



ARGAMASSAS COMPATÍVEIS PARA EDIFÍCIOS ANTIGOS

A. Rita Santos ¹ e M. do Rosário Veiga ²

¹ Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, arsantos@lnec.pt

² Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, rveiga@lnec.pt

Palavras-chave: Argamassas de cal, conservação, diagnóstico, requisitos.

Sumário: Nos últimos anos, as intervenções de conservação e reabilitação em edifícios históricos têm vindo a aumentar significativamente. Essas intervenções, muitas vezes realizadas com alteração de materiais e de processos construtivos, nem sempre têm contribuído para melhorar o estado de conservação dos edifícios, sendo frequentemente responsáveis pela aceleração de diversos mecanismos de degradação.

Na presente comunicação enfatiza-se o papel das argamassas na conservação dos edifícios antigos; faz-se referência aos métodos experimentais para a caracterização física de argamassas históricas usados no LNEC; definem-se critérios a ter em conta na seleção de argamassas de substituição; apresentam-se e discutem-se resultados experimentais obtidos para vários tipos de argamassas correntemente utilizadas. Propõem-se linhas de investigação para o prosseguimento dos estudos nessa área.

1. INTRODUÇÃO

As paredes dos edifícios antigos, anteriores ao uso da estrutura de betão armado, eram normalmente constituídas por materiais muito porosos, em geral com resistências mecânicas inferiores aos atuais e construídas sem corte de capilaridade; era através de uma secção espessa que conseguiam cumprir as funções estruturais, de proteção térmica, à água e ao ar. Toda a construção apresentava alguma permeabilidade à água, havendo infiltrações por vários pontos em que os remates ou as interfaces o permitiam. No entanto, as soluções usadas favoreciam também a secagem rápida dessa água, antes que produzisse degradação ou desconforto excessivo. Os revestimentos, de materiais com características semelhantes, portanto compatíveis com o suporte, tinham um papel importante na capacidade de proteção e no bom funcionamento da parede.

Os rebocos eram compostos por ligantes com base em cal aérea e agregados provenientes dos próprios locais de construção e quando cuidadosamente preparados e aplicados, adquiriam resistências significativas e durabilidades elevadas (Fig. 1).

Ao longo dos últimos anos tem-se verificado que as intervenções, ditas de reabilitação, em revestimentos exteriores de edifícios antigos, com a alteração de materiais e de processos construtivos, nem sempre têm contribuído para melhorar o estado de conservação destes, sendo mesmo, frequentemente, responsáveis pela aceleração de diversos mecanismos de degradação (Fig. 2).

Uma intervenção eficaz sobre os revestimentos de paredes de edifícios antigos exige um conhecimento aprofundado dos revestimentos existentes, da sua composição e do seu estado de conservação. De acordo com o conhecimento atual, a seleção das soluções de revestimentos de substituição deve basear-se em critérios de compatibilidade com os elementos pré-existentes, tentando evitar, a aceleração da degradação dos materiais pré-existentes, em particular das alvenarias.

O desempenho das argamassas depende em grande medida das propriedades da sua microestrutura que, por sua vez, é condicionada por diversos aspetos entre os quais se destacam: as características dos componentes

utilizados (tipo de ligante e natureza mineralógica e granulometria do agregado); a formulação (proporção com que os componentes são misturados e quantidades de água de amassadura); a cura; os procedimentos de aplicação e o tipo de suporte [1 a 4].



Figura 1: Revestimento antigo onde (época romana) é visível a aplicação da argamassa de cal em várias camadas



Figura 2: Destacamento de um reboco de cimento sobre um suporte antigo.

2. CARACTERIZAÇÃO DOS REVESTIMENTOS EXISTENTES: MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO

A caracterização das argamassas antigas, ao nível das técnicas de execução, da constituição e de avaliação do seu estado de conservação, são uma imprescindível ferramenta na abordagem de uma intervenção de conservação nestes elementos, permitindo definir as características de compatibilidade a exigir às argamassas de substituição. Além disso, podem fornecer importantes informações acerca da história dos edifícios, nomeadamente sobre a época e o contexto da sua construção e sobre eventuais reparações já efetuadas [5, 6].

Embora uma observação visual cuidada seja indispensável para essa caracterização, é útil recorrer a outros meios, para obter uma informação mais detalhada e quantificada. Esses meios devem basear-se em ensaios *in situ* (realizados sobre o revestimento antigo aplicado) e em ensaios laboratoriais (realizados sobre amostras extraídas no local).

Os ensaios *in situ* são, em geral, não destrutivos ou pouco destrutivos e permitem uma avaliação qualitativa-quantitativa das características mecânicas mais significativas, fornecendo também informação sobre o estado de conservação do revestimento em estudo. Contudo, os resultados são por vezes difíceis de interpretar e de correlacionar com as características que se destinam a avaliar, tendo muitas vezes caráter comparativo. Os ensaios de laboratório permitem uma caracterização direta dos revestimentos antigos, quer a nível da sua composição, quer das suas características físicas e mecânicas. No entanto, os ensaios de laboratório, são realizados sobre amostras recolhidas no local e por isso são sempre destrutivos; por outro lado, exigem adaptações dos métodos de ensaio, podendo ser limitados pelas características das amostras que é possível recolher, por vezes frágeis e com formas irregulares [7].

No Quadro 1, referem-se alguns métodos experimentais desenvolvidos e utilizados atualmente no LNEC para a caracterização de argamassas antigas.

Quadro 1: Técnicas de ensaio para a caracterização de amostras antigas

| Objetivo | Tipo | Ensaio |
|--|--|--|
| Determinação das propriedades Físicas e Mecânicas | Ensaio in situ | Avaliação do teor de água com Humidímetro portátil (Fig. 3) |
| | | Avaliação de destacamentos e zonas de penetração de água por Termografia de infravermelhos |
| | | Sondas para monitorização da humidade e da temperatura |
| | | Avaliação da permeabilidade a água sob baixa pressão com Tubos de Karsten (Fig. 4) |
| | | Avaliação da resistência mecânica e do módulo de elasticidade por Ultrassons (Fig. 5) |
| | | Avaliação da dureza superficial através do Durómetro Shore A (Fig. 6) |
| | | Avaliação da resistência superficial através do Choque de esfera e Quadriculagem (Fig. 7) |
| | | Avaliação da resistência interna e da deformabilidade através do Esclerómetro de Pêndulo (Fig. 8) |
| | | Avaliação da resistência interna através da Penetração controlada e da Microporfuração (Fig. 9) |
| | | Identificação de sais solúveis com marcadores de colorimétrico (Fig. 10) |
| | | Determinação da carbonatação com indicador de fenolftaleína |
| | Avaliação da coesão superficial por Riscagem e Abrasão | |
| | Determinação da Aderência ao suporte | |
| | Ensaio laboratoriais | Determinação da Massa volúmica real, Massa volúmica aparente e Porosidade aberta total através do Método da pesagem hidrostática |
| Determinação da distribuição porosimétrica através da Porosimetria de mercúrio | | |
| Determinação da absorção capilar por contacto (Fig. 11) | | |
| Determinação da resistência à compressão através do método do confinamento (Fig. 12) | | |
| Caracterização química (Composição de argamassas antigas) | Análise química | <ul style="list-style-type: none"> • Por via húmida: Dissolução da amostra e determinação dos elementos (resíduo insolúvel, gravimetria, volumetria) • Por via instrumental: Espectrografia de Raios X; Fotometria de chama; espectrofotometria de absorção atómica (EAA); espectrofotometria de emissão de plasma (ICP); Cromatografia iónica |
| | Análise microestrutural | Lupa binocular; Microscopia ótica; Microscopia eletrónica de varrimento (MEV) e Microanálise de Raios X por dispersão de energia (AXDE) |
| | Análise mineralógica | Difracção de Raios X (DRX) |
| | Análise térmica | Termogravimetria (TG); Análise Térmica Diferencial (ATD) |
| | Análise orgânica | Espectroscopia de infravermelho (IV) por transformada de Fourier |



Figura 3: Ensaio com Humidímetro



Figura 4: Ensaio com os Tubos de Karsten



Figura 5: Ensaio com Ultrassons



Figura 6: Ensaio com o Durómetro

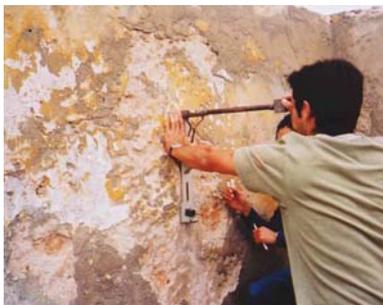


Figura 7: Ensaio de Quadriculagem



Figura 8: Ensaio com o Esclerómetro



Figura 9: Ensaio de penetração controlada



Figura 10: Identificação de sais através dos marcadores colorímetros



Figura 11: Ensaio de absorção capilar por contacto



Figura 12: Amostra antiga com argamassa de confinamento para o ensaio de compressão

3. ARGAMASSAS DE SUBSTITUIÇÃO

Numa intervenção sobre um edifício antigo, a primeira opção deve ser sempre a conservação dos revestimentos existentes, recorrendo a estratégias preventivas, através de planos de manutenção e, quando necessário, a reparações pontuais e a técnicas de consolidação.

Por vezes a opção de conservação não é possível, sendo inviável do ponto de vista técnico e económico, quer devido ao “reduzido valor” do edifício ou dos revestimentos em questão, quer à indisponibilidade dos meios necessários, devendo então recorrer-se a substituições parciais ou totais dos revestimentos.

Em todos os casos, as argamassas de substituição ou de reparação a usar devem ser formuladas tendo em conta as características das argamassas preexistentes, sob pena de se correr o risco de acelerar a degradação [7, 8].

3.1 Critérios de compatibilidade

De acordo com o conhecimento atual, a adequabilidade dos materiais a usar nos revestimentos de substituição prendem-se com critérios de compatibilidade com os elementos pré-existentes.

Identificam-se assim, um conjunto de requisitos que procuram estabelecer uma definição de argamassas compatíveis, dos quais se salientam os seguintes:

- não contribuir para degradar os elementos pré-existentes, nomeadamente as alvenarias antigas;
- ter a capacidade de proteger as paredes;
- ser reversíveis, ou, pelo menos, reparáveis;
- ser duráveis (e contribuir para a durabilidade do conjunto);
- não prejudicar a apresentação visual da arquitetura, nem descaracterizar o edifício.

Para a verificação dos dois primeiros critérios devem ser cumpridas exigências relacionadas com os seguintes aspetos:

- bom comportamento à água: oferecer alguma resistência à penetração da água até ao suporte e não dificultar a sua secagem;
- ter alguma resistência mecânica mas não transmitir tensões elevadas ao suporte;
- não introduzir sais solúveis ao suporte.

Os dois últimos critérios implicam:

- alguma resistência mecânica, mas inferior à dos tipos de suportes sobre os quais se prevê que possam vir a ser aplicados;

- o aderência ao suporte suficiente para garantir a durabilidade mas não tão grande que a sua extração possa afetar a alvenaria; a rotura não pode ser coesiva no seio do suporte;
- o módulo de elasticidade relativamente pouco elevado;
- o reduzida suscetibilidade à fendilhação;
- o bom comportamento ao gelo e aos sais solúveis existentes no suporte.

A verificação do último requisito enunciado depende, para além dos aspetos referidos para os restantes critérios, de uma avaliação estética, a fazer caso a caso. É um requisito relacionado com a composição dos revestimentos, nomeadamente em termos de texturas e características cromáticas, mas também com a tecnologia de aplicação.

Para os casos em que não é possível proceder a uma caracterização completa dos materiais de suporte e das argamassas pré-existentes, foram definidas, com base na experiência adquirida no estudo de argamassas antigas e de argamassas de cal preparadas em laboratório, exigências de compatibilidade gerais, válidas para as argamassas de revestimento da maioria das paredes de alvenaria irregular ("ordinária") nacionais, que se compilam nos Quadros 2 e 3 [7, 9].

Quadro 2: Requisitos estabelecidos para as características mecânicas das argamassas de substituição para edifícios antigos

| Argamassa | Características Mecânicas (MPa) | | | Aderência (MPa) | Comportamento à retração restringida | | | |
|-----------------|---------------------------------|-------------|-------------|---|--------------------------------------|----------|-------|-----------|
| | Rt | Rc | E | | F _{rmáx} (N) | G (N.mm) | CSAF | CREf (mm) |
| Reboco exterior | 0,20 - 0,70 | 0,40 - 2,50 | 2000 - 5000 | 0,1 - 0,3 ou rotura coesiva pelo reboco | < 70 | > 40 | > 1,5 | > 0,7 |
| Reboco interior | | | | | | | | |
| Juntas | 0,40 - 0,80 | 0,60 - 3,00 | 3000 - 6000 | 0,1 - 0,5 ou rotura coesiva pela junta | | | | |

Rt – Resistência à tração por flexão; **Rc** – Resistência à compressão; **E** – Módulo de elasticidade dinâmico por frequência de ressonância; **F_{rmáx}** – Força máxima induzida por retração restringida; **G** – Energia de rotura à tração; **CSAF** = $Rt/F_{rmáx}$ – Coeficiente de segurança à abertura da 1ª fenda; **CREf** = $G/F_r \text{ max}$ – Coeficiente de resistência à evolução da fendilhação.

Quadro 3: Requisitos estabelecidos para as características do comportamento à água e ao clima das argamassas de substituição para edifícios antigos

| Argamassa | Ensaio clássico | | Ensaio com o humidímetro | | | Envelhecimento artificial acelerado |
|-----------------|--------------------|--|--------------------------|-------|----------|---|
| | S _D (m) | C (kg/m ² .min ^{1/2}) | M (h) | S (h) | H (mv.h) | |
| Reboco exterior | < 0,08 | 1 - 1,5 | > 0,1 | < 120 | < 16 000 | Médio: degradação moderada nos ciclos água/gelo |
| Reboco interior | < 0,10 | - | - | | - | |
| Juntas | | 1 - 1,5 | > 0,1 | | < 16 000 | |

S_D - Espessura da camada de ar de difusão equivalente (valor relacionado com a permeância); **C** - Coeficiente de capilaridade; **M** - Atraso na molhagem, definido como o período de tempo decorrente desde o momento da aplicação da água sobre o proveite até a água atingir as sondas, considerando-se que tal acontece quando se verifica uma quebra de tensão elétrica de 5%; **S** - Período de humedecimento, definido como o período de tempo durante o qual o suporte permanece humedecido, considerando-se que tal acontece enquanto a tensão elétrica se mantém abaixo de 95% do seu valor inicial; **H** - Intensidade de molhagem, definida como a quantidade de molhagem sofrida durante o ensaio, ou seja a área situada entre a linha que define a variação da tensão elétrica com o tempo e a linha correspondente ao valor da tensão no estado considerado seco, ou seja, de 95% do valor inicial.

Quando se trata de edifícios de elevado valor cultural, as exigências a estabelecer para as argamassas de reparação ou de substituição devem respeitar ainda requisitos adicionais, devendo ter em vista, não só garantir um bom comportamento e contribuir para a durabilidade do edifício, mas também respeitar a autenticidade histórica quer em termos de materiais quer em termos estéticos [6 a 9].

3.2 Soluções correntes

Os materiais atualmente utilizados para a reparação e conservação dos revestimentos históricos são diversificados, variando desde argamassas muito próximas das correntemente utilizadas nas construções novas (com cimento) até às soluções semelhantes às argamassas antigas, de cal aérea e areia.

As argamassas de cimento, por conterem na sua composição álcalis (sódio e potássio) e outros elementos, que podem, ao reagir com os materiais em contacto, originar sais solúveis, por apresentarem rigidez excessiva e capacidade limitada de permitir a secagem da parede, além de apresentarem um aspeto final muito distinto (em termos de cor e textura da superfície), são consideradas incompatíveis e tal tem sido comprovado por numerosos insucessos em intervenções.

Por outro lado, vários estudos têm apontado a utilização de argamassas de cal aérea como sendo uma solução adequada e compatível para a execução de revestimentos para edifícios antigos, assegurando a proteção das paredes subjacentes e garantindo a sua conservação. Contudo, a cal aérea é um ligante que apresenta grande suscetibilidade às condições do meio ambiente, pelo que a sua prescrição implica, genericamente, utilização em locais em contacto direto com o ar e em ambientes de humidade moderada, dado que o seu endurecimento e desenvolvimento da resistência mecânica ocorre através da carbonatação. No entanto, muitos exemplos com séculos de existência chegam aos nossos dias em boas condições, ainda capazes de desempenhar as suas funções [5,10].

3.3 Resultados experimentais

Os ensaios de laboratório para a avaliação das características das argamassas de substituição devem, na medida do possível, basear-se nos métodos de ensaio constantes nas normas europeias ou internacionais. Por outro lado devem simular, o melhor possível, as situações reais.

Um conjunto de estudos realizados no LNEC ao longo dos últimos anos permitiu compilar os resultados que se sintetizam no Quadro 4 [3], que permitem balizar uma primeira escolha dos materiais a usar em cada situação.

Quadro 4 – Gamas de valores obtidos em estudos do LNEC de argamassas novas para uso em reparação ⁽¹⁾

| Composição | proporções volumétricas ligante : agregado | Características Mecânicas | | | Comportamento à água | |
|------------------------------------|--|---------------------------|-----------|-------------|--|--|
| | | Rt (MPa) | Rc (MPa) | E (MPa) | C (kg/m ² .min ^{1/2}) | Permeabilidade ao vapor de água S _D (m) |
| Cal : agregado | 1:3 | 0,2 - 0,8 | 0,6 - 1,6 | 2300 - 4100 | 1,1 - 1,6 | 0,05 - 0,08 |
| Cal aérea + pozolana : areia | 1:2 a 1:3 | 0,2 - 0,6 | 0,5 - 2,3 | 2500 - 4500 | 1,3 - 2,3 | 0,05 - 0,06 |
| Cal aérea + cal hidráulica : areia | 1:2 a 1:3 | 0,3 - 0,8 | 0,4 - 1,0 | 1600 - 5600 | 1,2 - 1,9 | 0,07 - 0,09 |
| Cal hidráulica : areia | 1:2 a 1:3 | 0,2 - 1,2 | 0,6 - 3,1 | 1100 - 7500 | 1,0 - 2,4 | 0,08 |
| Cal + algum cimento : areia | 1:3 | 0,5 - 0,7 | 0,9 - 5,1 | 3000 - 6500 | 1,0 - 2,0 | 0,10 - 0,11 |
| Cimento : areia | 1:4 | 0,9 - 1,7 | 3,1 - 6,9 | 5500 - 9810 | 0,7 - 1,9 | 0,07 - 0,14 |

⁽¹⁾ Dados baseados em estudos de Ana Velosa, Goreti Margalha, Ana Cristian Magalhães e Ana Fragata, sintetizados por Ana Fragata [3].

Rt – Resistência à tração por flexão; **Rc** – Resistência à compressão; **E** – Módulo de elasticidade dinâmico por frequência de ressonância; **C** - Coeficiente de capilaridade; **S_D** - Espessura da camada de ar de difusão equivalente a 10 mm de argamassa.

Os resultados apresentados no Quadro 4 comprovam que, de acordo com os requisitos estabelecidos, as argamassas com base em cal (simples ou aditivada com pozolanas) são as mais adequadas para revestimentos de paredes antigas. As argamassas bastardas de cal aérea com pequenas percentagens de cimento, apresentam um comportamento mecânico satisfatório, contudo são menos permeáveis ao vapor de água limitando a capacidade de secagem da parede. As argamassas com cimento como ligante principal são demasiado resistentes e rígidas, transmitindo ao suporte esforços elevados e assim degradando as alvenarias antigas. A Cal hidráulica natural apresenta resistências mecânicas bastante satisfatórias, mas é um material de características muito variáveis exigindo uma escolha criteriosa. Recentemente, devido às novas exigências da NP EN 459:2011, a cal hidráulica natural começou a ser produzida com temperaturas de cozedura mais controladas, sem adição de gesso e reduzindo o teor de álcalis, o que torna estes materiais mais compatíveis com as paredes antigas.

4. INVESTIGAÇÃO ATUAL E PERSPETIVAS DE DESENVOLVIMENTO FUTURO

Muitos estudos têm vindo a ser desenvolvidos na tentativa de aumentar a gama de soluções de argamassas de substituição adequadas (vários traços, tipos de cal, adição de materiais com características pozolânicas, etc.), que verifiquem todos os requisitos de compatibilidade e apresentem boa durabilidade e aplicabilidade. As soluções que recorrem a argamassas bastardas (de cal aérea e baixa percentagem de cimento) podem ser adequadas para edifícios sem elevado valor histórico ou arquitetónico, cuja conservação tenha que ser garantida com meios limitados e mão de obra não especializada.

4.1 - Ligantes

Os estudos realizados sobre os vários modos de produção da cal [11 a 13] permitem perceber diferenças significativas em termos de microestrutura e reologia mas não são totalmente conclusivas sobre as vantagens reais do uso de cal produzidas pelos processos ancestrais. Com efeito, o uso de cal em pasta com longos períodos de apagamento é mais trabalhável e tem óbvias vantagens para acabamentos decorativos, mas não está provado que tenha melhores resistências mecânicas, climáticas e ambientais. Por outro lado, as argamassas executadas com cal viva apagada diretamente com a areia húmida em obra, resultam mais resistentes mecanicamente mas mostram também grande heterogeneidade e tendência para a fissuração.

As argamassas de cal aérea e pozolanas são soluções possíveis, mas para cada tipo de pozolanas é necessário estudar as proporções adequadas e as condições de cura ótimas de modo a que ocorra a reação pozolânica e sejam obtidas as características pretendidas [10,14].

Argamassas com cal hidráulica natural, produzidas com as exigências da recente NP EN 459:2011, podem ser boas soluções para obras de reabilitação de edifícios antigos localizados em zonas muito húmidas ou em contacto direto com a água. É assim importante realizar estudos detalhados com estas cal produzidas em Portugal.

4.2 - Agregados

Diversos autores consideram que os principais fatores para a durabilidade e bom comportamento das argamassas de cal se relacionam, em grande parte, com a boa qualidade da cal, dos agregados usados e da sua granulometria.

A influência da natureza da areia, e assim das suas características físicas (absorção de água, porosidade, textura), mecânicas (resistência e deformabilidade), químicas (reatividade), tem sido menos estudada que a influência do ligante, mas tem-se verificado em estudos recentes que é igualmente importante [15,16].

As areias mostram influenciar o comportamento das argamassas; o estudo e a otimização dos agregados, no que se refere quer à curva granulométrica quer à sua natureza e forma, é necessário de modo a determinar a estrutura porosa, o comportamento à água e aos sais e o comportamento mecânico das argamassas.

Segundo Von Konow [17,18] é possível produzir argamassas de cal aérea com diferentes características variando apenas a granulometria das areias presentes na sua composição.

A granulometria do agregado é, sem dúvida, um fator decisivo, ao definir a compactidade e a estrutura porosa da argamassa, e portanto as principais propriedades das argamassas, tais como trabalhabilidade, retenção de água, resistência e durabilidade [1].

Nas argamassas antigas é frequente encontrarem-se agregados com uma granulometria compreendida entre 0 e 4 mm; a utilização de agregado fino nas argamassas, faz aumentar as resistências mecânicas e os agregados de maiores dimensões contribuem para a estabilização do volume das argamassas de cal, que favorece as resistências a longo prazo [2].

Em Portugal é muito comum a utilização de areias provenientes de jazidas e o uso de areias de rio, contudo, a nível Europeu, já existem restrições ao seu uso e por questões ambientais já começam a ser utilizadas, em substituição de uma parte de areia siliciosa, as areias provenientes da britagem, em especial de natureza calcária [4,16,19 a 21].

O estudo dos agregados provenientes da britagem de rochas, além do estudo da natureza da rocha de origem, deixa espaço para a análise da influência da forma do agregado na estrutura da argamassa, que ao ser mais angular origina poros de menores dimensões aumentando a resistência mecânica das argamassas [22]. O grão das áreas britadas é mais áspero e por consequência com uma maior capacidade para aderir ao ligante; contudo, a superfície específica do grão angular é superior à do grão arredondado o que obriga à adição de maior quantidade de água de amassadura para obter a mesma trabalhabilidade, aspeto este que pode ser prejudicial para a argamassa [1].

5. CONCLUSÕES

Os revestimentos de paredes têm um papel relevante na durabilidade e na imagem dos edifícios. Assim, a sua conservação e reparação são decisivas para a preservação do Património construído.

A conservação dos edifícios antigos, sejam eles monumentos ou edifícios correntes, que contribuem para manter o carácter dos centros urbanos e dos bairros históricos, exige conhecimentos diversificados. Este tema tem vindo a ser objeto de investigação do LNEC em diversas áreas científicas. Trata-se de uma matéria verdadeiramente multidisciplinar, exigindo, para o sucesso da obra, especialistas de várias áreas científicas; o LNEC encontra-se particularmente bem equipado ao dispor do equipamento necessário, mas sobretudo de recursos humanos científicos que ao longo do tempo têm vindo a desenvolver projetos em conjunto nessa área, criando também parcerias com outras instituições, a nível nacional e internacional.

O estudo dos agregados e da sua influência na estrutura porosa e, conseqüentemente, nas características e durabilidade das argamassas de cal aérea e hidráulica natural, é uma das áreas em que se pretende concentrar o estudo nos próximos anos. O estudo de materiais pozolânicos e da influência das condições de cura são linhas a prosseguir. As argamassas com cal hidráulica natural são outra das temáticas a desenvolver.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. MARGALHA, M. Goreti et al. – *Influência das areias na qualidade de argamassas de cal aérea*. 2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção – Sob a Égide da Reabilitação. Lisboa, novembro de 2007 (pp. 1-9).
2. STEFANIDOU, M. et al. – *The role of aggregates on the structure and properties of lime mortars*. Cement and Concrete Research, vol. 27, 2005, pp. 914-919.
3. VEIGA, M. Rosário et al. – *Lime-based mortars: viability for use as substitution renders in historical buildings*. International Journal of Architectural Heritage vol. 4 (2), pp.177-195, April-June 2010. Select papers from HMC 2008 – The first Historical Mortars Conference. ISSN 1558-3058.

4. LANAS, J. et al. – *Masonry repair lime-based mortars: Fator affecting the mechanical behavior*. Cement and Concrete Research, vol. 33, 2003, pp. 1867-1876. Pergamon.
5. VEIGA, M. Rosário et al. – *Durable mortars of a portuguese military structure from the XVIth century*. Comunicação apresentada no ICDS12-International Conference Durable structures from construction to rehabilitation. Lisboa: 31 de maio e 1 de junho de 2012.
6. VEIGA, M. Rosário – *Conservação e reparação de revestimentos de paredes de edifícios antigos: métodos e materiais*. Programa de investigação e programa de pós-graduação apresentados para a obtenção do título de habilitação para o exercício de funções de Coordenação de Investigação Científica. Lisboa: LNEC, maio de 2007.
7. VEIGA, M. Rosário et al. – *Conservação e renovação de revestimentos de paredes de edifícios antigos*. Lisboa: LNEC, julho de 2004. Coleção Edifícios, CED 9.
8. MOROPOULOU, A. et al. – *Correlation of physico-chemical and mechanical properties of historical mortars and classification by multivariate statistics*. Cement and Concrete Research 33, 2003, 891-898.
9. VEIGA, M. Rosário et al. – *Argamassas de reboco para edifícios antigos. Requisitos e características a respeitar*. Lisboa: LNEC, outubro de 2002. Cadernos de Edifícios, nº 2.
10. VEIGA, M. Rosário et al. - *Experimental applications of mortars with pozzolanic additions: Characterization and performance evaluation*. Construction and Building Materials 23 (2009) pp. 318 - 327.
11. MARGALHA, M. Goreti – *Ligantes aéreos minerais. Processo de extinção e o fator tempo na sua qualidade*. Lisboa: IST, 2009. Dissertação apresentada para a obtenção do grau académico de Doutor em Engenharia Civil pelo Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa.
12. RODRIGUEZ-NAVARRO, C. et al. - *Nanostructure and irreversible colloidal behavior of Ca(OH)₂: Implications in cultural heritage conservation*. Langmuir, 2005, 21 (24), pp. 10948-57.
13. MARGALHA, M. Goreti et al. – *Traditional methods of mortar preparation: The hot lime mix method*. Cement & Concrete Composites, 33 (2011), pp. 796–804.
14. GAMEIRO, A. et al. – *Hydration products of lime–metakaolin pastes at ambient temperature with ageing*. Thermochemica, Ata, 2012 (em impressão)
15. FRAGATA, A. et al. – *Air Lime Mortars: The Influence of calcareous aggregate and filler addition*. Materials Science Forum, Vols. 636-637, 2010, pp. 1280-1285.
16. BORGES, C. et al. - *Role of aggregates in air lime mortars durability: influence of curing conditions*. ICDS 2012 - International Conference Durable Structures 2012 from construction to rehabilitation. Lisbon, 31 May and 1 June 2012
17. VON KONOW, Thorborg – *Reliable restoration mortars-requirements and composition*. Proceedings of the 4th International Symposium on the conservation of Monuments in Mediterranean, vol. 3 pp. 415-425. Rhodes 6-11 May 1997.

18. VON KONOW, Thorborg – *Aggregate grain size distribution – A major influence on many properties of lime mortars for restoration*. Proceedings of the EUROMAT 2003- European Congress on Advanced Materials and Processes, Symposium P2 – Materials and Conservation of Cultural Heritage, pp. 1-9. Lausanne: 2003.
19. CATINAUD, S. et al. – *Influence of limestone addition on calcium leaching mechanisms in cement-based materials*. Cement and Concrete Research, vol. 30, 2000, pp. 1961-1968. Pergamon.
20. BERUTO, Dario T. et al. – *Calcium carbonate binding mechanisms in the setting of calcium and calcium-magnesium putty-limes*. Journal of Cultural Heritage, vol. 6, 2001, pp. 253-260. Elsevier.
21. ARIZZI, A. et al.. – *Experimental testing of the durability of lime-based mortars used for rendering historic buildings*. Construction and Building Materials, vol. 28, 2012, pp. 807-818. Elsevier.
22. PAVÍA, S. et al. – *Influence of the aggregate quality on the physical properties of natural feebly-hydraulic lime mortars*. Materials and Structures, vol. 41, 2008, pp. 559-569. RILEM, 2007