

## REBOCOS INTERIORES PARA REABILITAÇÃO – REQUISITOS E CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES

### PLASTERS FOR REHABILITATION – RELEVANT REQUIREMENTS AND CHARACTERISTICS



**Alessandra Ranesi <sup>(1)</sup>, Rosário Veiga <sup>(2)</sup>, Paulina Faria <sup>(3)</sup>**

*(1) Departamento de Edifícios, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, CERIS e DEC, FCT, Universidade NOVA de Lisboa, Portugal, alessandraranesi@gmail.com*

*(2) Departamento de Edifícios, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Portugal, rveiga@lnec.pt*

*(3) CERIS e DEC, FCT, Universidade NOVA de Lisboa, Portugal, paulina.faria@fct.unl.pt*

## RESUMO

Já em 1972, a *Carta italiana del Restauro* definia o restauro como «*qualsiasi intervento volto a mantenere in efficienza, a facilitare la lettura e a trasmettere integralmente al futuro*», designando como objeto de conservação qualquer testemunho das civilizações do passado. Nessa perspectiva toda a construção tradicional pode considerar-se um repositório do património material e imaterial. A presença na prática construtiva tradicional portuguesa de rebocos com base em cal aérea, terra e gesso tem sido comprovada por diversos estudos. Por esta razão parece necessário recorrer a argamassas com formulação compatível, se possível conservando a mesma paleta de materiais, numa ação destinada a conservar as construções para as futuras gerações. As formulações das argamassas, acabamentos e tratamentos, e os sistemas de revestimento aplicados têm grande impacto nos projectos de conservação e reabilitação, pelas geralmente vastas áreas abrangidas e pela função protetora que devem desempenhar. Na prática de conservação e reabilitação do património construído tem de assegurar-se um bom funcionamento do sistema de reboco face ao suporte onde é aplicado e que tem de proteger, tendo em consideração as propriedades físico-mecânicas e químicas entre os materiais, assegurando a sua compatibilidade e durabilidade. Por outro lado, os materiais usados em rebocos interiores devem também assegurar elevados níveis de salubridade do ambiente interior, dos pontos de vista termo-higrométrico e de qualidade do ar. Com base nos estudos existentes, apresenta-se uma síntese dos requisitos e das características mais importantes dos rebocos interiores formulados com base nestes materiais, com a intenção de propor possibilidades de otimização.

**Palavras-chave:** Argamassa / Compatibilidade / Durabilidade / Higroscopicidade / Qualidade do ar interior

## 1. INTRODUÇÃO

De acordo com as matérias-primas e a mão-de-obra disponíveis, a construção vernácula adotou diferentes formas e soluções técnicas para atender aos requisitos arquitetónicos em diferentes épocas e áreas. Em Portugal, o uso de cal aérea, terra e gesso no reboco interior em diferentes períodos históricos tem sido confirmado por vários estudos (Damas *et al.*, 2016; Fernandes, 2008; Malta da Silveira *et al.*, 2007; Veiga, 2017). Somente no final do século XIX e principalmente no século XX esses materiais passaram a ser substituídos por ligantes hidráulicos, tais como cais com propriedades hidráulicas, cimento natural e cimento Portland (Candeias *et al.*, 2006). Assim, durante o século XX, muitas intervenções supostamente de consolidação e conservação de edifícios antigos foram realizadas com a substituição completa ou parcial das argamassas originais por outras baseadas nos novos ligantes (Gomes e Faria, 2011), o que muitas vezes contribuiu para acelerar o processo de degradação do património arquitetónico.

Uma vez que esse fenómeno de aceleração no processo de deterioração foi atribuído à incompatibilidade da intervenção, muitos estudos foram realizados tentando definir procedimentos para avaliar o que já existia, antes de planear novas intervenções (Damas *et al.*, 2016). A composição química e as propriedades físicas e mecânicas são aspectos a serem analisados para definir a compatibilidade entre diferentes elementos construtivos. É importante levar em conta, também, que o trabalho em conservação pode por vezes implicar a necessidade de adaptar técnicas de ensaio normalizadas.

Relativamente à caracterização das propriedades de revestimentos interiores, o foco deve ser sobre aquelas que são importantes para a integração ou substituição do reboco no âmbito da conservação ou reabilitação de edifícios antigos e naquelas mais relacionadas com a qualidade do ar interior, considerando a intenção de tornar a intervenção o mais eco-eficiente possível.

## 2. CRITÉRIOS DE CONSERVAÇÃO

Como já foi referido em muitos trabalhos relacionados com a conservação do património arquitetónico – desde as várias Cartas de Restauro e Conservação produzidas durante o século passado aos muitos artigos científicos disponíveis atualmente - existem alguns critérios que hoje em dia são reconhecidos como fundamentais para a realizações de boas intervenções. Os principais critérios resultantes desses estudos são (Veiga & Faria, 2018):

**Compatibilidade e eficácia** – É importante garantir a compatibilidade no desempenho químico, físico e mecânico. Ao escolher uma argamassa para reparar uma parede antiga, por exemplo para compensar uma lacuna de reboco, é importante ter cuidado para não ativar novos mecanismos de degradação no sistema (parede-reboco-acabamento final) e no próprio reboco. A eficácia da intervenção é obtida garantindo a escolha e o uso corretos de uma argamassa, compatível com a pré-existência e que responda à necessidade requerida.

**Durabilidade do reboco e do sistema de parede-reboco-acabamento** – As causas de degradação são múltiplas e estão relacionadas com mecanismos químicos, mecânicos, físicos e biológicos. As mais comuns estão ligadas ao transporte de água no interior da argamassa, como descrito para argamassas à base de cal aérea por Veiga (2017).

**Reversibilidade da intervenção** – Tem de ter-se em consideração que, por exemplo um novo reboco,

pode vir a ter de ser removido no futuro no âmbito da execução de trabalhos de manutenção, e que essa remoção tem de ser efetuada sem danificar os elementos originais. Também é preciso ter em consideração que, no futuro, a intervenção poderá ser substituída por outra, baseada num saber-fazer diferente e em novos materiais que atendam melhor à função esperada.

## 2.1. Caracterização mecânica, física e química

Para garantir a compatibilidade entre o novo reboco e o substrato já existente, é necessário comparar as propriedades químicas, físicas e mecânicas das argamassas (Veiga & Faria, 2018). Na Tabela 1 são sintetizadas as propriedades consideradas mais importantes para caracterizar uma argamassa e os métodos de ensaio mais correntes para as aferir. No caso de se pretenderem caracterizar amostras de reboco antigo, os métodos podem necessitar de ser adaptados (Freire *et al.*, 2019). Além das propriedades reportadas na Tabela 1, a primeira etapa metodológica é fazer uma análise visual, fortemente relacionada com a experiência do operador, combinada com alguns ensaios *in situ*, coletando dados de dureza, aderência e presença de fissuras na superfície dos rebocos.

Tabela 1 – Caracterização das argamassas

Característica	Definição	Método de determinação	Normas ou especificações	Propriedades relacionadas	Factores Relacionados
<b>Coesão Superficial</b>	Avaliação da falta de coesão das partículas à superfície do reboco	Massa de partículas que aderem a fita cola pressionada na superfície com intensidade constante por um determinado período de tempo	Drdácký et al. (2014) Parracha et al. (2019)	Uso, limpeza, durabilidade	Composição mineralógica e microestrutura
<b>Resistência à abrasão superficial</b>	Resistência da superfície seca do reboco à abrasão mecânica	Perda de massa após 20 rotações de uma escova circular aplicada na superfície sob pressão definida	DIN 18947, 2013 2 classes: SI, SII	Propriedades mecânicas, comportamento o físico, durabilidade	Composição mineralógica e microestrutura
<b>Módulo de elasticidade (estático ou dinâmico)</b>	Capacidade de deformação; rácio tensão- deformação	Tensão-deformação; velocidade de propagação de ultras-sons; frequência de ressonância	CSTB Cahier 2669-4, 1993 EN 14146, 2004 EN 12504-4, 2007	Propriedades mecânicas, comportamento o físico, durabilidade	Composição mineralógica e microestrutura, teor de água
<b>Rresistência à compressão</b>	Tensão de compressão que produz deformação no material, reduzindo o seu volume até à rotura	Compressão de uma área	EN 1015-11, 1999 DIN 18947, 2013 EN 998-1, 2016 4 classes: CSI a CSIV	Propriedades mecânicas, comportamento o físico, durabilidade	Composição mineralógica e microestrutura, teor de água
<b>Resistência à tração por flexão</b>	Tensão de tração aplicada por meio de um ensaio de flexão por três pontos até a rotura	Flexão a meio vão com apoio inferior	EN 1015-11, 1999 DIN 18947, 2013	Comportament o mecânico	Composição mineralógica e microestrutura, teor de água
<b>Aderência ao suporte</b>	Capacidade da argamassa de aderir a uma superfície	Pull-off da argamassa em contato com um suporte	EN 1015-12, 2000 DIN 18947,2013 2 classes: SI, SII	Integridade do sistema, comportament o mecânico	Composição mineralógica e microestrutura, coesão, aplicação

Tabela 1 – Caracterização das argamassas (cont.)

Característica	Definição	Método de determinação	Normas ou especificações	Propriedades relacionadas	Factores Relacionados
<b>Adsorção/desadsorção</b>	Capacidade do reboco para captar/ libertar vapor de água até atingir equilíbrio com a envolvente	Aumento ou diminuição de massa a HR elevada ou baixa, em função da área e do tempo	EN 12571, 1998 DIN 18947, 2013 3 classes: WS-I a WS-III ( $\geq 60\text{g/m}^2$ ) Lima et al. (2016)	Conforto térmico, equilíbrio do teor de humidade do ar, poupança energética	Composição mineralógica e microestrutura, distribuição de poros
<b>Permeabilidade ao vapor de água</b>	Capacidade de camada de argamassa de ser atravessada por vapor de água (normalmente devido a diferenças de pressão entre interior e exterior)	Variação de massa de amostras em cápsula húmida ou seca, com diferentes condições de HR em relação ao ambiente da câmara climática, até estabilização	EN 1015-19, 1998 EN ISO 12572, 2001 EN 15803, 2009 DIN 18947, 2013	Balanço do teor de humidade do ar, fenómenos de condensação no interior dos componentes, durabilidade	Composição mineralógica e microestrutura, distribuição de poros
<b>Absorção de água por capilaridade</b>	Ascensão de água líquida pela porosidade capilar da argamassa	Aumento da massa em função da área em contato com lâmina de água, em função da raiz do tempo; cálculo do coeficiente de capilaridade e da absorção total de água depois de determinado período e até saturação	RILEM TC 25-PEM_II.6, 1980 EN 1015-18, 2002 EN 15801, 2009 EN 998-1, 2016 3 classes : $W_{c0} \div W_{c2}$	Propriedades mecânicas, secagem, transporte de água nos componentes, suscetibilidade biológica, durabilidade	Composição mineralógica e microestrutura, distribuição dos poros
<b>Secagem</b>	Capacidade da argamassa húmida de secar, até atingir equilíbrio com a envolvente	Diminuição de massa em função da área e do tempo ou raiz do tempo de provetes saturados no ensaio de capilaridade, em condições de T e HR controladas; cálculo das taxas de secagem na 1ª e 2ª fases e do índice de secagem	RILEM TC 25-PEM_II.5, 1980 EN 16322, 2013	Propriedades mecânicas, fenómenos de condensação, ataque biológico	Composição mineralógica e microestrutura, distribuição de poros, teor de água, HR e T do ambiente
<b>Condutibilidade térmica</b>	Capacidade da argamassa em conduzir calor	Provetes em equilíbrio com condições específicas de T e HR; determinação por Heat transfer analyser, hot hire or hot plates	EN 1745, 2012 EN 998-1, 2016 2 classes: T1 , T2	Conforto térmico, poupança energética	Microestructura e distribuição dos poros, densidade
<b>Microestructura</b>	Estrutura porosa da argamassa	Massa seca por unidade de volume aparente	EN 1015-10, 1999 DIN 18947, 2013	Todo o comportamento do material	Ligante, agregados, adições, razão ligante/agregado , razão água/ligante, ligações químicas, métodos de preparação e aplicação
		Porosidade aberta por vácuo e pesagem hidrostática; porosimetria por intrusão de mercúrio	ASTM D4404-84, 2004 EN 1936, 2006		

### 3. PROPRIEDADES PARA A CONSERVAÇÃO

Algumas das propriedades importantes a serem consideradas para argamassas para conservação são apresentadas na Tabela 2, juntamente com a gama de valores para argamassas históricas sugerida por Veiga *et al.* (2010).

Tabela 2 – Propriedades de argamassas com base em terra (E), pré-doseada com base em gesso (PG), cal aérea (AL), cal hidráulica (HL), cal hidráulica natural (NHL) e cimento (C) e comparação com a gama recomendada para argamassas para construções históricas.

Arg.(traço em vol.) ----- Propriedade	E (1:3)	PG	AL (1:3)	HL3.5(1:3)	NHL5(1:4)	C (1:4)	Intervalo
Retração linear[%]	0,08 <sup>(a)</sup>	0,53 <sup>(a)</sup>	0,04 <sup>(a)</sup>	-	0,07 <sup>(a)</sup>	0,05 <sup>(f)</sup>	-
Resistência à compressão [MPa]	0,77 <sup>(a)</sup> -1,01 <sup>(g)</sup>	1,66 <sup>(a)</sup> -4,16 <sup>(h)</sup>	0,20 – 1,80 <sup>(b)</sup>	2,80-3,20 <sup>(b)</sup>	0,80–1,20 <sup>(b)</sup>	3,00 – 7,00 <sup>(b)</sup>	0,40-2,50 <sup>(b)</sup>
Resistência à tração por flexão [MPa]	0,17 <sup>(c)</sup> -0,25 <sup>(a)</sup>	7,94 <sup>(h)</sup>	0,20 – 0,80 <sup>(b)</sup>	1,00-1,20 <sup>(b)</sup>	0,20-0,50 <sup>(b)</sup>	0,90 - 1,70 <sup>(b)</sup>	0,20-0,70 <sup>(b)</sup>
Módulo de elasticidade dinâmico [GPa]	1,07 <sup>(c)</sup>	US -3,63 <sup>(h)</sup> FR - 5,25 <sup>(h)</sup>	2,30 - 4,10 <sup>(b)</sup>	7,80 <sup>(b)</sup>	1,00-3,00 <sup>(b)</sup>	5,80 <sup>(b)</sup> -11,07 <sup>(f)</sup>	2,00-4,80 <sup>(b)</sup>
Adsorção às 24 h, HR 50% > 80% [g/m <sup>2</sup> ] <sup>(2)</sup>	80 <sup>(d)</sup> -180 <sup>(i)</sup>	20 <sup>(g)</sup>	12 <sup>(d)</sup>	-	30 <sup>(d)</sup>	40 <sup>(g)</sup>	-
Espessura da camada de ar equivalente, Sd [m]	0,13-0,16 <sup>(i)</sup>	0,035-0,057 <sup>(h)</sup>	0,05 – 0,08 <sup>(b)</sup>	0,08 <sup>(b)</sup>	0,09 <sup>(b)</sup>	0,07 – 0,14 <sup>(b)</sup>	≤ 0,08 <sup>(b)</sup>
Coefficiente de capilaridade [kg/(m <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )]	0,14 <sup>(c)</sup> -0,28 <sup>(e)</sup>	6,42-6,97 <sup>(h)</sup>	1,00 – 1,60 <sup>(b)</sup>	1,40-2,00 <sup>(b)</sup>	1,20 – 2,50 <sup>(b)</sup>	0,80 – 2,00 <sup>(b)</sup>	1,00-1,50 <sup>(b)</sup>
Índice de secagem [-] <sup>(1)</sup>	0,12 <sup>(e)</sup>	0,24 <sup>(g)</sup>	0,31 <sup>(i)</sup>	-	0,22 <sup>(l)</sup>	0,11 <sup>(e)</sup>	-
Condutibilidade térmica [W/(m.K)] **''	1,18 <sup>(a)</sup>	0,93 <sup>(a)</sup>	0,80 <sup>(a)</sup>	-	0,65 <sup>(a)</sup>	0,90 (dado comercial)	-

(a) Lima *et al.* (2016); (b) Veiga *et al.* (2010); (c) Gomes *et al.* (2018); (d) Lima & Faria (2017); (e) Faria & Lima (2018); (f) Brazão Farinha *et al.* (2016); (g) Santos *et al.* (2019); (h) Freire (2016); (i) Santos *et al.* (2015); (l) Faria *et al.* (2017); (1) Só comparáveis para ensaios de igual duração; (2) Só comparáveis para mesmas condições de T e RH; em vermelho os valores que não se enquadram no intervalo.; US – por ultrassons; FR – por frequência de ressonância

Comparando os dados, a evidência é que a argamassa de cimento não é compatível para a conservação uma vez que quase todos os valores que as caracterizam excedem a gama de valores recomendada. Por exemplo, o comportamento mecânico é completamente acima do limite recomendado, de modo que uma reparação realizada num edifício histórico com argamassas de cimento poderia provocar uma concentração de tensões na parede onde essa argamassa fosse aplicada. Simultaneamente, a sua elevada resistência ao vapor de água poderia manter a parede demasiado húmida, reduzindo por essa

via a sua capacidade resistente e, eventualmente, gerando muitos outros processos de degradação, nomeadamente por ação de sais solúveis e higroscópicos. A argamassa de cal hidráulica também resulta fora da gama para muitos parâmetros, diversamente das argamassas com base em terra, gesso, cal aérea e cal hidráulica natural, que apresentam características mais de acordo com os requisitos, como esperado, uma vez que são as mais utilizadas em estruturas antigas.

#### 4. QUALIDADE DO AMBIENTE INTERIOR

Um reboco para conservação e reabilitação, como descrito até agora, não apenas precisa atender aos requisitos das normas e satisfazer os critérios de conservação listados na secção 2, mas também deve contribuir para melhorar as condições de vida dos utilizadores dos edifícios, relacionadas com a qualidade do ambiente interior (*Indoor Environmental Quality*, IEQ), e respeitar a eco-eficiência exigida aos novos materiais e produtos da construção. A IEQ é determinada com a avaliação de quatro parâmetros, nomeadamente: qualidade do ar interior (*Indoor Air Quality*, IAQ), conforto térmico, acústico e visual (Frontczak & Wargocki, 2011), todos relacionados com o bem-estar dos ocupantes e com a energia operacional dos edifícios. Para a determinação da IEQ, existem muitos modelos (Heinzerling *et al.*, 2013), diferentes entre si em termos de parâmetros analisados, métodos de ensaio, escala de valores dos resultados e da decisão prévia de considerar apenas critérios objetivos ou introduzir também critérios subjetivos. Por um lado, essa segunda via parece ser mais precisa, uma vez que a avaliação da qualidade do ambiente interior está fortemente relacionada com as pessoas que usam o espaço, embora, por outro lado, torne a avaliação mais difícil.

Há quase 50 anos, entre todos estes parâmetros, foi dado particular impulso ao estudo de todos os elementos que influenciam a IAQ, devido à relação encontrada entre uma má qualidade do ar interior e a saúde dos ocupantes dos edifícios (Jones, 1999) tal como revelou o estudo sobre o *sick-building-syndrome* (SBS) e das *building-related illnesses* (BRI). Uma maneira de quantificar a qualidade do ar interior, como reportado por alguns investigadores (Wei *et al.*, 2016), é através da formulação e avaliação de um índice. No entanto, nem todos consideram os mesmos parâmetros nem os mesmos métodos de ensaio para a definição de índices, e o resultado final são valores pertencentes a diferentes escalas, o que não simplifica a comparação entre os diversos estudos. Assim, a análise da IAQ deve considerar muitos parâmetros para garantir uma estimativa completa. Taxa de renovação do ar, emissão de poluentes interiores (de produtos da construção, equipamentos, ocupantes), entrada de contaminantes externos, velocidade de deposição e reatividade química, fenómenos de adsorção e desadsorção associados à temperatura interna e humidade relativa do ar são apenas alguns dos fatores que influenciam esse parâmetro, juntamente com as práticas de uso e as atividades dos utilizadores. A taxa de renovação do ar não é avaliada neste artigo, enquanto a emissão de contaminantes no interior e a captação daqueles produzidos no interior ou provenientes do exterior, bem como o comportamento higroscópico dos materiais interiores, serão discutidos nos parágrafos seguintes.

##### 4.1. O comportamento higroscópico

O comportamento higroscópico de um material é a capacidade de capturar e libertar vapor de água do ar (Tabela 2), modificando o ambiente em que o material é colocado. Essa capacidade de *buffer* de humidade influencia os valores de humidade relativa dos espaços interiores, induzindo um controle passivo do teor de humidade do ar e uma alteração da sensação de conforto térmico dos ocupantes.

#### 4.1.1. *Higroscopicidade de rebocos com base em terra, gesso e cal.*

Na Tabela 2 é possível ver resultados de ensaios de adsorção às 24 horas para diferentes argamassas, entre as quais a terra emerge com valores realmente altos (80 g/m<sup>2</sup>). Os rebocos com base em terra têm, geralmente, um comportamento higroscópico muito bom em comparação com os com base nos ligantes convencionais. Por exemplo, um painel de 1000 cm<sup>2</sup> de área e 1,5 cm de espessura de argamassa de terra pré-doseada comercial com adição de fibras vegetais, a 23 °C com a humidade relativa (HR) aumentando de 50% (equilíbrio) para 80%, adsorveu mais de 100 g/m<sup>2</sup> de vapor de água (Santos *et al.*, 2019). A mesma amostra ensaiada à desadsorção, às 24 horas libertou quase toda a quantidade adsorvida. Nos rebocos de terra a capacidade higroscópica, tal como a retração, dependem significativamente do tipo de argila (Lima *et al.*, 2019). Amostras cilíndricas de argamassas de gesso hemi-hidratado (P3) e de cal aérea calcítica com adição de gesso (L1) (Freire, 2016), com 15-18 mm de espessura e 50-60 mm de diâmetro, foram ensaiadas depois de 2 anos de cura, com temperatura fixa (23 °C) e valores de HR crescentes (30%, 50%, 70% e 90%), cada um mantido até massa constante do provete. A seguir, o procedimento de ensaio foi invertido, com valores de HR decrescentes. Conforme reportado por Freire (2016), os resultados dos ensaios são influenciados pela presença de cal que «*aumenta os valores de adsorção e induz histerese à desadsorção*», fenómeno relacionado pela mesma investigadora com a quantidade de pequenos poros introduzidos na microestrutura da argamassa pela cal.

#### 4.1.2. *Moisture Buffer Value (MBV)*

Uma vez analisado o comportamento higroscópico do material, é possível calcular o Moisture Buffer Value (MBV) como a «*quantidade de água que é transportada para e do material por unidade de área superficial durante um certo período de tempo, quando sujeito a variações de humidade relativa do ar circundante*» (Vares *et al.*, 2017) e classificar o reboco de acordo com uma escala de valores desse parametro, a partir de insignificante até excelente. As condições ambientais para ensaiar as propriedades de adsorção dos materiais referidas como mais realistas por Vares *et al.* (2017) correspondem, para uma temperatura de 23±0,5 °C, a flutuações de HR de 0 a 30%, 30 a 50% e 50 a 80%. Estes valores simulam, respectivamente, uma situação muito pouco frequente, um ambiente interior ventilado e um interior com alta ocupação e insuficiente taxa de renovação do ar. Ibidem, o caso de HR aumentando ou diminuindo na faixa de 80 a 100% não é levado em consideração, porque considerado dificilmente possível de ser observado em espaços interiores aquecidos. No entanto, essas condições podem ocorrer em ambientes mediterrânicos interiores não aquecidos de forma contínua. Num cenário dinâmico, alterando a duração do ciclo de carga de humidade para um período mais longo, é induzida uma alteração na resposta dos materiais, que depende da permeabilidade ao vapor de água permitir envolver no mecanismo de *buffer* um volume menor ou maior de material (Ge *et al.* 2014). Assim, pode ser interessante analisar e comparar o MBV para rebocos com base em gesso, caracterizados por alta permeabilidade ao vapor e baixa capacidade higroscópica, e com base em terra, com propriedades inversas (permeabilidades ao vapor de água caracterizadas por 0,13 m vs 0,035 m de espessura da camada de ar de difusão equivalente, respetivamente para argamassas de terra e de gesso pré-doseadas, conforme relatado na Tabela 2).

## 4.2. Suscetibilidade ao desenvolvimento biológico

O teor de água, na fase líquida e de vapor, dentro da estrutura de poros dos materiais de construção,

sob condições ambientais específicas, pode desencadear mecanismos de degradação e aumentar as condições prejudiciais da qualidade do ar interior. Alguns dos processos de degradação são congelamento-descongelamento, cristalização após dissolução de sais solúveis, dissolução de carbonato de cálcio, ataque ácido devido à dissolução de depósitos de poluição, ataque biológico com produção de ácidos e geração de tensões (Veiga, 2017). Além disso, o crescimento de microrganismos na superfície do reboco não danifica apenas o sistema mas também pode afetar a saúde dos ocupantes, aumentando o risco de síndromes respiratórias, como referido anteriormente. O desenvolvimento de bolor, fungos ou bactérias nos rebocos interiores está conectado às características intrínsecas do material, como o pH do ligante, a composição química e a porosidade das argamassas, bem como às condições termo-higrométricas do ambiente e até à rugosidade da superfície. No caso de argamassas à base de cal, também o processo de carbonatação é um fator realmente importante a ser levado em consideração na suscetibilidade biológica (Shirakawa *et al.*, 2003). Em condições alcalinas, o desenvolvimento de microrganismos não é facilitado, portanto esse aspecto pode ser considerado importante para a prevenção de ataques biológicos. Também foi investigada a relação entre colonização e porosidade do material para argamassas de terra (Santos *et al.*, 2018). Temperatura e HR são os parâmetros ambientais nos espaços interiores que afetam o desenvolvimento biológico. A alta HR do ar é uma condição favorável para o desenvolvimento de microrganismos (entre 80% e 95%) e a temperatura corrente das divisões internas (20 °C) ajuda à proliferação (Viitanen, 2011), embora também o tempo de exposição, a composição e as condições de preservação da superfície possam ativar o mecanismo de degradação. Para evitar o ataque biológico, é possível adicionar biocidas ou antifúngicos às argamassas, mesmo que essa solução não seja a mais favorável nos espaços interiores por poder ter uma vida útil breve e possíveis consequências para a saúde dos ocupantes. Entretanto está a ser investigado o uso de sistemas de acabamentos com recurso a nanometais (Huang *et al.*, 2015) e a outros nanomateriais (Borsoi *et al.*, 2017) que possam controlar esta anomalia.

### 4.3. Emissões poluentes primárias e secundárias

Atualmente, a emissão de Compostos Orgânicos Voláteis (COVs) é considerada um sério problema para a poluição ambiental e a saúde das pessoas, pois é responsável pela produção de ozono fotoquímico e aerossol orgânico secundário (SOA). As estratégias adotadas para solucionar esse problema podem seguir uma abordagem destrutiva (oxidação térmica ou catalítica) ou uma de armazenamento (adsorção, absorção ou condensação). A terra argilosa, enquanto matéria-prima abundante e eco-eficiente (economicamente e em termos de energia incorporada), tem sido investigada por muitos autores em termos de adsorção (Jarraya *et al.*, 2010), reações químicas com COVs (Soma & Soma, 1989) e também em termos de remoção de ozono (Hoang *et al.*, 2009). Esta última análise investiga as emissões secundárias dos materiais e produtos de construção, indo além dos critérios de baixa emissão.

#### 4.3.1. O comportamento da terra

Emissões secundárias são geradas a partir da reação do ozono com materiais de acabamento, levando em consideração, além da reatividade, também as velocidades de deposição e as probabilidades de reação. Como produtos ecológicos de construção, um reboco de terra e uma tinta à base de argila foram ensaiados, entre um total de 19 produtos (Lamble *et al.*, 2011), em termos de rácio médio de compostos carbonílicos em relação ao ozono medido as 2 horas e as 24 horas, velocidade de deposição e probabilidade de reação ao ozono. A tinta apresenta uma alta velocidade de deposição, assim como probabilidade de reação com o ozono, enquanto a taxa de emissão de compostos carbonílicos



produzidos resulta inferior a 0,2 (Lamble *et al.*, 2011). Ensaçando o reboco com base em terra verifica-se uma velocidade de deposição ainda alta, uma probabilidade de reação calculada um pouco inferior à da pintura de argila e uma produção média quase nula. Por esse motivo, o reboco à base de terra é considerado, pelos investigadores, o mais favorável entre os 19 produtos analisados, apresentando um grande potencial para reduzir a concentração de ozono nos espaços interiores, sem geração de emissões secundárias. No entanto, Lamble *et al.* (2011) refere a necessidade de mais campanhas experimentais para avaliar a reação desse reboco sob exposição a outros contaminantes. Outra campanha analisou o reboco de terra ao reagir com ozono: para um cenário fixo, ou seja, numa câmara de aço inoxidável de 30 m<sup>3</sup>, as variáveis eram um painel com base em terra, o ozono e uma carpete (Darling *et al.*, 2012). Conforme relatado pelos investigadores, num ensaio com ozono, carpete e painel com base em terra, a concentração total de compostos orgânicos ficou 72% inferior que a registada no mesmo ensaio sem o painel. Mesmo que a capacidade de reduzir a concentração de ozono da carpete e da argila, ensaiadas individualmente, tenha o mesmo resultado, o reboco de terra parece produzir menos aldeídos, uma vez exposto à mesma concentração de ozono. Para sublinhar esse comportamento, no ensaio só com o painel de terra como acabamento a concentração média total de produtos de reação foi nove vezes inferior que no mesmo ensaio só com a carpete.

## 5. CONCLUSÕES

No presente estudo, diferentes rebocos interiores foram analisados de acordo com critérios e requisitos de conservação para utilização em espaços interiores saudáveis, salientando-se várias características para cada reboco. Analisando dados de vários estudos, verifica-se que as argamassas de terra (E), gesso pré-doseado (PG), cal hidráulica natural (NHL5) e cal aérea (AL) cumprem as faixas recomendadas de requisitos de compatibilidade para conservação, embora com alguns limites. Sendo essas as argamassas de reboco mais utilizadas em edifícios históricos, devem ser as utilizadas na conservação, reparação ou substituição dos rebocos existentes.

Além disso, o interesse em garantir uma boa qualidade do ar interior para os ocupantes levou à análise de algumas das propriedades relacionadas com esse aspecto, nomeadamente em termos de comportamento higroscópico, suscetibilidade ao desenvolvimento biológico e emissões poluentes primárias e secundárias.

O comportamento higroscópico do reboco à base de terra foi relevado em muitos estudos pela capacidade observada de atuar como *buffer* de humidade. Por outro lado, os ensaios de adsorção mostram valores baixos para argamassas à base de gesso e ainda mais baixos para argamassas à base de cal aérea. Além disso, o ensaio de desadsorção para reboco à base de gesso revela uma boa aptidão para libertar vapor de água, embora para o de cal aérea essa propriedade necessita de ser analisada mais detalhadamente. Os estudos apresentados também apontaram para o facto de uma sinergia entre higroscopicidade e permeabilidade ao vapor, ou secagem, dever ser considerada para a conceção de um sistema mais eficiente. Parece ser necessário realizar campanhas experimentais adicionais para verificar essa hipótese e caracterizar o sistema. No entanto, é importante ter em consideração que, em rebocos interiores, o acabamento do reboco pode modificar significativamente as suas características, nomeadamente o mecanismo de adsorção / desadsorção. Portanto, é importante estudar os sistemas de reboco interiores completos, incluindo possíveis acabamentos.

Para melhorar as condições interiores, deve-se garantir uma redução da suscetibilidade ao

desenvolvimento biológico da argamassa, o que corresponde também a uma maior durabilidade da intervenção. Assim, na sequência de uma abordagem preventiva, sem recorrer a biocidas e antifúngicos, parece possível usar a cal aérea para desempenhar a função de proteção do sistema, graças aos seus valores de pH e à sua estrutura porosa.

Relativamente às emissões e captura de poluentes, as argamassas de terra argilosa e as de gesso já foram ensaiadas um pouco como material de remoção passiva (PRM), dando alguns resultados interessantes. Por esse motivo, é desejável realizar mais ensaios explorando as argamassas à base de terra e de gesso como PRM, bem como as com base em cal aérea.

Em suma, verifica-se que essas três matérias-primas – terra argilosa, gesso e cal aérea - parecem interessantes para a produção de argamassas de reboco para conservação e reabilitação, devido à sua compatibilidade com o património construído e ao grande potencial para melhorar a qualidade do ambiente interior. A concluir, o objetivo para estudos futuros é suprir as lacunas existentes na respetiva caracterização e otimizar sistemas baseados nas matérias-primas que respondem aos requisitos, sem esquecer a sua eco-eficiência.

## REFERÊNCIAS

- Borsoi, G., Lubelli, B., van Hees, R., Veiga, R., & Santos Silva, A. (2017). **Evaluation of the effectiveness and compatibility of nanolime consolidants with improved properties**. *Construction and Building Materials*, 142, 385–394.
- Candeias, A. E., Nogueira, P., Mirão, J., Santos Silva, A., Veiga, R., Casal, M. G., ... Seruya, A. I. (2006). **Characterization of ancient mortars: present methodology and future perspectives**. Proc. Workshop on Chemistry in the Conservation of Cultural Heritage: Present and Future Perspectives, Perugia.
- Brazão Farinha, C., de Brito, J., Veiga, R., & Lucas, J. (2016). **Reduction of cement content in renderings with fine sanitary ware aggregates**. *Materials and Structures*, 49, 1605–1618.
- Damas, A. L., Veiga, R., & Faria, P. (2016). **Caraterização de argamassas antigas de Portugal – contributo para a sua correta conservação**. Proc. Congresso Ibero-Americano “Património, Suas Matérias e Imatérias,” ISBN: 978-972-49-2288-1.
- Darling, E. K., Cros, C. J., Wargocki, P., Kolarik, J., Morrison, G. C., & Corsi, R. L. (2012). **Impacts of a clay plaster on indoor air quality assessed using chemical and sensory measurements**. *Building and Environment*, 57, 370–376.
- Faria, P., Silva, V., Grilo, J., Carneiro, J., Branco, T., Mergulhão, D., Antunes, R. (2012). **Argamassas compatíveis com alvenarias históricas com base em cal hidráulica natural**. Proc. CIRea2012 - Conferência Internacional sobre Reabilitação de Estruturas Antigas de Alvenaria.
- Faria, P., & Lima, J. (2018). **Rebocos de terra**, Argumentum.
- Fernandes, M. (2008). **Earth mortars and earth-lime renders**. *Conservar Património*, 8, 21–27.
- Freire, T. (2016). **Restoration of ancient Portuguese interior plaster coatings: Characterization and development of compatible gypsum-based products**. Unpublished doctoral dissertation, IST, Lisbon, Portugal.
- Freire, T., Veiga, R., Santos Silva, A., & Brito, J. de. (2019). **Studies in ancient gypsum based plasters towards their repair: Physical and mechanical properties**. *Construction and Building Materials*, 202, 319–331.
- Frontczak, M., Wargocki, P. (2011). **Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor environments**. *Building and Environment*, 46, 922–937.

- Ge, H., Yang, X., Fazio, P., & Rao, J. (2014). **Influence of moisture load profiles on moisture buffering potential and moisture residuals of three groups of hygroscopic materials.** *Building and Environment*, 81, 162–171.
- Gomes, M. I., & Faria, P. (2011). **Repair mortars for rammed earth constructions.** Proc. XII DBMC – 12th International Conference on Durability of Building Materials and Components.
- Gomes, M. I., Faria, P., & Gonçalves, T. D. (2018). **Earth-based mortars for repair and protection of rammed earth walls. Stabilization with mineral binders and fibers.** *Journal of Cleaner Production*, 172, 2401–2414.
- Heinzerling, D., Schiavon, S., Webster, T., & Arens, E. (2013, December 1). **Indoor environmental quality assessment models: A literature review and a proposed weighting and classification scheme.** *Building and Environment*, 70, 210–222.
- Hoang, C. P., Kinney, K. A., & Corsi, R. L. (2009). **Ozone removal by green building materials.** *Building and Environment*, 44(8), 1627–1633.
- Huang, H.-L., Lin, C.-C., & Hsu, K. (2015). **Comparison of resistance improvement to fungal growth on green and conventional building materials by nano-metal impregnation.** *Building and Environment*, 93, 119–127.
- Jarraya, I., Fourmentin, S., Benzina, M., & Bouaziz, S. (2010). **VOC adsorption on raw and modified clay materials.** *Chemical Geology*, 275(1–2), 1–8.
- Jones, A. P. (1999). **Indoor air quality and health.** *Atmospheric Environment*, 33(28), 4535–4564.
- Lamble, S. P., Corsi, R. L., & Morrison, G. C. (2011). **Ozone deposition velocities, reaction probabilities and product yields for green building materials.** *Atmospheric Environment*, 45(38), 6965–6972.
- Lima, J., Faria, P., & Santos Silva, A. (2016). **Earthen plasters based on illitic soils from Barrocal region of Algarve: contributions for building performance and sustainability.** *Key Engineering Materials*, 678, 64-77.
- Lima, J., Faria, P., & Santos Silva, A. (2020). **Earth plasters: the influence of clay mineralogy in the plasters' properties.** *International Journal of Architectural Heritage*, <https://doi.org/10.1080/15583058.2020.1727064>
- Lima, J., & Faria, P. (2017). **Rebocos de terra : caraterização higroscópica e face à presença de água líquida.** Proc. CREPAT 2017 - Congresso da Reabilitação do Património, 21-29.
- Lima, J., Silva, S., & Faria, P. (2016). **Rebocos de terra: influência da adição de óleo de linhaça e comparação com rebocos convencionais.** Proc. Teste - Congresso de Ensaios e Experimentação em Engenharia Civil, 9 p.
- Malta da Silveira, P., Veiga, M. do R., & de Brito, J. (2007). **Gypsum coatings in ancient buildings.** *Construction and Building Materials*, 21(1), 126–131.
- Parracha, J.L., Pereira, A.S., Veles da Silva, R., Almeida, N., & Faria, P. (2019). **Efficacy of iron-based bioproducts as surface biotreatment for earth-based plastering mortars.** *Journal of Cleaner Production*, 237, 117803.
- Santos, T., Gomes, M.I., & Faria, P. (2019). **Earth-based and current plasters: assessment of efficiency and contribution to indoor air quality.** Proc. HMC2019 - 5th Historic Mortars Conference, RILEM Pro130, 5-20.
- Santos, T., Nunes, L., & Faria, P. (2018). **Production of eco-efficient earth-based plasters: Influence of composition on physical performance and bio-susceptibility.** *Journal of Cleaner Production*, 167, 55–67.
- Santos, T., Silva, V., Faria, P. (2015). **Argamassas de terra - Comportamento higrotérmico função da granulometria da areia.** *Construção Magazine*, 78, 28-30.
- Shirakawa, M. A., Beech, I. B., Tapper, R., Cincotto, M. A., & Gambale, W. (2003). **The development of a**

- method to evaluate bioreceptivity of indoor mortar plastering to fungal growth.** *International Biodeterioration & Biodegradation*, 51(2), 83–92.
- Soma, Y., & Soma, M. (1989). **Chemical reactions of organic compounds on clay surfaces.** *Environmental Health Perspectives*, 83, 205–214.
- Vares, O., Ruus, A., Raamets, J., & Tungel, E. (2017). **Determination of hygrothermal performance of clay-sand plaster: influence of covering on sorption and water vapour permeability.** *Energy Procedia*, 132, 267–272.
- Veiga, R. (2017). **Air lime mortars: What else do we need to know to apply them in conservation and rehabilitation interventions? A review.** *Construction and Building Materials*, 157, 132–140.
- Veiga, R., & Faria, P. (2018). **O papel das argamassas na durabilidade das alvenarias antigas.** *Proc. CIREA2018 - Conferência Internacional sobre Reabilitação de Estruturas Antigas de Alvenaria*, 1–15.
- Veiga, R., Fragata, A., Velosa, A. L., Magalhães, A. C., & Margalha, G. (2010). **Lime-based mortars: Viability for use as substitution renders in historical buildings.** *International Journal of Architectural Heritage*, 4(2), 177–195.
- Viitanen, H. (2011). **Moisture and bio-deterioration risk of building materials and structures.** *Mass Transfer - Advanced Aspects, InTech*, 579-594.
- Wei, W., Ramalho, O., Derbez, M., Ribéron, J., Kirchner, S., & Mandin, C. (2016). **Applicability and relevance of six indoor air quality indexes.** *Building and Environment*, 109, 42–49.