

O PAPEL DAS ARGAMASSAS NA DURABILIDADE DAS ALVENARIAS ANTIGAS



SUMÁRIO

As argamassas fazem parte dos edifícios, nomeadamente como componentes das alvenarias, com diversas funções. As exigências de desempenho que se colocam a essas argamassas diferem conforme as respetivas funções e a sua localização no edifício. Também as agressões a que estão sujeitas variam, condicionando a durabilidade de cada aplicação de argamassa. As argamassas antigas mais frequentemente encontradas em alvenarias são com base em cal aérea. Diversas questões se colocam tendo em conta intervenções com argamassas para garantir a durabilidade das alvenarias antigas. Neste artigo procura-se contribuir para dar resposta a algumas dessas questões. Para tal refere-se a necessidade de compatibilidade das argamassas com as alvenarias antigas, a importância da reversibilidade e os mecanismos de degradação mais frequentes e medidas para os evitar, tendo sempre em conta o contributo para a durabilidade das alvenarias. Referem-se os métodos propostos por vários autores para avaliar a durabilidade das argamassas e, finalmente, apresenta-se uma compilação de recomendações e aspetos a ter em consideração para a seleção de argamassas destinadas a diferentes tipos de aplicações em alvenarias antigas.

1. INTRODUÇÃO

As argamassas fazem parte dos edifícios, como componentes das paredes e dos pavimentos e dos respetivos revestimentos, com uma diversidade de funções: funções resistentes, no caso das argamassas de assentamento de alvenarias estruturais, funções de colagem no caso da aplicação de ladrilhos em pavimentos ou paredes, funções de proteção dos suportes onde estão aplicadas, sendo por vezes até de sacrifício, funções estéticas e mesmo de isolamento térmico ou acústico no caso dos revestimentos (Figuras 1 a 4). As exigências de desempenho que se põem às argamassas diferem conforme as funções que se destinam a cumprir e a sua localização no edifício. Também as agressões a que estão sujeitas variam com esses fatores, mas também com outros, tais como as condições climáticas e o uso do edifício.

As primeiras argamassas a serem utilizadas eram obtidas pela mistura direta de terra com água e utilizadas para o preenchimento e revestimento de troncos unidos para constituírem cabanas, que serviam para abrigo nos primórdios da humanidade. Com o início da execução de alvenarias com pedra ou blocos de terra, as argamassas de terra passaram a ser usadas também para o assentamento das unidades dessas alvenarias. Essas argamassas não reagiam quimicamente; apenas endureciam por evaporação da água e tornavam-se de novo plásticas (e eram “lavadas”) se tinham de novo contacto com a água. As argamassas de gesso, por este ligante ser obtido por calcinação da respetiva pedra a relativamente baixa temperatura, foram muito provavelmente as seguintes a serem utilizadas. Nestas argamassas já ocorria uma reação química, mais ou menos resistente à água conforme a temperatura de cozedura do gesso (a temperatura superior a 300°C – formando anidrite - ou apenas a 120-180°C – resultando em gesso hemi-hidratado [1]. Mas foram as argamassas de cal e areia que tiveram um papel predominante durante milénios, como constituintes das alvenarias e seus revestimentos. A cal calcítica é obtida por calcinação da rocha calcária a cerca de 900°C. Conhecem-se aplicações desde pelo menos 10000 ac [2], até meados do séc. XX [3], altura em que o cimento começou gradualmente a tornar-se o ligante predominante. Têm vindo a ser encontradas argamassas de cal aérea com milhares de anos. Existem em grande quantidade, em Portugal

e em muitos Países da Europa, argamassas de cal do período romano em bom estado de conservação [4, 5], o que atesta a grande durabilidade deste material. Mais importante do que isso, existem estruturas com essas argamassas que mantêm a sua funcionalidade e aspeto, provando o bom comportamento global desses elementos e a capacidade das argamassas de contribuir para esse desempenho (Figuras 4).



Figura 1 – Monumento de alvenaria de pedra assente com argamassa de cal



Figura 2 – Reboco exterior de argamassa de cal com funções de proteção e decorativas



Figura 3 – Azulejos assentes com argamassa de cal



Figura 4 – Argamassas romanas de assentamento e de reboco em Conímbriga

Estas constatações levam a algumas perguntas.

- Sendo as argamassas antigas, de cal e areia, materiais muito porosos (20 a 30% de porosidade aberta [6], de reduzida resistência mecânica (predominantemente com cerca de 1 a 5 MPa de resistência à compressão [3] e valores moderados de aderência às alvenarias em que se integram (0,05 a 0,1 MPa [7], a que se deve essa durabilidade?
- Como manter a durabilidade das argamassas e das estruturas em que se integram, face às ações agressivas, que têm vindo a sofrer variações ao longo do tempo, e face às condições de manutenção e reparação atuais, tendencialmente muito diferentes das antigas?
- Que materiais e técnicas de intervenção usar, de modo a serem simultaneamente eficazes e viáveis em termos económicos?
- Como avaliar / validar esses materiais e técnicas?

O presente artigo pretende dar algumas respostas a estas questões.

2. COMPATIBILIDADE DAS ARGAMASSAS E DURABILIDADE DAS ALVENARIAS

Um dos fatores de durabilidade das estruturas de alvenaria antiga é certamente o bom funcionamento conjunto, ou seja, a compatibilidade de todos os elementos e constituintes entre si. A compatibilidade entre materiais e elementos pode ser definida como a capacidade de não provocar ou acelerar a degradação do conjunto [8-10]. Nesse sentido, a compatibilidade é uma exigência geral de sustentabilidade e durabilidade da conservação e reabilitação dos edifícios e deve ser sempre cumprida, independentemente do valor do edifício.

Para estabelecer requisitos de compatibilidade para os vários elementos é necessário conhecer o comportamento físico e mecânico global do edifício, além das interações químicas entre os vários materiais. Tendo em conta que o estado de tensão e a concentração e permanência de água nas alvenarias são os dois aspetos que mais condicionam a sua durabilidade, é necessário avaliar as causas que alteram a distribuição de tensões e também entender os processos de transporte de água e os fatores que o modificam. Assim, no caso das argamassas, podem considerar-se os seguintes tipos de compatibilidade:

- a. Compatibilidade mecânica (Figura 5), relacionada essencialmente com a distribuição de tensões e, portanto, com as seguintes características:
- módulo de elasticidade;
 - resistência mecânica;
 - aderência;
 - coeficientes de dilatação térmica e higrométrica.

Ou seja, para garantir que não se desenvolvem tensões excessivas de que resulte rotura no suporte, pretende-se não transmitir tensões excessivas aos elementos preexistentes da alvenaria, o que implica:

- módulo de elasticidade baixo, a que corresponderão resistências à compressão também pouco elevadas;
- aderência moderada, inferior à resistência à tração do suporte;
- coeficientes de dilatação térmica e higrométrica semelhantes aos elementos antigos presentes na alvenaria.



Figura 5 – Destacamento por incompatibilidade mecânica

- b. Compatibilidade física, relacionada essencialmente com o comportamento à água, logo com as seguintes características (Figuras 6 e 7):
- capilaridade e permeabilidade à água líquida;
 - secagem;
 - permeabilidade ao vapor de água.

Ou seja, pretende-se facilitar o transporte para o exterior da água que acede e circula no suporte, o que implica:

- permeabilidade ao vapor de água elevada;
- absorção de água por capilaridade moderada;
- grande capacidade de secagem.



Figura 6 – Anomalia devida à reparação com reboco pouco permeável à água e ao vapor de água



Figura 7 – Anomalia devida a pintura com tinta pouco permeável à água e ao vapor de água

Deve ter-se em conta que a secagem de elementos espessos, como são os elementos de argamassa, se processa, numa primeira fase, sob a forma de transporte de água líquida (mais rápido) e apenas numa segunda fase sob uma forma mista de transporte líquido e difusão de vapor de água (Figuras 8e 9). Além disso, o tempo de secagem das argamassas é muito mais lento que o seu tempo de humedecimento e assim, ao usar uma argamassa menos permeável, ou uma tinta mais impermeável, o aumento do tempo de secagem terá um impacto superior à redução do tempo de absorção (Figuras 10 e 11).

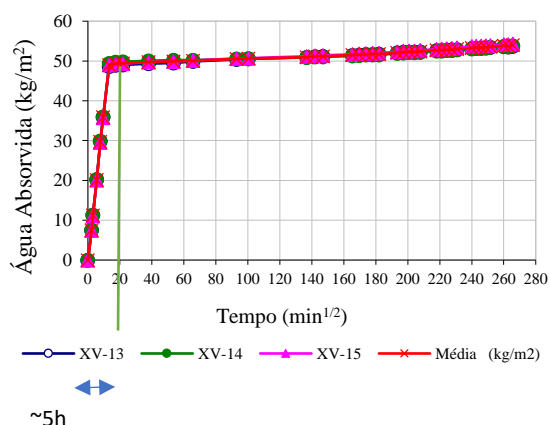


Figura 8 – Curvas de absorção de água típicas de uma argamassa de cal

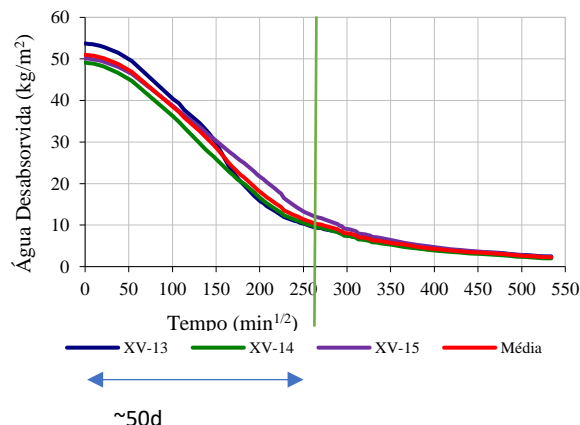


Figura 9 – Curvas de secagem típicas de uma argamassa de cal

Assim, o uso de argamassas de reboco mais impermeáveis que as pré-existentes origina anomalias de incompatibilidade física, resultando:

- maior ascensão capilar pelo interior da parede (Figura 6);
- retenção de água na interface entre a alvenaria e o reboco;
- cristalização de sais nessa interface;
- provável destacamento do novo reboco, com o incremento da degradação da parede (Figura 6).

O mesmo acontece, e ainda a mais curto prazo, se se usar uma pintura de baixa permeabilidade ao vapor de água (Figuras 7, 10 e 11), mesmo que o reboco seja compatível.

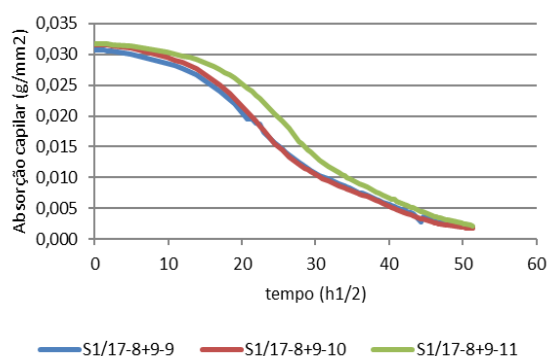


Figura 10 – Curvas de secagem de alvenaria rebocada e caiada

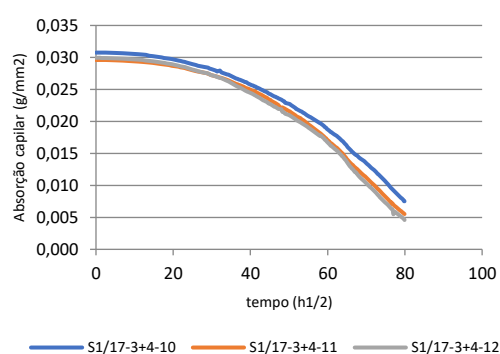


Figura 11 – Curvas de secagem de alvenaria rebocada e com pintura de base acrílica

O uso de argamassas de assentamento ou de refechamento de juntas mais impermeáveis que as pré-existentes, à água e ao vapor de água, origina que a percolação da água da chuva passe a ocorrer preferencialmente através das restantes argamassas antigas ou através da própria pedra, contribuindo para acelerar a degradação desses elementos históricos e alterando o funcionamento global da parede (Figuras 12 e 13).

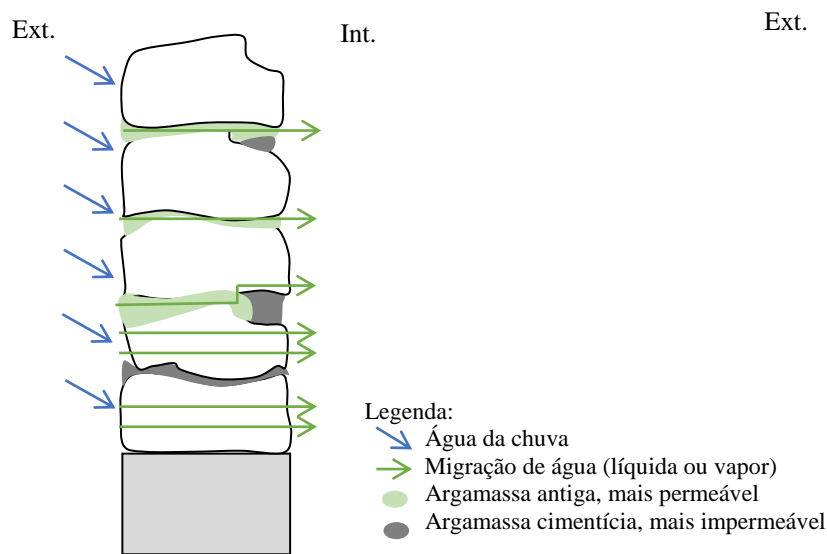


Figura 12 – Migração preferencial da água da chuva através da pedra quando a alvenaria é reparada com argamassas de juntas ou de refechamento de juntas pouco permeáveis à água

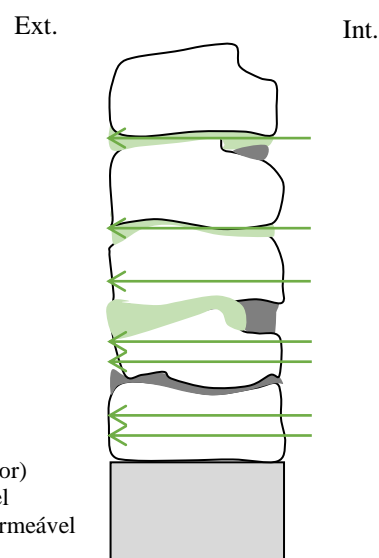


Figura 13 – Secagem preferencial da humidade que acede à parede através da pedra quando a alvenaria é reparada com argamassas de juntas ou refechamento de juntas pouco permeáveis ao vapor de água

c. Compatibilidade química, relacionada essencialmente com:

- ligantes compatíveis;
- teores de sais reduzidos.

Ou seja, pretende-se que as novas argamassas utilizadas na reparação:

- não originem reações expansivas nem produtos de reação nocivos;
- não contenham elevados teores de sais solúveis;
- não favoreçam a cristalização de sais no suporte.

Para se garantir o primeiro aspeto referido há que ter em atenção, entre outros aspetos, incompatibilidades existentes entre alguns tipos de ligantes. Por exemplo, a argila, o gesso e a cal aérea são ligantes que podem ser combinados entre si em argamassas; também a argila, a cal aérea, as cals com propriedades hidráulicas e os cimentos podem ser combinados entre si; por outro lado, o gesso não pode ser combinado com cals com propriedades hidráulicas nem com cimentos, sob risco de produzir reações expansivas e produtos de reação nocivos nas argamassas.

O último aspeto está relacionado com a porosidade e com as características de transporte da água líquida ou sob a forma de vapor, que, por sua vez, dependem dos ligantes e agregados utilizados e dos compostos formados.

Por vezes, em vez de substituir, pretende-se consolidar e manter revestimentos antigos realizados com base em argamassa. Nesses casos pode recorrer-se a caldas de consolidação de revestimentos e à aplicação superficial de produtos consolidantes, de que são exemplos a água de cal, as nanocais [11] e os bio-produtos, de que resulta precipitação mineral ou promovendo a auto-reparação (*self-healing*), por re-precipitação de hidróxido de cálcio das próprias argamassas [12]. A serem aplicados, também esses tratamentos têm de manter a compatibilidade com os originais [13].

3. REVERSIBILIDADE DAS APLICAÇÕES DE ARGAMASSA E DURABILIDADE DAS ALVENARIAS

A reversibilidade das intervenções é também um fator de proteção das alvenarias e, portanto, da sua durabilidade. Com efeito, quando se prova ser necessário remover uma argamassa de reparação, isso não deve conduzir a danos na alvenaria antiga. Por exemplo, a remoção de azulejos recolados numa alvenaria antiga com uma argamassa recente pode ser necessária, para dessalinização ou limpeza dos azulejos. Assim, a possibilidade de remover os azulejos sem danificar a alvenaria implica que a resistência à tração da argamassa nova não seja superior à resistência à tração da alvenaria, ou à aderência da argamassa à alvenaria. Ou seja, neste caso deve-se utilizar uma argamassa com resistência mecânica moderada e aderência também moderada à alvenaria antiga (Figuras 14).

Da mesma forma, quando se aplica uma argamassa de reboco para proteção de uma alvenaria histórica, essa argamassa pode vir a ter de ser removida caso se prove haver uma solução que melhor desempenhe essa função no futuro. E essa remoção terá de ser efetuada sem produzir degradação na alvenaria histórica para cuja proteção foi aplicada. Um caso limite é a aplicação de rebocos de sacrifício na proteção de alvenarias arqueológicas: estes rebocos são aplicados apenas e exclusivamente para garantirem que são eles que se degradam, protegendo a alvenaria arqueológica. Por isso são ciclicamente reaplicados, sempre que se desgastem, para que a estrutura original da alvenaria se mantenha.

As aplicações de tratamentos superficiais para consolidação de alvenarias antigas (unidades e argamassas de assentamento) ou dos seus rebocos, ou a injeção de caldas para consolidação de núcleos de alvenarias, são, por definição, intervenções irreversíveis. Por isso deve ter-se particular cuidado com a seleção dos produtos de impregnação ou injeção a usar, garantindo a sua total compatibilidade.

4. MECANISMOS DE DEGRADAÇÃO DAS ARGAMASSAS E DURABILIDADE DAS ALVENARIAS

A durabilidade das argamassas é importante para prolongar a vida das alvenarias, quer porque são parte integrante dessas estruturas, quer porque têm, quando usadas como revestimentos, um papel fundamental na sua proteção contra ações externas, nomeadamente contra ações mecânicas e contra a penetração da água e de soluções agressivas. Nesse sentido, devem tomar-se medidas para assegurar uma durabilidade razoável das argamassas de reparação e substituição, o que implica conhecer e prevenir, tanto quanto possível, os principais mecanismos de degradação dessas argamassas.

As argamassas com base em cal aérea têm provado ser das mais duráveis e mais compatíveis com as alvenarias antigas. São, portanto, aquelas cuja utilização apresenta menos riscos, embora sejam materiais com resistência mecânica relativamente baixa e com um grau moderado de solubilidade em água de alguns dos seus componentes. Têm uma rede porosa aberta, bi-modal, com poros principalmente na gama capilar (0,01 a 10 micrómetros) e numa gama de macroporos de algumas dezenas de micrómetros (Figura 15). Estas características tornam-nas vulneráveis a diferentes mecanismos de degradação.



Figura 14 – Intervenção reversível: azulejos removidos sem degradação da alvenaria

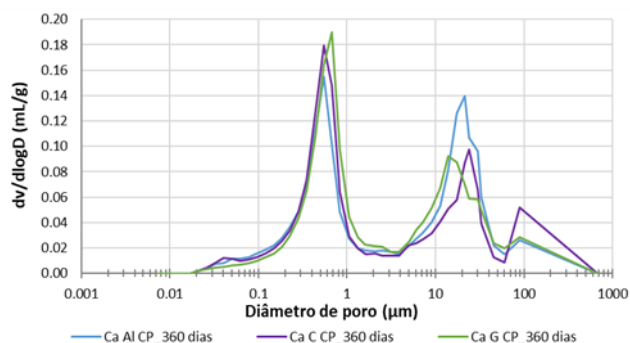


Figura 15 – Porosimetria típica de argamassas de cal aérea [14]

Os principais mecanismos responsáveis pela degradação das argamassas de cal aérea são atribuídos a causas químicas, físicas, biológicas e mecânicas.

Causas químicas

As argamassas estão sujeitas a diferentes reações químicas, nuns casos relacionadas com as suas condições de exposição ambiental e com o transporte de produtos agressivos para o interior da alvenaria, noutros relacionadas com os próprios constituintes da argamassa, que podem ser contaminados ou alterados, contribuindo assim para a sua degradação.

Os principais processos químicos estão relacionados com:

- ataque de sulfatos;
- ataque ácido.

Estas reações são muitas vezes ocasionadas pela poluição (sulfatos e chuvas ácidas), pelas próprias ações de limpeza (em que são por vezes utilizados ácidos) e pela elevada exposição aos agentes climáticos.

Causas físicas

Os mecanismos físicos estão relacionados principalmente com a água, sob a forma líquida, de vapor ou de gelo, através da dissolução, transporte e cristalização de sais, ciclos de gelo-degelo e retenção de água, dando ainda origem à colonização biológica. Outro processo físico significativo envolvido na degradação de argamassas está relacionado com as variações diferenciais de volume.

O gelo-degelo é um poderoso mecanismo de degradação dos materiais porosos, com baixa resistência à tração. Ocorre em condições climáticas onde a temperatura pode cair para valores abaixo de 0 °C logo após uma chuva intensa. Nessas condições, quando a argamassa absorve água até próximo da saturação e há uma rápida diminuição da temperatura para valores negativos, o gelo forma-se, com aumento de volume da água nos poros, produzindo pressões que podem causar fissuras e desintegração. Assim, um alto coeficiente de saturação e uma baixa resistência à tração aumentam o potencial destrutivo deste mecanismo. A pressão causada pelo aumento do volume de água congelada é maior nos poros pequenos, mas, por outro lado, a temperatura de congelamento da água cai abaixo de 0 °C nesses poros [15], tornando a formação de gelo menos frequente. Além disso os maiores coeficientes de saturação e a menor resistência à tração estão geralmente associados aos grandes poros. Esta situação também pode ocorrer quando é aplicada uma argamassa de cal sem que se tenham tido em conta as condições climáticas, e a temperatura baixa para valores inferiores a 0 °C enquanto a argamassa ainda está em processo de cura e endurecimento, sem que a água de amassadura se tenha ainda evaporado. Este mecanismo não é para já gravoso na maior parte do território de Portugal, por razões climáticas óbvias, mas a tendência para condições climáticas extremas tem vindo a acentuar-se.

Os sais solúveis estão na origem de mecanismos severos de degradação, não apenas químicos, mas também físicos, porque a cristalização de sais é frequentemente associada a variações de volume [16, 17]. Este mecanismo ocorre quando há sais solúveis (o que em edifícios antigos acontece sempre...) e circulação de água através da alvenaria e da argamassa. Tem maior potencial de degradação quando os sais presentes são mais expansivos e sofrem mais ciclos de dissolução / cristalização nas condições ambientais específicas em que a argamassa se encontra. Quando a humidade de equilíbrio de uma solução salina está próxima da humidade local, há uma alta probabilidade de ocorrência de muitos ciclos de dissolução / cristalização. A humidade relativa elevada e as grandes variações

térmicas e hídricas, quer diárias, quer anuais, características do clima na maior parte do território português, justificam, em associação com a proximidade do mar de muitas zonas construídas, a importância que este mecanismo de degradação assume nos edifícios antigos. As alterações climáticas podem ainda aumentar este potencial de degradação, ao provocar maior variabilidade de condições de temperatura e humidade em curtos prazos de tempo.

Durante o processo de cristalização, pressões importantes podem ser desenvolvidas dentro dos poros devido a dois mecanismos principais: o aumento do volume com a cristalização e o aumento do volume com a hidratação dos sais. No primeiro mecanismo, o efeito cíclico destas variações de pressão (cristalização-dissolução-recristalização) acaba por provocar a perda de coesão do material poroso. O segundo mecanismo é significativo para sais muito higroscópicos, especialmente se houver uma rápida hidratação, como é o caso do sulfato de cálcio (Na_2SO_4) e do sulfato de magnésio (MgSO_4), provocando grande aumento de volume.

Para evitar a degradação pelos sais, é necessário minimizar a circulação de água através da argamassa e ter em conta a variação da humidade relativa do local, que pode aproximar-se de valores críticos de cristalização para os sais mais frequentes nas alvenarias, nos solos e na própria atmosfera. O controlo da entrada de água não deve ser feito através do uso de argamassas ou tintas muito impermeáveis, mas sim reduzindo o acesso da água direto às paredes, através das fundações, e facilitando a sua rápida evaporação, ou controlando a humidade relativa no interior.

São exemplos de possíveis metodologias de atuação:

1. Evitar a ascensão capilar

- Baixar o nível freático e implementar drenagem de superfície e periférica
- Ventilar a base da parede e a fundação
- Realizar um corte de impermeabilização com injeções de resina – mas tendo o cuidado de prevenir a possível fragilização estrutural e de verificar que as resinas se concentram nas faixas pretendidas e formam a esperada barreira à água de capilaridade ascendente

2. Promover a saída dos sais da alvenaria aplicando revestimentos adequados

- Revestimentos de transporte de sais
- Revestimentos de acumulação de sais
- Evitar sempre impermeabilizar e reter os sais na alvenaria

3. Controlar a humidade relativa do espaço interior

- Através de controlo da temperatura e ventilação manter o espaço interior sempre abaixo ou acima dos valores de equilíbrio dos sais predominantes nas argamassas, para que estes se mantenham, respetivamente, sempre cristalizados ou sempre dissolvidos
- Só funciona para argamassas em rebocos ou refecimento de juntas aplicados no interior e implica gastos energéticos, devido às necessidades de condicionamento higrométrico

Com os revestimentos de transporte é provocado o transporte dos sais dissolvidos para a camada externa do reboco, onde cristalizam. Para isso é preciso que essa camada tenha poros de diâmetro inferior aos da camada anterior e do suporte (mas também poros grandes para acumulação dos sais).

Com os revestimentos de acumulação é provocada a acumulação dos sais numa camada intermédia de reboco afastada da superfície. É necessário que existam duas camadas de reboco de diferentes porosimetrias, em que a camada de acumulação tem poros de diâmetro inferior aos da camada mais exterior e aos do suporte, mas tem também uma gama de macroporos capazes de permitir a acumulação sem rotura dos cristais formados (Figura 16). Não devem ser usados revestimentos de bloqueio, que consistem em rebocos de baixa permeabilidade à água, por exemplo rebocos hidrofugados na massa ou rebocos de cimento e resina. Se o reboco for pouco permeável à água líquida mas permeável ao vapor, dá-se uma secagem lenta da água, mas os sais não são transportados e ficam retidos no interior da alvenaria. Se for também impermeável ao vapor, os sais e a humidade mantêm-se ambos no interior da alvenaria. Com estes revestimentos, os sais dissolvidos são transportados através da alvenaria porosa para a interface com o reboco, mas não penetram nele, por isso concentram-se no interior da alvenaria. Com o desenvolvimento de pressões cíclicas devidas a sucessivas cristalizações e dissoluções desses sais, provocam a desintegração da própria alvenaria, embora durante algum tempo isso não seja visível: a parede “apodrece” (Figura 17).

Causas biológicas

O ataque biológico provoca degradação da argamassa devido à produção de ácidos, ao desenvolvimento de tensões e à retenção de água. Algas, líquenes, bactérias, fungos, plantas e insetos podem ser responsáveis por processos de

degradação de argamassas de cal aérea. A porosidade e rugosidade favorecem a retenção de água e o consequente desenvolvimento de microrganismos, como algas e cianobactérias, que podem formar um revestimento superficial que, por sua vez, gera condições de umidade e nutrientes para o desenvolvimento de outros seres vivos. A incorporação em argamassas de constituintes orgânicos, como caseína, metilcelulose e óleo de linhaça, bem como a aplicação superficial de alguns produtos de tratamento orgânico, pode aumentar a tendência para o desenvolvimento desses seres vivos com potencial de deterioração. Eles atuam mecanicamente, desenvolvendo tensões, fisicamente, pela concentração de umidade, e quimicamente, pela geração de produtos metabólicos ácidos. No entanto, algumas espécies não causam verdadeiros danos, além da alteração estética [18]. Portanto, um estudo das espécies presentes na argamassa e da sua atuação deve ser feito antes da aplicação de tratamentos biocidas que podem ser desnecessários e até causar efeitos prejudiciais de erosão.

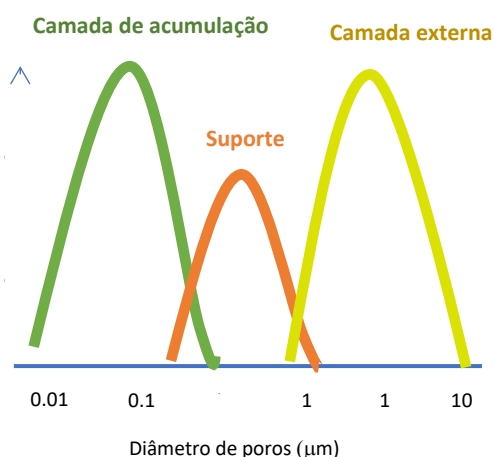


Figura 16 – Diâmetro maioritário dos poros das duas camadas de um reboco de acumulação face ao suporte (adaptado de [19])



Figura 17 Degradação por cristalização de sais na própria alvenaria

Causas mecânicas

Os mecanismos de degradação mecânica das argamassas de reboco antigas estão relacionados com a erosão e com tensões estruturais, tanto estáticas como dinâmicas.

A erosão desenvolve-se ao longo do tempo, com efeito cumulativo, devido ao vento transportando areia e outras partículas pequenas que desgastam a superfície da argamassa de cal, que tem uma dureza moderada.

As tensões estruturais resultam da transmissão de cargas para as argamassas. As paredes de alvenaria antigas são elementos estruturais do edifício; portanto devem resistir a cargas verticais devido ao peso próprio e a sobrecargas, e também a cargas horizontais produzidas por impulsos transmitidos pelos pavimentos ou por eventos acidentais, como sismos, ventos fortes e mesmo choques. As argamassas, como parte da alvenaria, tanto como materiais de juntas como de revestimentos, recebem parte dessas cargas. Nos processos de intervenção, é comum alterar a distribuição de cargas: aumentar o peso próprio descarregado nas paredes, por exemplo, introduzindo pavimentos mais pesados (lajes de betão em substituição de estruturas de madeira); instalar equipamentos pesados nos sótãos; diversificar o uso, criando cargas assimétricas; ou até mesmo demolir algumas paredes interiores, sobrecarregando as externas. Todas essas ações aumentam as cargas nas argamassas e consequentes tensões.

Todos os tipos de mecanismos referidos podem estar inter-relacionados: por exemplo, ações físicas e agentes biológicos podem produzir degradação química.

5. AVALIAÇÃO DA DURABILIDADE DAS ARGAMASSAS

Em resultado do exposto anteriormente, resulta que a escolha de argamassas de reparação para aplicar em alvenarias históricas, ou de tratamentos de conservação, deve ser baseada em vários fatores [13,20]:

- Compatibilidade - para preservar as características originais e a durabilidade da própria alvenaria.
- Eficácia - para garantir um desempenho adequado da nova argamassa ou da argamassa tratada.

- Durabilidade - para garantir esse desempenho por um período de tempo satisfatório.
- Reversibilidade (sempre que possível) – para garantir que a intervenção de conservação efetuada, caso venha a demonstrar-se pouco adequada face a alternativas que surjam no futuro, possa ser removida sem causar dano irreversível na alvenaria histórica.

A avaliação da durabilidade de uma argamassa de reparação ou de um tratamento a aplicar a uma argamassa antiga (por exemplo, um tratamento de consolidação), pode ser, numa primeira abordagem, baseada em algumas características, tais como a resistência mecânica, a porosidade e a absorção de água. No entanto, uma previsão final da durabilidade deve ser feita com recurso a ensaios de envelhecimento artificial acelerado, geralmente consistindo num conjunto de ciclos de envelhecimento, visando reproduzir os tipos mais significativos de mecanismos de degradação previstos em cada situação, atuando de forma rápida e intensa.

Para darem informação útil, os ciclos de envelhecimento artificial devem ter em conta as condições reais às quais as argamassas são expostas, do ponto de vista das condições climáticas, ambientais e de interação com o suporte. Portanto, os mecanismos de degradação mais representativos devem ser simulados, para uma situação definida, dependendo das ações que afetam o edifício. Gelo-degelo, soluções salinas, nevoeiro salino, variações bruscas de temperatura, exposição à água e secagem, exposição a agentes biológicos, como principais mecanismos de degradação, podem ser incluídos em ensaios de envelhecimento artificial.

Ciclos de cristalização de sais [21-23] ou ciclos de gelo-degelo [22] ou uma combinação de ambos [24, 25] são frequentemente usados. No entanto, reconhece-se que os mecanismos de degradação dependem da interação entre os materiais em contacto. Além disso, não é suficiente verificar a durabilidade da argamassa em si, pois é ainda mais importante que nenhuma degradação seja induzida na alvenaria. Por exemplo, a argamassa deve resistir à degradação por cristalização de sais, sem favorecer a cristalização dentro da alvenaria. Assim, ultimamente alguns autores propõem aplicar os ciclos a um sistema que compreende a argamassa e os materiais confinantes, como tijolos ou pedras reproduzindo as da alvenaria [21, 24]. Ciclos climáticos também são usados, como combinações de exposição solar (radiações de diferentes comprimentos de onda), chuva, vento e geada [26, 27].

A degradação por envelhecimento é depois avaliada através da realização de ensaios antes e depois dos ciclos: perda de massa, velocidade de ultrassons, porosimetria de mercúrio, características mecânicas, dureza Shore, etc. [21, 25, 27].

Os ensaios de envelhecimento artificial acelerado fornecem informações comparativas sobre a durabilidade de um conjunto de argamassas para uma situação definida de clima, ambiente e, até certo ponto, de sistema construtivo. No entanto, a pergunta “Quantos anos de exposição real ao clima é simulado por um ensaio de envelhecimento acelerado?” ainda não tem resposta, pois depende das condições climáticas de cada local e da gravidade das ações reais.

6. SOLUÇÕES - APLICAÇÃO E DURABILIDADE

Para que as argamassas de reparação de alvenarias apresentem as características necessárias ao bom desempenho das suas funções têm de ser formuladas e aplicadas de forma adequada. Em presença de uma alvenaria de pedra argamassada, originalmente construída com base em pedra irregular assente com argamassa de cal aérea, caldas e argamassas também de cal aérea serão porventura as mais adequadas para a sua reparação. No entanto, por exemplo no caso de uma calda de injeção para preenchimento de vazios existentes no núcleo da parede antiga, com o objetivo de consolidação da parede, uma calda só com cal aérea como ligante vai demorar muito tempo a carbonatar, uma vez que o acesso de dióxido de carbono é muito limitado. Por isso serão adequadas, por exemplo, adições pozolânicas que confirmam à calda de cal capacidade de cura também hidráulica ou, em alternativa, caldas de cal hidráulica natural (NHL).

Situação semelhante, embora não tão extrema, encontra-se no caso de aplicações de rebocos em locais interiores muito húmidos. Também aí a aditivação de argamassas de cal aérea com pozolanas, ou a aplicação de NHL poderá constituir uma vantagem. A aditivação pozolânica de argamassas de cal está descrita pelo menos desde o período romano e, em sítios arqueológicos desta época, usava-se a adição de pó e fragmentos de resíduos de cerâmica, que demonstra grande durabilidade [4]. No entanto, as cals aéreas e os resíduos cerâmicos atuais apresentam características diferentes dos de então, pelo que estas composições não devem ser aplicadas sem prévia análise experimental.

Uma situação atualmente muito corrente é a aplicação de rebocos armados, por vezes até de betão projetado, como reforço estrutural de alvenarias antigas. De acordo com os capítulos anteriores, a aplicação de um sistema

superficial muito resistente e bastante impermeável face à alvenaria antiga que visa reforçar, pode não contribuir para a sua durabilidade e até, pelo contrário, gerar anomalias. Vai constituir uma barreira ao vapor, que vai manter na alvenaria a humidade que eventualmente migre a partir da sua fundação; simultaneamente, vai desenvolver na parede tensões elevadas que podem provocar perda de aderência entre as lâminas de material novo, aplicado na intervenção, e a própria parede. Assim, a médio-longo prazo, a camada de reforço armada (geralmente com malhas metálicas ou sintéticas) tenderá a ficar desligada da alvenaria, que passa a ter uma camada superficial degradada por ação de sais dissolvidos e transportados até à interface de bloqueio, e funcionará apenas como camada independente. A pretendida preservação da alvenaria histórica pode ser, assim, colocada em causa. Dessa forma, os projetistas que concebem soluções de reforço estrutural devem ter presentes os requisitos de compatibilidade que se colocam em intervenções em alvenarias históricas. A opção por soluções de reboco armado eventualmente menos resistentes mas mais deformáveis e mais permeáveis ao vapor de água, nomeadamente com menor teor de cimento ou mesmo com recurso a cais, pode ser uma solução mais adequada. Quando forem usadas armaduras, deve optar-se por redes não suscetíveis de corrosão, como redes de fibras minerais, vegetais ou sintéticas e redes de aço inoxidável.

Para além dos materiais, também as condições de preparação dos suportes e de aplicação são fundamentais. É o caso, por exemplo, de aplicações de rebocos de substituição ou refecimento de juntas, em que as condições de aplicação devem ajustar-se às condições do suporte, nomeadamente em termos de superfície e correspondentes coesão e aderência.

Na Tabela 1 apresentam-se, qualitativamente, os principais aspetos que se considera deverem ser tidos em conta para garantir a compatibilidade de intervenções com novas argamassas e caldas com as alvenarias antigas, por forma a contribuir para a durabilidade destes elementos construtivos.

Tabela 1 – Requisitos de argamassas para a durabilidade de alvenarias antigas – Principais aspetos a ter em conta para a compatibilidade [13, 20, 28, 29, 30]

Propriedades Aplicação	Reologia	Retração	Resistência mecânica (compressão, flexão, dureza superficial)	Módulo de elasticidade	Absorção de água por capilaridade e sob pressão	Permeabilidade ao vapor de água / capacidade de secagem	Aderência
Argamassa de reassentamento de azulejos antigos [29]	Adequada – promover boa penetração no suporte e no tardo do azulejo	-	Não superior à das argamassas preexistentes nem à do suporte	Não superior ao das argamassas preexistentes nem ao do suporte	-	Não deve constituir barreira ao vapor	Inferior à resistência à tração do suporte e do tardo do azulejo (a rotura deve ser pela argamassa)
Calda de consolidação estrutural	Boa – capacidade de envolver o material solto ou com deficiente coesão no interior da parede	Reduzida – garantir preenchimento dos vazios	Não superior à dos elementos mais resistentes da alvenaria (blocos ou pedras)	Não superior ao dos elementos mais resistentes da alvenaria (blocos, pedras)	-	Não deve constituir barreira ao vapor	Elevada
Calda de consolidação de revestimento	Boa – capacidade de envolver o material solto ou com	Reduzida – garantir preenchimento	Não superior à da argamassa de revestimento	Não superior ao da argamassa de	Da mesma ordem de grandeza da argamassa de revestimento	Da mesma ordem de grandeza da argamassa de	Não superior à resistência à tração do revestimento

	deficiente coesão do revestimento	dos vazios		revestim ento		revestimento (para não bloquear a humidade)	o (a rotura deve acontecer pelo material consolidante)
Revesti-mento exterior ou interior armado	Adequada – garantir aplicação, que pode ser por projeção (evitar excesso de água)	-	Não deve ser muito superior à dos revestimentos preexistentes e do suporte	Semelha nte aos revestim entos preexiste ntes em bom estado de conserva ção; inferior à do suporte	Semelhante aos revestimentos preexistentes em contacto e à parede, embora com capacidade para conferir alguma proteção do suporte à água	Não inferior aos revestimento s preexistentes e ao suporte	Inferior à resistência à tração do suporte
Reboco de substituiç ão exterior ou interior [20]	Adequada – garantir aplicação (evitar excesso de água)	Reduzida para evitar fissuraçã o	Semelhante aos revestimentos preexistentes em bom estado de conservação; inferior à do suporte	Semelha nte aos revestim entos preexiste ntes em bom estado de conserva ção; inferior à do suporte	Não inferior aos revestimentos preexistentes em contacto, embora com capacidade para conferir alguma proteção do suporte à água	Não inferior aos revestimento s preexistentes e ao suporte	Inferior à resistência à tração do suporte
Refecha-mento de junta [30]	Adequada – facilitar aplicação (evitar excesso de água)	Reduzida para manter contacto com faces da junta	Semelhante às argamassas preexistentes	Semelha nte às argamass as preexiste ntes	Semelhante às argamassas preexistentes	Semelhante às argamassas preexistentes	Inferior à resistência à tração do suporte
Trata-mento de consolida-ção de revestime nto [13]	Adequada – assegurar boa penetração no revestimento	-	Após tratamento deve ser ligeiramente superior à do revestimento antes do tratamento (idealmente da ordem de grandeza do revestimento original não-degradado)	Não deve aumentar significat ivamente o módulo de elasticida de do revestim ento	Após tratamento deve ser ligeiramente inferior à do revestimento antes do tratamento (idealmente da ordem de grandeza do revestimento original não-degradado)	Não deve reduzir significativa mente a permeabilida de ao vapor de água ou capacidade de secagem do revestimento	-

7. CONCLUSÕES

Diversos tipos de intervenções em alvenarias são realizados com recurso a argamassas. Os requisitos de desempenho que se colocam em cada situação dependem de diversos fatores mas fundamentalmente do tipo de aplicação da argamassa na alvenaria.

No entanto, para potenciar a durabilidade das alvenarias antigas, independentemente do tipo de aplicação, as argamassas, além de terem características adequadas às funções que se pretende que desempenhem, têm de ser compatíveis com as argamassas preexistentes e com as próprias alvenarias. Para tal têm de apresentar características semelhantes, nomeadamente ao nível físico-mecânico. Só dessa forma se pode garantir que as argamassas vão efetivamente contribuir para a durabilidade das alvenarias antigas e não apenas para a sua própria durabilidade. Além disso, para precaver a necessidade de novas reparações e a evolução técnica que possa surgir no futuro, as aplicações de argamassas novas devem ser, dentro do possível, reversíveis, para que possam poder ser retiradas sem produzir dano irreversível nas alvenarias antigas. Obviamente esta é uma situação que nem sempre se pode garantir, nomeadamente ao nível da consolidação de núcleos centrais ou mesmo de revestimentos destacados ou com falta de coesão, razão pela qual as aplicações desse tipo têm que ser particularmente bem estudadas, sempre que possível por equipas pluridisciplinares, para se ter a certeza de conceber a melhor solução face a todas as condicionantes. As argamassas novas têm de ser eficazes para as funções a que se destinam, apresentando um bom desempenho, durante um período de tempo razoável, tendo assim uma durabilidade que seja a maior possível, sem colocar em causa os aspetos referidos anteriormente. Finalmente, devem ser aplicadas conjuntamente com disposições construtivas que contribuam para evitar, ou pelo menos minorar os mecanismos de degradação. Sendo a ação da água uma das mais gravosas para as alvenarias antigas, são sempre benéficas disposições construtivas que possam contribuir para que menor quantidade de água aceda à alvenaria antiga. Podem citar-se como exemplos a execução de drenagens periféricas ou a implementação de sistemas de ventilação eficientes nos espaços interiores ou na base das paredes.

Sendo a maioria das alvenarias antigas compostas por argamassas com base em cal aérea, e conhecendo-se a durabilidade que este tipo de argamassas tem apresentado, testemunhada por muitos exemplos que sobreviveram a milénios de exposição, serão as argamassas de cal que mais facilmente poderão continuar a ter melhor desempenho no cumprimento das condições referidas de compatibilidade e reversibilidade. No entanto, uma boa seleção dos agregados e proporções ligante:agregado:água de amassadura apropriadas para cada aplicação, são também fundamentais.

Mesmo existindo um bom conhecimento acerca das características de algumas argamassas, é conveniente avaliar a durabilidade das argamassas de substituição selecionadas em situações que simulem as que vão surgir *in situ*. São exemplos a realização de ensaios de ciclos com variações climáticas e sais, sobre provetes constituídos por sistemas mistos envolvendo a argamassa e o suporte.

Finalmente, a consulta da matriz qualitativa, que relaciona diferentes tipos de aplicações de novas argamassas (ou caldas) com as propriedades mais relevantes para garantir compatibilidade com as alvenarias antigas, pode constituir um apoio aos projetistas.

AGRADECIMENTOS

Agradece-se aos projetos DB-Heritage - Base de dados de materiais de construção com interesse histórico e patrimonial (PTDC/EPH-PAT/4684/2014) financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia, e PRESERVE - Preservação de revestimentos do Património construído com valor cultural, financiado pelo LNEC.

REFERÊNCIAS

[1] FREIRE, T.; SANTOS SILVA, A.; VEIGA, M. R.; BRITO, J.; SCHLUTTER, F. (2016) – *Natural or Artificial? Multi-Analytical Study of a Scagliola from Estoi Palace Simulating Imperial Red Porphyry*, Microsc. Microanal., 22, 1281–1303, doi:10.1017/S1431927616011909.

[2] BARBERO-BARRERA, M. M.; MALDONADO-RAMOS, L.; VAN BALEN, K.; GARCÍA-SANTOSA, A.; NEILA-GONZÁLEZ, F. J. (2014) – *Lime render layers: An overview of their properties*. Journal of Cultural Heritage, 15: 326–330.

- [3] DAMAS, A. L.; VEIGA, M. R.; FARIA, P. (2016) – *Caraterização de argamassas antigas de Portugal – contributo para a sua correta conservação*. PATRIMA – Património, suas Matérias e Imatérias. LNEC, Lisboa, novembro de 2016.
- [4] VELOSA, A.; COROADO, J.; VEIGA, M. R.; ROCHA, F. (2007) – *Characterisation of roman mortars from Conímbriga with respect to their repair*. Materials Characterisation, 58: 11-12, 1208-1216.
- [5] FREIRE, M. T.; SANTOS SILVA, A.; VEIGA, M. R.; BRITO, J. (2015) – *The history of Portuguese interior plaster coatings: a mineralogical survey using XRD*. Archaeometry, 57: S1, 147-165.
- [6] DAMAS, A.L.; VEIGA, M.R.; FARIA, P.; SANTOS SILVA, A. (2018) - *Characterisation of old azulejos setting mortars: a contribution to the conservation of this type of coatings*. Construction and Building Materials, 171: 128-139.
- [7] BOTAS, S.; VEIGA, M.R.; VELOSA, A.L. (2017) - *Bond strength in mortar/ceramic tile interface - testing procedure and adequacy evaluation*. Materials and Structures, 50: 211.
- [8] PAPAYIANNI, I. (1998) - *Criteria and methodology for manufacturing compatible repair mortars and bricks*. Compatible Materials Recommendations for the Preservation of European Cultural Heritage, Athens: National Technical University.
- [9] MOROPOULOU, A.; BAKOLAS, A. (1998) - *Range of acceptability limits of physical, chemical and mechanical characteristics deriving from the evaluation of historic mortars*. Compatible Materials Recommendations for the Preservation of European Cultural Heritage, National Technical University, Athens.
- [10] VEIGA, M. R. (2012) – *Argamassas de alvenarias históricas. Funções e características*. CIReA2012 – Conferência Internacional sobre Reabilitação de Estruturas Antigas de Alvenaria. Lisboa, Universidade Nova de Lisboa, maio de 2012, 17-27.
- [11] BORSOI, G.; TAVARES, M.; VEIGA, M. R.; SANTOS SILVA, A. (2012) – *Microstructural and physical-mechanical analysis of the performance of nanostructured and other compatible consolidation products for historical renders*, Materials and Technology Magazine (Materili in Tehnologije), 46 (2012) pp.93-97.
- [12] LUBELLI, B.; NIJLAND, T.G.; VAN HEES, R. (2011) - *Self-healing of lime based mortars: microscopy observations on case studies*. Heron, 56 (1/2), 75-91.
- [13] VAN HEES, R.; VEIGA R.; SLÍŽKOVÁ Z. (2017) – *Consolidation of renders and plasters*. Materials and Structures/Materiaux et Constructions, vol. 50:, issue 1., 50-:65, DOI 10.1617/s11527-016-0894-5.
- [14] SANTOS, A.R.; VEIGA, M.R.; SANTOS SILVA, A.; BRITO, J. (2018) – *A avaliação do comportamento hídrico de argamassas com base em cal: O efeito dos agregados na capacidade de proteção*. Fical VI, Pamplona, maio de 2018.
- [15] KNOFEL, D. K.; HOFFMANN, D.; SNETHLAGE, R. (1997) – *Physico-chemical weathering reactions as a formulary for time-lapsing ageing tests*. RILEM technical committee TC 58-VPM. Materials and Structures, 20: 116, ??-??.

- [16] LUBELLI, B.; VAN HEES, R.; HUININK, H.; GROOT, C. (2006) - *Irreversible dilation of NaCl contaminated lime-cement mortars due to crystallization cycles*. Cement and Concrete Research, 36: 678–687.
- [17] GONÇALVES, T.D. (2007) - *Salt crystallization in plastered or rendered walls* (Ph.D. thesis), LNEC and IST, Lisbon University, 2007.
- [18] STERFLINGER, K.; SERT, H. (2006) – *Biodeterioration of buildings and works of art – practical implications on restoration practice*. HWC 2006 - Heritage, Weathering and Conservation, Madrid.
- [19] PETKOVIC, J.; HUININK, H.P.; PEL, L.; Kopinga, K.; van Hees, R. (2010) – *Moisture and salt transport in three-layer plaster/substrate systems*. Construction and Building Materials, 24: 1, 118–127.
- [20] VEIGA, M.R. (2012) – *Conservation of historic renders and plasters: From laboratory to site*. HMC 2010 - Historic Mortars Conference. RILEM Bookseries, vol 7. Springer, Dordrecht, pp 207-225.
- [21] FRAGATA, A.; VEIGA, M.R.; VELOSA, A. (2016) - *Substitution ventilated render systems for historic masonry: Salt crystallization tests evaluation*. Construction and Building Materials, 102: 1, 592–600.
- [22] NUNES, C.; SLÍŽKOVÁ, Z. (2006) – *Freezing and thawing resistance of aerial lime mortar with metakaolin and a traditional water-repellent admixture*. Construction and Building Materials, 114: 896–905.
- [23] MARDANI-AGHABAGLOU, A.; INAN SEZER, G.; RAMYAR, K. (2014) – *Comparison of fly ash, silica fume and metakaolin from mechanical properties and durability performance of mortar mixtures view point*. Construction and Building Materials, 70: 17–25.
- [24] CULTRONE, G.; SEBASTIAN, E.; ORTEGA HUERTAS, M. (2007) - *Durability of masonry systems: A laboratory study*. Construction and Building Materials, 21: 1, 40-51.
- [25] VELOSA, A.; VEIGA, M. R. (2006) – *Development of artificial ageing tests for renders – application to conservation mortars*. 7th IBMAC - International Brick Masonry Conference, London.
- [26] ARIZZI, A.; VILES, H.; CULTRONE, G. (2012) – *Experimental testing of the durability of lime based mortars used for rendering historic buildings*. Construction and Building Materials, 28: 1, 807-818.
- [27] BOCHEN, J. (2015) – *Weathering effects on physical–chemical properties of external plaster mortars exposed to different environments*. Construction and Building Materials, 79: 192-206.
- [28] RILEM 206, 2016 RILEM TC 203 RMH (20161) – *Repair mortars for historic masonry – Guidelines for repair mortars for historic masonry – RILEM*, 2016
- [29] BOTAS, Sandro; VEIGA, M. Rosário; VELOSA, Ana – *Argamassas para (re)aplicação de azulejos antigos. Um passo para a Normalização*. Revista Pedra & Cal, nº 61, julho a dezembro de 2016, pp 42-45. (artigo selecionado das V Jornadas FICAL - Fórum Ibérico da Cal).
- [30] GROOT, C. (2012), *Developments on repointing of salt-laden historic masonry in the Netherlands*. CIRea2012 – Conferência Internacional sobre Reabilitação de Estruturas Antigas de Alvenaria. Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, maio 2012, pp. 5-15.