporcional ao teor de sal [15, 16, 17]. Por esta razão, o teor de sal de um conjunto de amostras pode ser expresso, em termos relativos, através do seu HMC.

O procedimento utilizado para determinar o HMC das amostras e os correspondentes perfis de distribuição de sal através dos provetes foi o seguinte:

- O material constituinte das amostras é moído num almofariz de ágata.
- O pó resultante da moagem é colocado em caixas de Petri sem tampa (com cerca de 109 cm de diâmetro; uma caixa por amostra).
- As amostras são secas numa estufa ventilada a 60°C até massa constante. A sua massa seca M_s é registada.
- Colocam-se as caixas contendo as amostras numa câmara climática (utilizou-se a mesma FITOCLIMA 500 EDTU® da Aralab) a 20°C e 95% HR. São periodicamente pesadas até a sua massa ser considerada constante, o que corresponde ao equilíbrio higroscópico. A massa M_h das amostras é registada.
- O teor de humidade higroscópica é dado por: $HMC = 100.(M_h - M_s)/M_s$ [%].
- Os perfis de distribuição de sal são obtidos traçando o gráfico que expressa o valor do HMC em função da distância da amostra ao topo do provete.

3. RESULTADOS

Os resultados obtidos nos ensaios de cristalização apresentam-se nas Figs. 5 a 11 e nas Tabelas II e III.

As Figs. 5 a 8 incluem o perfil de distribuição de sal de um provete do grupo respectivo e uma imagem da superfície deste mesmo provete. A Tabela 2 apresenta a duração dos ciclos e a descrição do tipo de danos observados para os quatro grupos de provetes, com indicação do seu momento de ocorrência. Tendo o comportamento dos vários provetes de cada grupo sido uniforme, a informação das Figs. 5 a 8 e da Tabela 2 considera-se representativa do grupo de provetes, a menos que outra coisa seja especificada.

O comportamento dos vários provetes de cada grupo foi de facto similar, não só no que diz respeito ao tipo e momento de ocorrência da degradação, como também à quantidade de sal introduzido e à taxa de secagem, como se vê na Tabela 3 e nas Figs. 9 a 11, respectivamente. As Figs. 9 e 10 referem-se aos valores médios obtidos para cada grupo de provetes, enquanto a Fig. 10 inclui os valores individuais dos provetes de reboco sobre argamassa de cal testados com Na_2SO_4 .

O reboco sobre argamassa de cal testado com Na_2SO_4 foi, de facto, uma excepção. Apesar de o teor de sal (Tabela 3) e a taxa de secagem (Fig. 10) serem semelhantes para os três provetes do grupo, só se observou degradação num dos provetes. O perfil de distribuição de sal deste provete foi obtido, como previsto, ao fim de cinco ciclos. Contudo, devido ao diferente comportamento, optou-se por prolongar o ensaio para os outros dois provetes, que, no entanto, continuaram a não apresentar degradação visível, tendo os seus perfis de distribuição de sal sido determinados no final. Não obstante as diferenças, conclui-se que a distribuição de sal é também aqui semelhante para os três provetes do grupo, revelando os perfis comportamento de acumulação em todos os casos (Fig. 8).

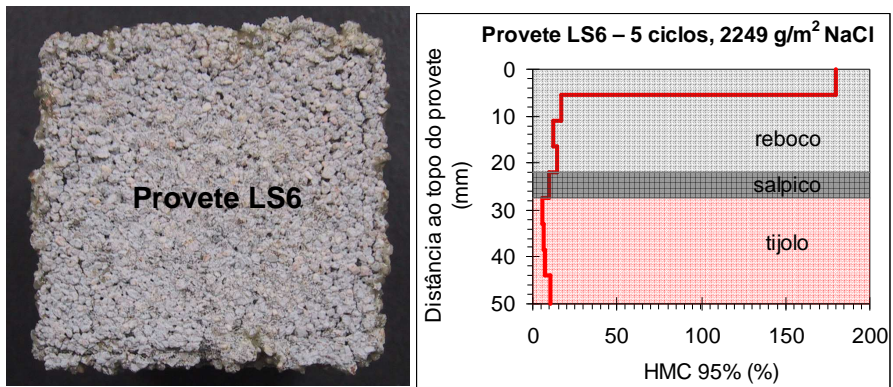


Figura 5 - Reboco sobre tijolo com NaCl : danos e distribuição de sal

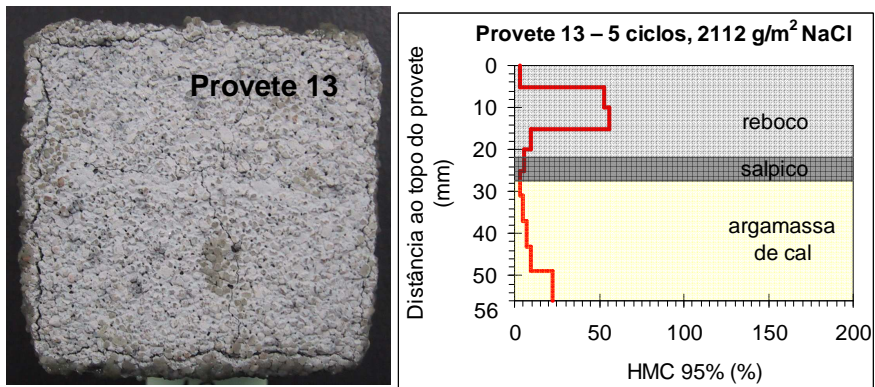


Figura 6 - Reboco sobre argamassa de cal com NaCl: danos e distribuição de sal

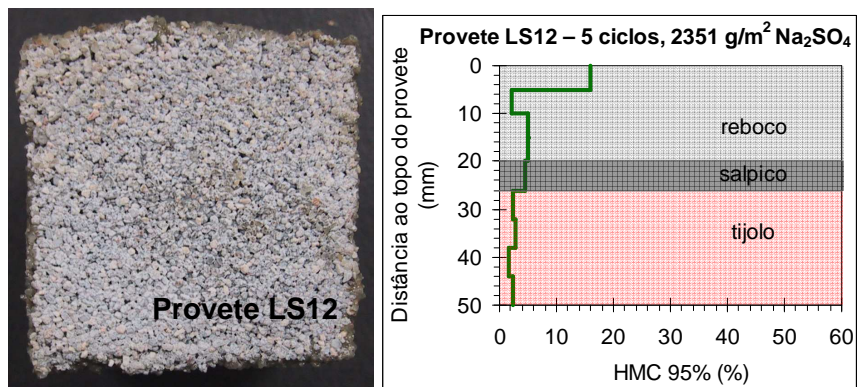


Figura 7 - Reboco sobre tijolo com Na₂SO₄: danos e distribuição de sal

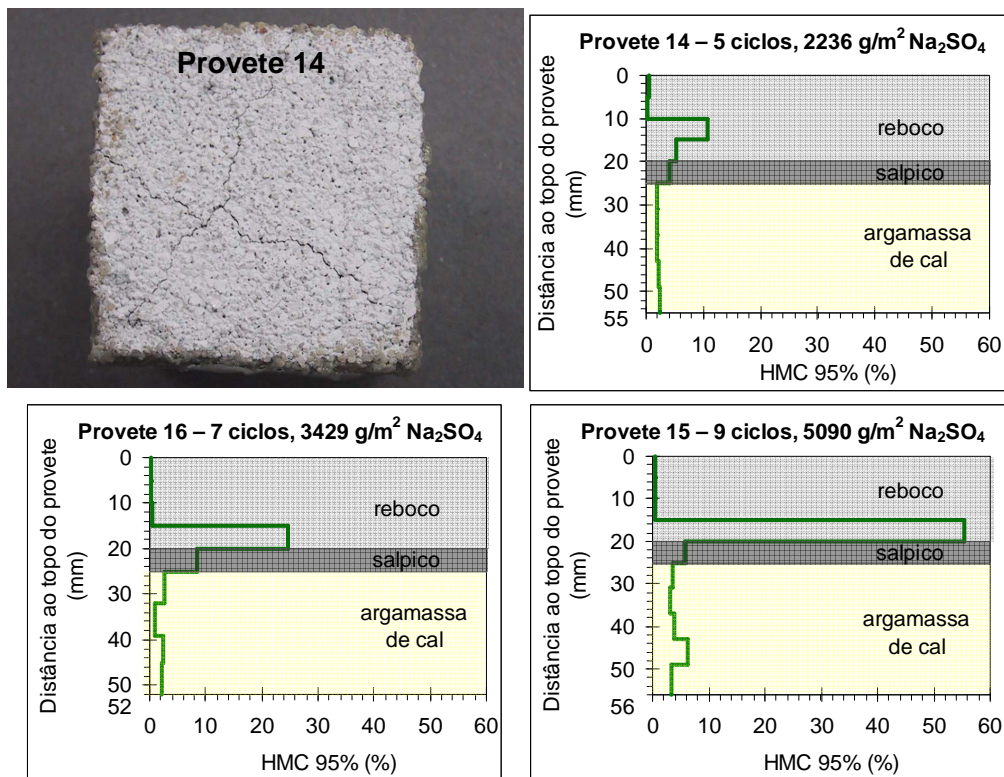


Figura 8 - Reboco sobre argamassa de cal com Na_2SO_4 : danos e distribuição de sal

Tabela 2 – Duração do ensaio, momento de ocorrência e descrição da degradação

Substrato	Tijolo cerâmico	Argamassa de cal
NaCl	Ciclos: 2+5+10+8+5 semanas 4ª semana – Eflorescências 16ª à 24ª semana – Fissuras periféricas nas superfícies de topo 30ª semana – Arenização	Ciclos: 2+4+6+5+5 semanas 14ª semana – Fissuras periféricas (mais largas) e diagonais (mais estreitas) na superfície de topo dos provetes
	Na_2SO_4	Ciclos: 2+5+11+7+5 semanas 19ª semana – Eflorescências

Tabela 3 – Sal introduzido nos provetes após 5 ciclos

Sal	Reboco sobre tijolo		Reboco sobre argamassa de cal	
	Provete	Sal (g/m^2)	Provete	Sal (g/m^2)
NaCl	LS6	2249	11	2182
	LS10	2607	12	2057
			13	2112
Na ₂ SO ₄	LS12	2351	14	2236
	LS13	1954	15	2086
			16	2264

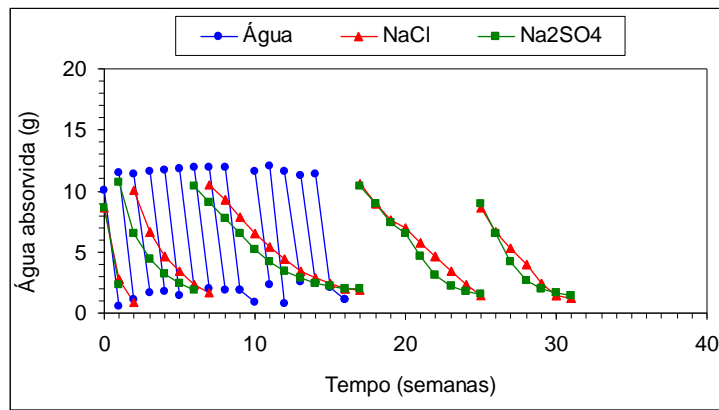


Fig. 9 - Secagem do reboco sobre tijolo (valores médios)

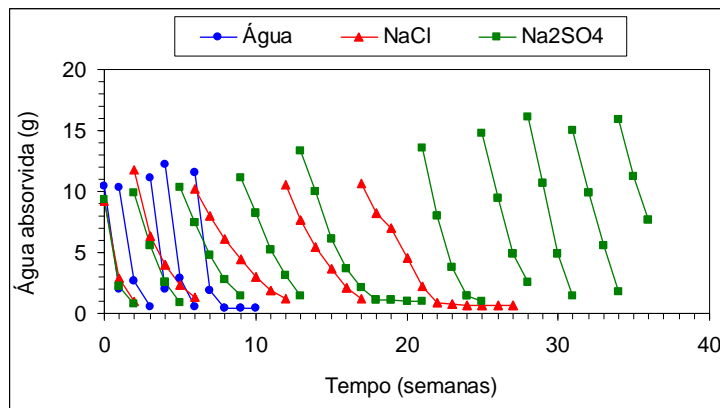


Fig. 10 - Secagem do reboco sobre argamassa de cal (valores médios)

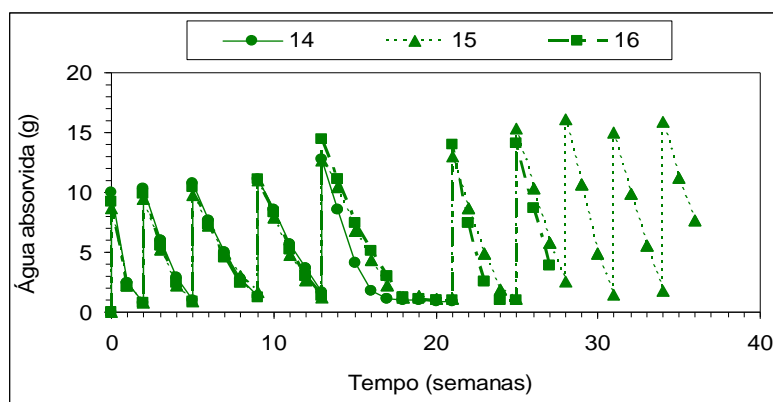


Fig. 11 - Secagem do reboco sobre argamassa de cal com Na_2SO_4

Os provetes testados apenas com água mostram, como seria de esperar, um HMC desprezável e nenhuma degradação (Fig. 12). Os provetes de reboco sobre tijolo foram sujeitos a mais do que cinco ciclos porque os testes com água foram utilizados também para avaliar a estabilidade das condições ambientais. De facto, a deposição de sal induz variações na taxa de secagem, o que não acontece com a água. Contudo, sendo a secagem mais rápida para a água, a realização de cinco ciclos não foi considerada suficiente.

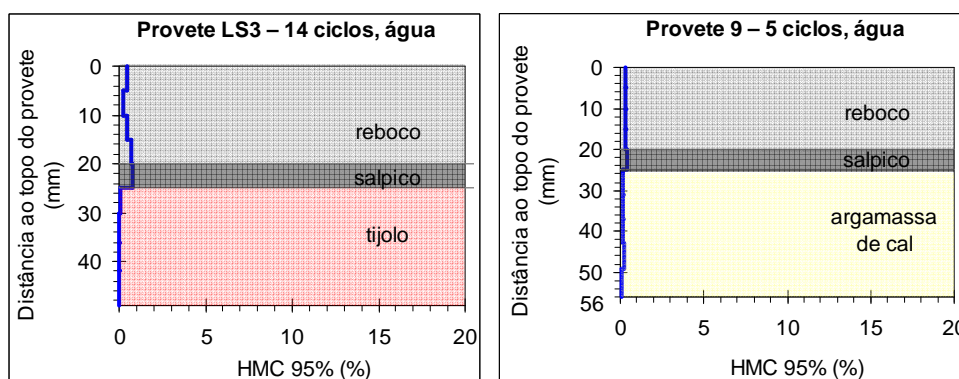


Figura 12 - Reboco sobre tijolo: resultados do ensaio realizado com água

4. DISCUSSÃO

Como há mais de 70 anos referido por Schaffer [18], o tipo de degradação pode ser mais relevante do que a taxa a que esta ocorre. Neste sentido e no âmbito da degradação por sais solúveis, o princípio de funcionamento (Fig. 2) é provavelmente a mais importante característica dos rebocos. Isto porque a profundidade a que os sais se depositam condiciona o tipo de danos e, conseqüentemente, a observância de requisitos funcionais como a ausência de danos superficiais ou a ocorrência de cristalização na alvenaria.

O presente ensaio de cristalização indica que o tipo de suporte pode afectar muito o comportamento dos rebocos. De facto, apesar de terem sido realizados cinco ciclos de contaminação/secagem e introduzidas quantidades de sal similares, o reboco teve comportamento de transporte (Fig. 2a) quando aplicado sobre tijolo (Figs. 5 e 7) e de acumulação (Fig. 2b) quando aplicado sobre a argamassa de cal (Figs. 6 e 8).

Houve algumas diferenças associadas ao tipo de sal, que pode ser um importante factor de influência [7, 8]. Foram, contudo, essencialmente diferenças a nível da durabilidade, ou seja, do momento de ocorrência da degradação. É provável que alguma variação no tipo de danos ocorridos, em particular o facto de com NaCl terem ocorrido fissuras no reboco sobre tijolo, o que não aconteceu com Na_2SO_4 , se deva em parte também ao facto de a taxa de degradação ter sido mais lenta com este último sal.

As diferenças observadas entre os três provetes de reboco sobre argamassa de cal sujeitos ao ensaio com Na_2SO_4 não tiveram também consequências ao nível da distribuição de sal, ocorrendo comportamento de acumulação para todos os provetes, como se vê pelos perfis de distribuição apresentados na Fig. 8.

Não é possível a comparação dos presentes resultados com outros pois, tanto quanto é do conhecimento dos autores, não foram nunca realizados ensaios de cristalização deste tipo, visando avaliar a influência de diferentes suportes no comportamento aos sais de rebocos.

A variação do comportamento do reboco em função do tipo de suporte está provavelmente relacionada com a influência do substrato na secagem. De facto, a profundidade a que o sal se deposita depende da posição da frente de evaporação, que é onde precipita o sal. A distribuição de sal é assim, determinada por todos os factores que influenciem a evaporação ou o fluxo líquido, como previsto por Schaffer [18].

Como explicado na secção 1.4, a posição da frente de evaporação corresponde a um estado de equilíbrio quase estático entre o fluxo líquido e o fluxo de vapor. Quanto maior for o fluxo líquido, mais perto da superfície tende a frente a localizar-se e, portanto, maior probabilidade há de o comportamento do reboco ser de transporte de sal.

O substrato condiciona o fluxo líquido que penetra no reboco, podendo portanto determinar o comportamento do reboco. Há dois factores primordiais:

- A sucção capilar relativa do reboco e do material do substrato, que condiciona a capacidade que o reboco tem de “extrair” as soluções do suporte, bem como a taxa a que o faz. Em teoria, um reboco com poros mais finos do que os do suporte tem maior capacidade de sucção. Contudo, este tipo de análise não é simples e nem sempre é viável pois, na realidade, tanto o suporte como o reboco incluem normalmente poros com diferentes tamanhos, o que faz com que a sucção relativa dos dois materiais varie com o teor de água que cada um deles possui em cada momento. Por outro lado, a sucção é também influenciada pela presença de aditivos hidrófugos (correntemente utilizados, por exemplo, nos rebocos industriais), que podem tornar “capilarmente inactivos” poros com dimensão correspondente ao domínio capilar.
- As características da interface reboco/suporte, que determinam a conectividade entre as duas estruturas porosas. De facto, como concluído por Freitas [19], a interface pode introduzir resistência ao transporte de humidade (resistência esta que nem sempre é

fácil de quantificar). Neste aspecto, será relevante não só a natureza dos dois materiais mas também, certamente, as condições e a técnica de aplicação do reboco e, de uma forma geral, a aderência entre ambos.

O suporte é assim um factor externo que, juntamente com outros, como o tipo de sal [8], a presença de revestimentos por pintura [9] ou as condições ambientes [7, por exemplo], pode determinar o comportamento dos rebocos relativamente à acção dos sais solúveis.

A conclusão que decorre do presente e dos citados trabalhos, de que o comportamento aos sais não é uma característica intrínseca dos rebocos, tem claras implicações para a prática. Significa que a prescrição de rebocos para alvenarias com sais deve ter em conta as características de cada construção. Isto aponta para a necessidade de serem feitos testes preliminares abrangendo um leque alargado de situações específicas. Ou mesmo, quando tal seja possível ou se justifique pelo valor da construção ou pelo custo da obra, para a realização atempada de ensaios “in situ” na própria construção.

Esta conclusão levanta também dúvidas relativamente ao conteúdo da norma EN 998-1 [20], que especifica os requisitos e as propriedades dos rebocos para interior ou exterior. A norma define as chamadas “renovation mortars”, rebocos destinados à aplicação em paredes com sais solúveis e humidade, que deverão possuir “elevada porosidade e permeabilidade ao vapor e reduzida sucção capilar”. A norma define depois valores para a absorção capilar, penetração capilar e permeabilidade ao vapor destes rebocos.

A abordagem da EN 998-1 suscita várias críticas. Em primeiro lugar, nada é dito em relação ao princípio de funcionamento que, como discutido, é a característica mais importante dos rebocos no que se refere à acção dos sais. Em segundo lugar, a mitigação da degradação por sais não se esgota, podendo mesmo não ser compatível, com a definição genérica de um conjunto de propriedades para o reboco. De facto, a adequabilidade de determinado comportamento (acumulação de sal, transporte de sal, etc.) depende das exigências funcionais colocadas a cada construção em particular. Um reboco de acumulação (que previne a ocorrência de degradação na superfície) será adequado, por exemplo, para um espaço museológico ou uma habitação. Já um reboco de transporte (que, favorecendo a rápida migração da humidade para a superfície, minimiza a área afectada pelos sais [7]) será a melhor solução, por exemplo, para uma superfície adjacente a uma valiosa pintura mural. Por outro lado, como discutido neste artigo, não é possível prever o comportamento de um reboco unicamente com base nas suas características uma vez que ele pode ser condicionado por factores externos como as condições ambientes, a presença de revestimentos por pintura ou, de acordo com os resultados apresentados neste artigo, as propriedades dos materiais que constituem a alvenaria.

AGRADECIMENTOS

Os ensaios apresentados neste artigo foram efectuados no âmbito do projecto europeu de investigação “COMPASS – Compatibility of plasters and renders with salt loaded substrates in historic buildings” (ref^a EVK4-CT-2001-00047). Os autores agradecem o auxílio na realização destes ensaios do Eng^o Miguel Abreu e dos técnicos do LNEC João Júnior, João Ribeiro e José Costa.

REFERÊNCIAS

- [1] Goudie, A.; Viles, H. *Salt Weathering Hazard*. Chichester, John Wiley & Sons, 1997.
- [2] Harris, S.Y. *Building pathology*. New York, John Wiley & Sons, 2001.
- [3] Scherer, G.W. *Internal stress and cracking in stone and masonry*. In *Measuring, Monitoring and Modeling Concrete Properties*, Proc. 16th European Conf. Fracture. Konsta-Gdoutos MS (ed.). Springer: Berlin, 2006, 669–673.
- [4] ICATHM (International Congress of Architects and Technicians of Historical Monuments) *International charter for the conservation and restoration of monuments and sites*. In Proc. II Int. Congress of Architects and Technicians of Historical Monuments, Venice, 1964. The “Venice Charter”.
- [5] Massari, G.; Massari, I. *Damp Buildings - Old and New*. Rome, ICCROM, 1993.
- [6] Special issue *Compatibility of Plasters and Renders on Salt Loaded Substrates*. *Constr. Build. Mater.* 23, 2009, 1713-2120.
- [7] Gonçalves, T.D. *Salt crystalization in plastered or rendered walls*. PhD thesis, LNEC/IST, 2007, http://www-ext.lnec.pt/LNEC/bibliografia/DM/TG_PhDthesisMar2008.pdf.
- [8] Gonçalves, T.D.; Pel, L.; Rodrigues, J.D. *Drying of salt-contaminated masonry: MRI laboratory monitoring*. *Environmental Geology* 52, 2007, 249–258.
- [9] Gonçalves, T.D.; Pel, L.; Rodrigues, J.D. *Influence of paints on drying and salt distribution processes in porous building materials*. *Constr. Build. Mater.* 23, 2009, 1751-1759.
- [10] Gonçalves, T.D.; Pel, L.; Rodrigues, J.D. *Worsening of dampness and salt damage after restoration interventions: use of water repellent additives in plasters and renders*. In Proc. Historical Mortars Conference HMC08, Lisbon, LNEC, 2008.
- [11] Wijffels, T.; Groot, C., Van Hees, R. *Performance of restoration plasters*. In Proc. 11th Int. Brick/Block Masonry Conference, Shanghai, Tongji University, Department of Structural Engineering. Aedificatio Verlag, 1997, 1050-1062.
- [12] Van Hees, R.; Naldini, S.; Rodrigues, J.D. *Plasters and renders for salt laden substrates*, *Constr. Build. Mater.* 23, 2009, 1714–1718.
- [13] Scherer, G.W. *Theory of drying*. *J. Am. Ceram. Soc.* 73, 1990, 3-14.
- [14] CEN *Methods of test for mortar for masonry - Part 18: Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar*. EN 1015-18: 2002.
- [15] LNEC. *Materiais de construção porosos. Avaliação do teor de sal através do teor de humidade higroscópica (HMC)*. Especificação LNEC (em preparação).
- [16] Gonçalves, T.D.; Rodrigues, J.D.; Abreu, M.M. *Evaluating the salt content of salt-contaminated samples on the basis of their hygroscopic behaviour. Part II: Experiments with nine common soluble salts*. *J. Cultural Heritage* 7, 2006, 193-200.
- [17] Gonçalves, T.D.; Rodrigues, J.D. *Evaluating the salt content of salt-contaminated samples on the basis of their hygroscopic behaviour. Part I: Fundamentals, scope and accuracy of the method*. *J. Cultural Heritage* 7, 2006, 79-84.
- [18] Schaffer, R.J. *The weathering of natural building stones*. London, His Majesty’s Stationery Office, 1932. Building Research Special Report 18. Reprinted, 1933.
- [19] Freitas, V.P. *Transferência de humidade em paredes de edifícios. Análise do fenómeno da interface*. Tese de doutoramento, FEUP, 1992.
- [20] CEN *Specification for mortar for masonry - Part 1: Rendering and plastering mortar*. EN 998-1: 2003.