



LABORATÓRIO NACIONAL  
DE ENGENHARIA CIVIL

DEPARTAMENTO DE EDIFÍCIOS  
Núcleo de Revestimentos e Isolamentos

Proc. 0803/14/15139

# **METODOLOGIA DE DIAGNÓSTICO DE ANOMALIAS DEVIDAS À HUMIDADE EM PAREDES ANTIGAS**

Projecto FCT N.º POCTI/ECM/46323/2002

Lisboa • Março de 2008

**I&D** EDIFÍCIOS

**RELATÓRIO 115/2008 – NRI**



# **METODOLOGIA DE DIAGNÓSTICO DE ANOMALIAS DEVIDAS À HUMIDADE EM PAREDES ANTIGAS**

**(Projecto FCT nº POCTI/ECM/46323/2002)**

## **Resumo**

No âmbito do Projecto de Investigação "*Desenvolvimento de metodologias para a avaliação dos efeitos da humidade em paredes antigas*" (FCT Nº POCTI/ECM/46323/2002), que tem como objectivo principal o estabelecimento de metodologias adequadas para a avaliação e o diagnóstico da degradação de paredes antigas devido à acção da humidade, foram desenvolvidos estudos orientados para a detecção e identificação de anomalias devidas à presença de humidade e para a identificação das suas causas.

Diversas técnicas de ensaio de caracterização de argamassas foram seleccionadas e aplicadas no âmbito do projecto em vários casos de estudo. Com base nas experiências obtidas, foi possível definir uma metodologia de diagnóstico.

O presente relatório inclui uma sistematização dessas técnicas com o fim de integrá-las numa metodologia mais geral e útil para o diagnóstico de anomalias devidas à humidade em paredes antigas.

O relatório inclui ainda uma breve descrição de possíveis estratégias de intervenção a adoptar em edifícios antigos com valor histórico.

**DIAGNOSIS METHODOLOGY OF ANOMALIES DUE TO MOISTURE IN  
ANCIENT WALLS**

**MÉTHODOLOGIE DE DIAGNOSTIQUE D'ANOMALIES DUES À  
L'HUMIDITÉ EN MURS ANCIENS**

**METODOLOGIA DE DIAGNÓSTICO DE ANOMALIAS DEVIDAS À  
HUMIDADE EM PAREDES ANTIGAS**

**(Projecto FCT nº POCTI/ECM/46323/2002)**

**ÍNDICE DO TEXTO**

	<b>Pág.</b>
1. Introdução.....	1
2. Observação geral do edifício e registo dos sintomas das anomalias .....	3
3. Detecção e estudo de zonas com problemas .....	5
3.1. Considerações gerais .....	5
3.2. Termografia de infra-vermelhos .....	5
3.3. Sondas de monitorização da humidade e temperatura .....	7
3.4. Humidímetro portátil.....	9
4. Quantificação das anomalias.....	10
4.1. Considerações gerais .....	10
4.2. Ultra-sons .....	11
4.3. Choque de esfera e penetração controlada .....	14
4.4. Permeabilidade à água sob baixa pressão com os <i>Tubos de Karsten</i> .....	16
4.5. Marcadores colorimétricos para detecção de sais.....	18
5. Quantificação complementar das anomalias.....	19
5.1. Considerações gerais .....	19
5.2. Teor de água (método gravimétrico) .....	19
5.3. Teor de água higroscópico .....	20
5.4. Resistência à compressão .....	22
5.5. Absorção capilar por contacto .....	24
5.6. Porosimetria de mercúrio.....	25
5.7. Difraccção de Raio X (DRX) .....	27
5.8. Porosidade: método da pesagem hidrostática .....	28
6. Diagnóstico .....	30
7. Estratégias de intervenção .....	33
8. Conclusões .....	34
9. Nota Final .....	35
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37

**ÍNDICE DE QUADROS**

	<b>Pág.</b>
Quadro 1 – Classificação da reparabilidade em revestimentos antigos .....	15
Quadro 2 – Adequabilidade de argamassas novas com base em cal. Valores comparativos para as argamassas de substituição [20] .....	15

**METODOLOGIA DE DIAGNÓSTICO DE ANOMALIAS DEVIDAS À  
HUMIDADE EM PAREDES ANTIGAS**

**(Projecto FCT nº POCTI/ECM/46323/2002)**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

	<b>Pág.</b>
Fig. 1- Metodologia de diagnóstico proposta para a avaliação dos efeitos da humidade em paredes antigas.....	3
Fig. 2 – Identificação do número de camadas, da espessura, da textura e da cor do revestimento .....	4
Fig. 3 – Algumas anomalias correntes em paredes de edifícios antigos: humidade de infiltração, destacamento do reboco novo e erosão do reboco antigo (fendilhação) .....	4
Fig. 4 – Detecção de zonas com descolamentos do reboco através da termografia de infravermelhos [5] .....	7
Fig. 5 – Imagens fotográficas (esq.) e termográfica (dir.) de faces (não revestida e revestida) de uma maqueta de alvenaria de pedra durante ensaio de imersão parcial com água [9].....	7
Fig. 6 – Aspecto da sonda miniatura de medição da temperatura e da humidade relativa. Sondas aplicadas numa parede em estudo .....	8
Fig. 7 – Ensaio com o humidímetro portátil em revestimentos antigos e novos.....	9
Fig. 8 – Humidímetro portátil. Classificação do grau de humidade em função dos valores de referência do aparelho utilizado .....	10
Fig. 9 – Ensaio de ultra-sons. Transmissão directa .....	12
Fig. 10 – Ensaio de ultra-sons. Transmissão indirecta.....	12
Fig. 11- Método indirecto ou de transmissão superficial [15] .....	13
Fig. 12 – Ensaio de choque de esfera e de penetração controlada .....	16
Fig. 13 – Esquema dos <i>Tubos de Karsten</i> para superfícies a) verticais e b) horizontais .....	17
Fig. 14 – Ensaio com tubos de Karsten.....	17
Fig. 15 – Ensaio com marcadores colorimétricos para a detecção de sais. Exemplo de variação de cor observável. ....	19
Fig. 16 – Armazenagem de amostras em sacos de plástico devidamente fechados antes da determinação do teor de água pelo método gravimétrico.....	20
Fig. 17 – Curvas de equilíbrio higroscópico (adsorção/desadsorção) de provetes de argamassa de cal e areia e de pedra .....	21

Fig. 18 – Ensaio de resistência à compressão – método do confinamento .....	23
Fig. 19 – Ensaio de absorção de água por capilaridade por contacto: a) realização do ensaio de absorção; b) pesagem da amostra seca + cesto + filtro; c) cálculo da área de contacto da amostra.....	24
Fig. 20 – Equipamento de <i>porosimetria de mercúrio</i> . Preparação e pesagem da amostra para o ensaio. ....	26
Fig. 21 – Exemplos de estruturas porosimétricas de amostras de argamassas antigas: a) curva de distribuição do raio de poros; b) curva acumulativa de intrusão de mercúrio .....	26
Fig. 22 – Análise difractométrica de Raio X de uma amostra de argamassa antiga: compostos cristalinos identificados e difractogramas das fracções global e fina....	28
Fig. 23 – Dispositivo montado para o ensaio de determinação da porosidade através da pesagem hidrostática.....	29
Fig. 24 – Estratégias de intervenção após o diagnóstico .....	33





# METODOLOGIA DE DIAGNÓSTICO DE ANOMALIAS DEVIDAS À HUMIDADE EM PAREDES ANTIGAS

(Projecto FCT nº POCTI/ECM/46323/2002)

## 1. INTRODUÇÃO

No âmbito do Projecto de Investigação "*Desenvolvimento de metodologias para a avaliação dos efeitos da humidade em paredes antigas*" (FCT Nº POCTI/ECM/46323/2002), que tem como objectivo principal o estabelecimento de metodologias adequadas para a avaliação e o diagnóstico da degradação de paredes antigas devido à acção da humidade, foram desenvolvidos estudos orientados para a detecção e identificação de anomalias devidas à presença de humidade e para a identificação das suas causas.

O estudo visa ainda complementar os trabalhos existentes e sistematizar as diversas técnicas conhecidas com o fim de integrá-las numa metodologia mais geral e útil para o diagnóstico de anomalias de paredes antigas. Nesse sentido, incluiu-se numa das fases do projecto a realização de ensaios em laboratório e *in situ* usando métodos de ensaio que se aplicam à determinação de características dos revestimentos de paredes em Portugal.

Os métodos de caracterização das argamassas e de identificação das anomalias devidas à humidade em paredes antigas foram seleccionados com base na experiência e na análise de resultados anteriormente obtidos em vários casos de estudo.

Tendo em conta que a caracterização dos materiais que constituem as paredes são essenciais para entender os mecanismos de degradação causados pela presença de humidade propõe-se uma metodologia de diagnóstico de anomalias devidas à humidade a partir, por um lado da caracterização daqueles materiais constituintes e, por outro lado, da avaliação do seu comportamento.

A metodologia proposta, que dá especial ênfase aos revestimentos das paredes antigas, compreende as seguintes etapas:

- observação geral do edifício e registo dos sintomas das anomalias;
- detecção de zonas com problemas (usando métodos não destrutivos de **análise global** da parede);
- quantificação das anomalias de origem mecânica, física e química (usando métodos não-destrutivos de **análise localizada**): resistência, comportamento à água e existência de sais;

- eventual utilização de métodos destrutivos de **análise localizada** com vista a complementar a quantificação das anomalias detectadas;
- estabelecimento de um diagnóstico final com o objectivo de, quer classificar o estado de conservação da parede dos pontos de vista mecânico, físico e químico, quer definir a causa ou as causas das anomalias detectadas.

A partir do diagnóstico dos problemas detectados relacionados com a humidade, e conhecendo-se o estado de conservação dos revestimentos, é possível definir de forma fundamentada as **estratégias de intervenção mais adequadas**.

A metodologia de diagnóstico desenvolvida baseia-se em várias técnicas disponíveis e já relativamente bem estudadas pelo grupo de investigadores do projecto que tem desenvolvido trabalho na área dos revestimentos de edifícios antigos e é, em síntese, a que se apresenta no fluxograma da Fig. 1.

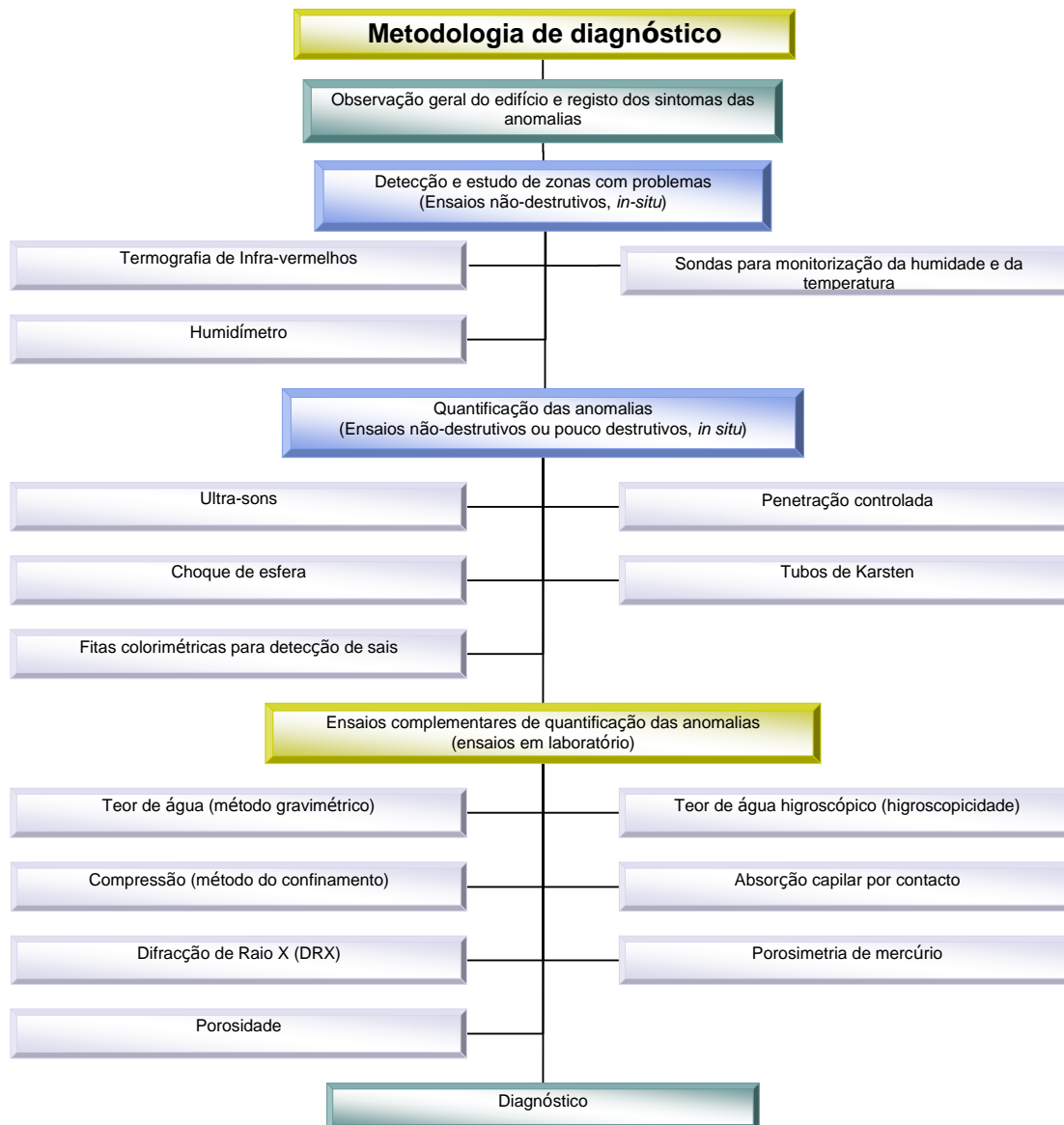


Fig. 1- Metodologia de diagnóstico proposta para a avaliação dos efeitos da humidade em paredes antigas

## 2. OBSERVAÇÃO GERAL DO EDIFÍCIO E REGISTO DOS SINTOMAS DAS ANOMALIAS

A observação visual pode ser realizada para uma primeira avaliação do estado de conservação do edifício devendo sempre recorrer-se ao uso complementar de registos fotográficos.

Uma observação geral do edifício e dos respectivos revestimentos, realizada por um observador experiente e registada em *fichas de obra*, deve permitir: identificar e

registar as anomalias existentes e correspondente gravidade; estabelecer um mapeamento das anomalias; classificar as anomalias por tipo.

A observação deve incluir ainda o estudo das condicionantes extrínsecas ao edifício, como a orientação, os ventos predominantes, a pluviosidade do local, os valores médios e extremos da humidade relativa e da temperatura exteriores e interiores, para prever de que modo estas condicionantes afectam os materiais que constituem as paredes antigas e como contribuem para o processo de degradação.

Sempre que possível, nessa observação devem também ser identificados os tipos de revestimentos presentes no edifício, sua composição e técnica de execução, nomeadamente, número de camadas, espessura, textura e cor (Fig. 2). Neste caso, a investigação implica a selecção prévia de zonas que, previsivelmente, hajam sofrido poucas modificações ao longo do tempo, compreendendo a recolha de amostras do revestimento para a realização posterior de análise em laboratório.

Em paralelo, devem também ser recolhidas amostras de zonas com nível de degradação elevado, necessárias ao estudo dos mecanismos de degradação e à avaliação das características actuais dos revestimentos.



Fig. 2 – Identificação do número de camadas, da espessura, da textura e da cor do revestimento

Em seguida, um diagnóstico preliminar das anomalias com base nos sintomas observados (Fig. 3) pode ser possível logo numa primeira fase. Se por simples observação o diagnóstico não é possível de ser estabelecido, este deve ser fundamentado num estudo mais aprofundado e quantificado, que viabilize uma estratégia de reparação, recorrendo a técnicas experimentais de caracterização [1].



Fig. 3 – Algumas anomalias correntes em paredes de edifícios antigos: humidade de infiltração, destacamento do reboco novo e erosão do reboco antigo (fendilhação)

### **3. DETECÇÃO E ESTUDO DE ZONAS COM PROBLEMAS**

#### **3.1. Considerações gerais**

Após a observação visual o estudo fundamentado orientado para a localização de zonas com problemas é realizado com recurso a métodos de ensaio que permitam uma **análise global** da parede. Com este fim são usadas técnicas não-destrutivas de aplicação *in situ*, de largo espectro, vocacionadas para a detecção de anomalias e para o estudo dos mecanismos de degradação.

Os métodos de ensaio de análise global referidas neste trabalho – termografia de infra-vermelhos e monitorização da humidade e da temperatura com sondas e com humidímetro portátil – têm como objectivo a localização de zonas com problemas e, em particular, a identificação e quantificação de áreas com teores de água elevados e a evolução desses teores ao longo do tempo.

A seguir descrevem-se cada um dos diferentes métodos usados, sua aplicabilidade e limitações.

#### **3.2. Termografia de infra-vermelhos**

A termografia de infra-vermelhos é uma técnica relevante entre os métodos não-destrutivos de diagnóstico de anomalias nos revestimentos já que pode ser utilizada para avaliação do estado de conservação de grandes áreas do revestimento.

O facto de ser uma técnica de utilização rápida e de recorrer a equipamento de pequenas dimensões permite o seu uso em locais de difícil acesso e confere praticabilidade a este método de diagnóstico *in situ*.

O método permite avaliar a distribuição das temperaturas na superfície da parede sem contacto físico directo. O seu funcionamento baseia-se na medição da radiação infra-vermelha emitida (e reflectida) pela superfície da parede que está a ser avaliada. Esta radiação é medida por uma câmara sensível à mesma (numa gama espectral pré-definida) e, posteriormente, convertida e registada sob a forma de imagens térmicas, denominadas termogramas, que, em síntese, permitem a visualização da distribuição das temperaturas superficiais da zona observada.

A análise das imagens obtidas permite relacionar as heterogeneidades térmicas observadas com as características dos materiais e com alguns factores de degradação, nomeadamente os relacionados com a distribuição e evaporação da humidade na parede, e a ocorrência de descolamentos, descontinuidades da superfície, fendas internas (Fig. 4).

Investigações realizadas no LNEC recorrendo à aplicação desta técnica, com vista ao estudo e ao desenvolvimento do seu potencial de aplicação no diagnóstico de anomalias em revestimentos de edifícios antigos [2,3,4,5], tiveram como ponto de partida o facto de os descolamentos localizados dos revestimentos do suporte darem

origem à formação de uma lâmina de ar entre a camada de revestimento e o suporte, a qual introduz uma resistência térmica adicional e localizada. Em condições estacionárias tal resistência térmica adicional conduz à existência de zonas superficiais mais quentes ou mais frias. Em condições não-estacionárias (naturais ou impostas) verifica-se, quer um aquecimento, quer um arrefecimento mais rápidos da zona de revestimento descolado. Assim, em qualquer dos casos criam-se diferenças de temperatura que podem ser detectadas com o equipamento de termografia.

De modo a não se criarem heterogeneidades térmicas indesejadas, o aquecimento dos elementos (ou superfícies) a serem analisadas deve ser homogéneo. Em paredes exteriores de edifícios, por vezes, o aquecimento uniforme da superfície a observar não é fácil de ser realizado. Para que sejam geradas condições que permitam criar e detectar heterogeneidades térmicas devidas a anomalias existentes, em geral, o referido aquecimento resulta de duas circunstâncias: utilização de dispositivos emissores de calor (lâmpadas, resistências eléctricas, ou outras fontes adequadas) e aproveitamento da irradiação solar incidente sobre os paramentos exteriores. Nesta última opção o campo de aplicação do método é restringido a períodos ensolarados (céu descoberto) e a paredes com exposição solar significativa (e sem sombreamentos indesejados). Assim, as condições mais favoráveis para a análise termográfica *in situ* caracterizam-se por uma forte insolação e amplitude térmica elevada [6,7,8], o que requer cuidado na escolha das melhores hora e condições para a realização das análises termográficas.

A Fig. 4 ilustra a utilização da técnica de termografia de infra-vermelhos para detecção de zonas do reboco com problemas de descolamentos; a Fig. 5 ilustra as imagens termográficas obtidas de uma maqueta de alvenaria de pedra durante a imersão parcial com água.

De referir que vários factores podem, no entanto, restringir o uso da termografia no domínio da detecção da presença de água na parede e da evolução do respectivo teor. O método de detecção depende das alterações da temperatura superficial da parede devidas à taxa de evaporação de água ou à alteração das características térmicas dos materiais constituintes. A presença de água influencia as respectivas condutibilidade e capacidade térmicas e, portanto, é sensível a teores de água relativamente reduzidos. Por outro lado a presença de sais dissolvidos pode afectar (reduzir), sensivelmente, a taxa de evaporação superficial, facto que diminui a capacidade desta técnica para detectar a presença de humidade.

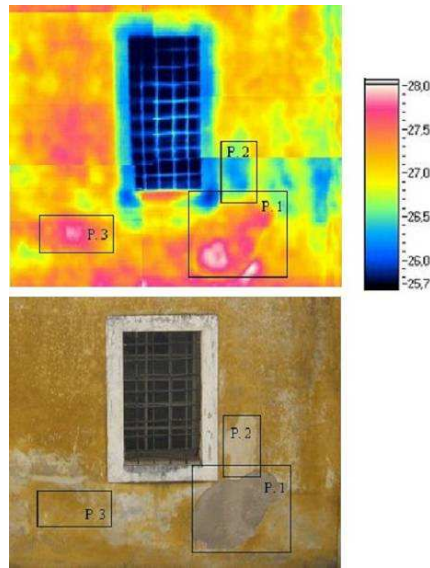


Fig. 4 – Detecção de zonas com descolamentos do reboco através da termografia de infravermelhos [5]

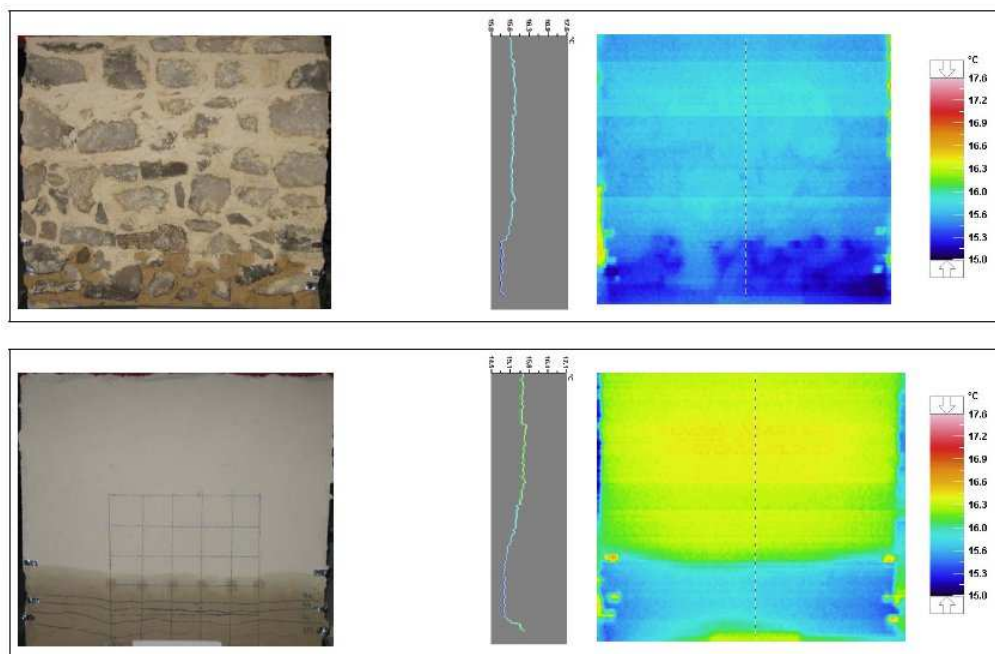


Fig. 5 – Imagens fotográficas (esq.) e termográfica (dir.) de faces (não revestida e revestida) de uma maqueta de alvenaria de pedra durante ensaio de imersão parcial com água [9]

### 3.3. Sondas de monitorização da humidade e temperatura

A medição contínua da humidade e da temperatura junto à superfície ou no interior da parede através de sondas adequadas revela-se um meio auxiliar interessante, quer para complementar as observações termográficas, quer para, de um modo geral, avaliar a evolução do estado higrotérmico do elemento em estudo. As medições são

efectuadas através de sondas miniatura de medição da temperatura e da humidade relativa introduzidas na parede. As sondas mais comuns (e utilizadas no presente estudo de investigação, Fig. 6) dispõem de uma resistência de platina, para medição da temperatura, e de um sensor capacitivo para medição da humidade relativa.

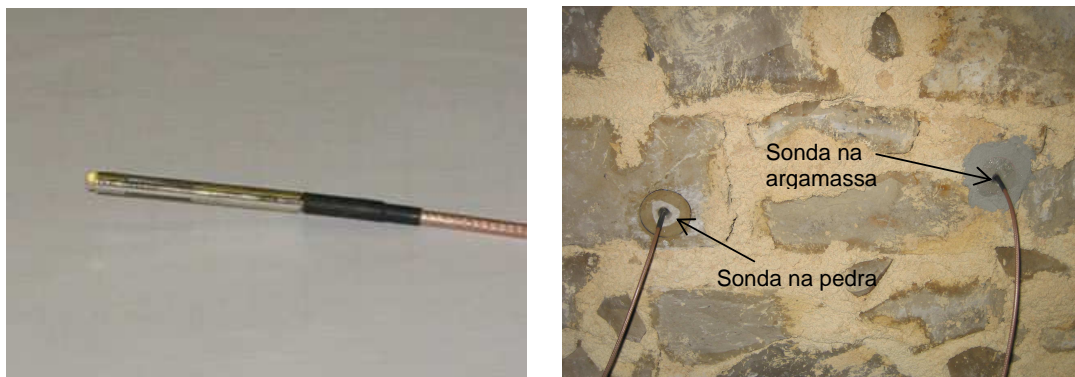


Fig. 6 – Aspecto da sonda miniatura de medição da temperatura e da humidade relativa. Sondas aplicadas numa parede em estudo

As sondas, com um diâmetro de 5 mm e um comprimento de 50 mm, são introduzidas no interior de furos abertos na parede. Os furos, com pequeno diâmetro (da ordem de 8 mm), têm uma profundidade definida e variável em função do objectivo pretendido.

A temperatura e humidade relativa medidas no interior dos furos estão em equilíbrio com o estado higrométrico da espessura de parede abrangida e envolvente desses furos. Deste modo é possível, por exemplo, detectar na zona instrumentada, quer a variação do teor de água (líquida ou higroscópica) da parede, quer o seu súbito humedecimento por capilaridade (ascensão capilar ou infiltração superficial).

Estas sondas permitem, ainda, complementar a informação sobre o estado de humedecimento das paredes quando as observações visuais ou termográficas já não permitem identificar a presença de quantidades significativas de água (líquida) nas paredes [10].

Nos estudos efectuados até ao momento com paredes de alvenaria irregular de pedra, espessas e heterogéneas, constatou-se que a humidade relativa indicada pelas sondas se mantém em valores elevados, mesmo um longo período após a molhagem, confirmando que paredes desta natureza, como os paredes antigas de pedra de um modo geral, retêm água líquida no seu interior durante um período de tempo muito prolongado.

Por outro lado tem-se verificado que quando ocorre a saturação do ambiente interior dos furos ( $HR \approx 100\%$ ), ou mesmo condensações superficiais nas sondas, estas revelam dificuldade em recuperar a capacidade de efectuar leituras correctas e, portanto, de acusar as evoluções registadas no estado higrotérmico da parede.



### 3.4. Humidímetro portátil

O humidímetro portátil é um instrumento bastante simples utilizado para avaliar o teor de água das paredes, através de dois eléctrodos em forma de agulhas ou de sondas de profundidade (Fig. 7) a introduzir nos elementos a ensaiar [11,12]. Esta técnica, que se baseia na variação da resistência eléctrica dos materiais em função do respectivo teor de água, é utilizada em termos comparativos e não absolutos, e pode ser uma ferramenta bastante útil na detecção de zonas com elevado teor de humidade e na determinação das causas desse fenómeno. O seu campo de aplicação é diverso, podendo ser utilizado em materiais como a madeira, o betão, rebocos, gessos, etc. Em geral, os valores obtidos permitem estimar as variações do estado de humedecimento do revestimento de uma parede em condições naturais.

Os valores de referência da escala do humidímetro correspondem a valores para materiais definidos (betão, gesso, madeira, etc.) e, portanto, para as aplicações relevantes para o presente estudo torna-se necessário uma adaptação daqueles valores para as argamassas utilizadas nas alvenarias. Assim, os valores obtidos nos ensaios correntes com o humidímetro têm validade apenas e para efeitos de comparação.

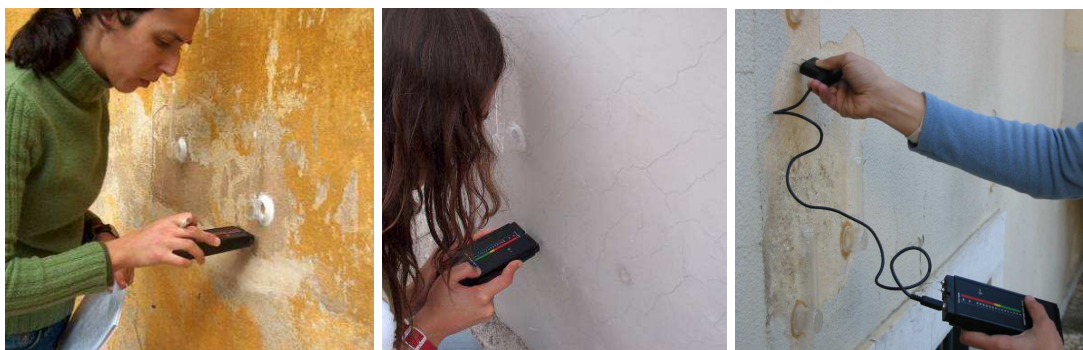


Fig. 7 – Ensaios com o humidímetro portátil em revestimentos antigos e novos

No caso de materiais muito heterogéneos, como os rebocos, as medições mais correlacionáveis com a realidade – com o aparelho ilustrado na Fig. 8 – são as que se situam próximas do zero (condição em que o material está seco) ou do máximo da escala (material muito húmido). De referir que a presença de sais pode alterar os resultados obtidos [12].



Fig. 8 – Humidímetro portátil. Classificação do grau de humidade em função dos valores de referência do aparelho utilizado

De um modo geral, a técnica é de utilização bastante rápida e prática. Os seus resultados, embora comparativos e não absolutos, permitem detectar zonas do reboco com diferentes teores de humidade. O carácter heterogéneo das argamassas, no entanto, faz com que seja necessária a realização de grande número de medições de forma cuidada e sistematizada, bem como a identificação e avaliação de possíveis fontes de erro.

#### 4. QUANTIFICAÇÃO DAS ANOMALIAS

##### 4.1. Considerações gerais

As anomalias de origem mecânica, física ou química podem ser quantificadas através de métodos de aplicação mais localizada, que fornecem informação sobre as respectivas causas e sobre os mecanismos de degradação ocorridos.

De um modo geral convém que previamente aos ensaios a realizar sejam sistematizadas as informações sobre as características dos revestimentos e seja definido o nível de degradação dos revestimentos com base na análise visual.

Como se trata de ensaios mais localizados, as zonas para a sua realização devem ser seleccionadas procurando ter em conta, por um lado a diversidade de características e por outro a existência de áreas suficientemente regulares para possibilitar a realização dos ensaios nas melhores condições possíveis.

Propõe-se, à partida, uma classificação, quer pela tipologia de anomalia mais relevante em cada caso – por exemplo, descolamento do reboco do suporte ou perda

de coesão –, quer pelo correspondente grau de degradação ocorrida. Deste modo serão realizados ensaios em zonas com diferentes tipos e níveis de degradação para haver possibilidade de comparação de resultados.

Assim, quando a perda de aderência é a anomalia predominante, devem ser seleccionados trechos de reboco com um certo grau de “descolamento” do suporte, e trechos de reboco com boa aderência ao suporte. Todavia, com frequência a classificação das zonas mais ou menos descoladas pode ser relativa face à grande dificuldade em distinguir com precisão as zonas descoladas das zonas bem aderentes. Quando a perda de coesão é mais significativa, deve fazer-se a análise em relação a esta anomalia. Quando existirem ambas, terá que ser feita uma análise conjunta. Uma aproximação do mesmo tipo pode ser adoptada face a outras anomalias, se tal se justificar, ou seja, se for previsível que impliquem diferenças significativas das características a avaliar.

Descrevem-se a seguir os métodos de ensaios *in situ* não-destrutivos ou pouco destrutivos usados na avaliação das características mecânicas – ultra-sons, choque de esfera e penetração controlada –, na avaliação do comportamento à água – tubos de Karsten – e na detecção da presença de sais – fitas colorimétricas.

#### **4.2. Ultra-sons**

Nos revestimentos de paredes, a técnica de análise por meio dos ultra-sons é usada para a eventual localização de possíveis zonas degradadas (nomeadamente fendas, perdas de aderência e de coesão) [6,14] e, em combinação com outros métodos de ensaio não-destrutivos, permite complementar as informações no que se refere à resistência dos materiais e ao seu estado de conservação. É uma ferramenta útil para avaliar a compatibilidade de revestimentos de substituição em edifícios antigos.

A técnica baseia-se na emissão de vibrações acústicas de alta frequência<sup>1</sup> que ao atravessarem os materiais sofrem alterações da respectiva velocidade de propagação que permitem detectar alterações significativas nas características desses materiais. O ensaio consiste em colocar os transdutores emissor e receptor em contacto com a superfície do material a analisar, em posições previamente definidas, após o que serão emitidas e detectadas ondas ultra-sónicas, respectivamente pela fonte emissora e pelo receptor.

Os transdutores podem ser dispostos: em faces opostas (transmissão directa, Fig. 9); em faces adjacentes (transmissão semi-directa) ou na mesma face (transmissão indirecta ou superficial, Fig. 10). No método indirecto, as leituras são efectuadas com o transmissor e o receptor localizados a diferentes distâncias; o transmissor é

---

<sup>1</sup>As ondas são transmitidas a frequências superiores a 20000 Hz. O emissor actua como um “altifalante” de altas frequências, o receptor actua como um “microfone”.

colocado num ponto fixo e o receptor move-se em pontos escolhidos ao longo de uma linha (Fig. 11).

A avaliação dos revestimentos antigos é efectuada usando o método indirecto, dado que não há acesso à face do revestimento que está em contacto com a parede. No entanto, há que ter em conta que neste método o sinal recebido depende do percurso da onda devida a descontinuidades diversas, reflectindo-se na medida do seu comprimento, o que exige grande cuidado na utilização desta técnica.

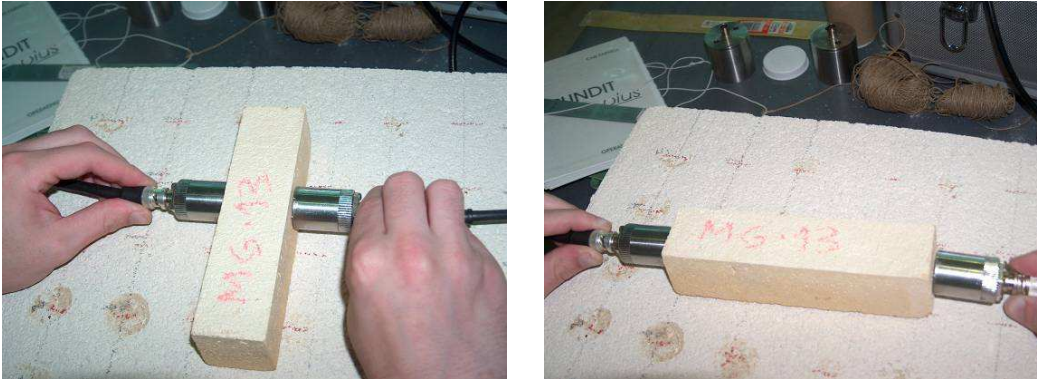


Fig. 9 – Ensaios de ultra-sons. Transmissão directa

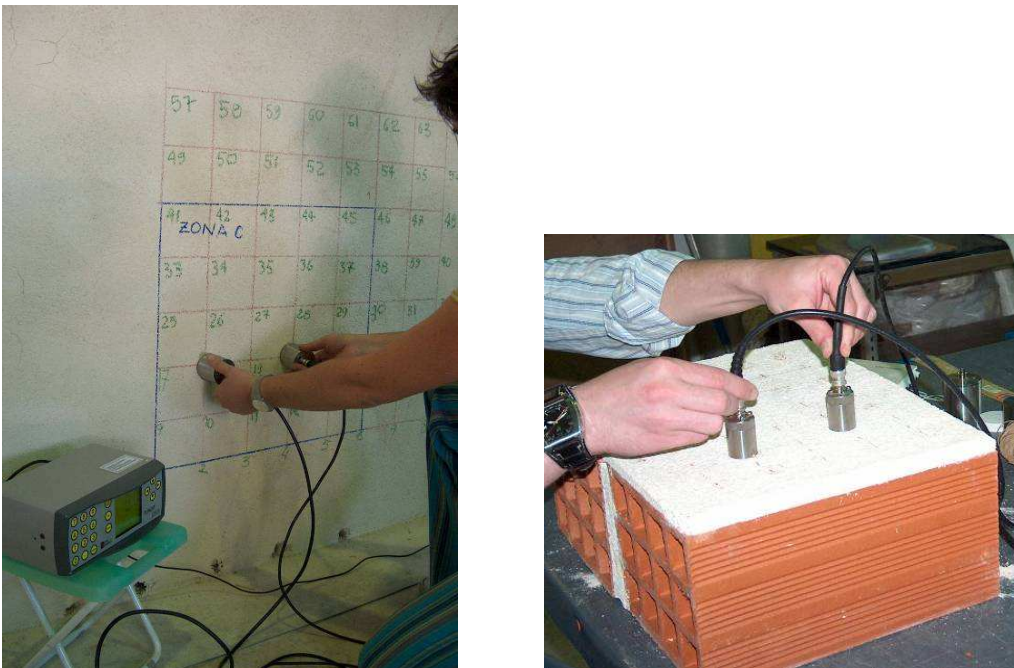


Fig. 10 – Ensaios de ultra-sons. Transmissão indirecta

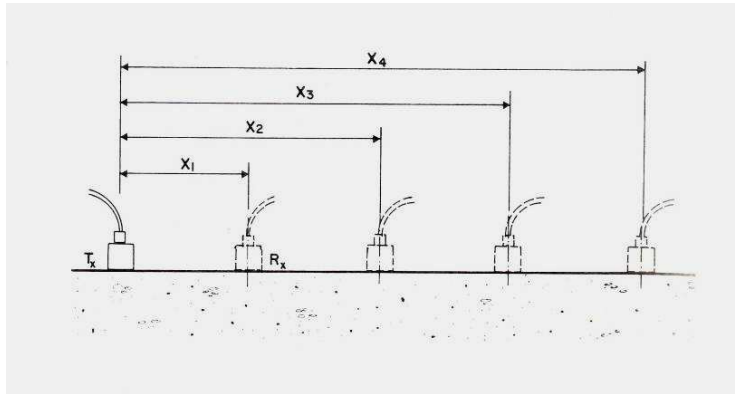


Fig. 11– Método indirecto ou de transmissão superficial [15]

Em geral, os transdutores usados em paredes antigas são os mesmos utilizados para o betão, sendo mais comum encontrar os de frequência da ordem de 50 kHz.

Os transdutores podem ser classificados em transdutores de face (standard) e transdutores exponenciais. Nestes últimos o contacto com a superfície a ensaiar é apenas pontual, não necessitando de material de acoplamento (gel, vaselina, etc.) entre a face do transdutor e a superfície. Em edifícios históricos muitas vezes o uso de material de melhoria de contacto não é permitido já que pode deixar resíduos na superfície. Os transdutores exponenciais oferecem ainda vantagens sobre os outros transdutores em superfícies rugosas ou curvas. No entanto, a interpretação dos sinais obtidos através deste tipo de transdutores requer cuidados particulares, já que apresentam uma maior incerteza no que respeita à medição do tempo de transmissão da onda em relação aos transdutores de face [16].

Em geral os resultados dos ensaios realizados em paredes espessas e com características bastante heterogéneas, como é o caso das paredes antigas (e mais em particular das argamassas antigas), indicam que a técnica de ensaio exige uma investigação meticulosa, compreendendo a sua calibração prévia para cada tipo de argamassa ou de alvenaria a estudar e a realização de um grande número de medições com o objectivo de possibilitar uma interpretação correcta dos dados adquiridos. A estrutura interior do elemento construtivo influencia de modo significativo o tempo de propagação dos ultra-sons já que diversos factores que afectam as características mecânicas do material podem influenciar a velocidade de propagação da onda ultra-sónica, como o tipo e o tamanho do agregado, o teor de humidade, etc.

Nos estudos efectuados no âmbito do projecto ainda não foi possível estabelecer a correspondência entre valores obtidos com esta técnica e as características mecânicas

do material correntemente usadas, como a resistência à compressão e o módulo de elasticidade [6,14].

As zonas com fissuração e de micro-fissuração generalizada podem ser melhor identificadas através dos ultra-sons, pela medição de velocidades reduzidas de propagação. Esta técnica tem maior eficácia como meio complementar de diagnóstico, após a análise termográfica, nas zonas detectadas como degradadas. Como termo de comparação, a sua utilização em pontos francamente fora dessas zonas possibilita uma análise mais fina e mais quantificada e fornece novos dados.

#### **4.3. Choque de esfera e penetração controlada**

Ambos os ensaios, de choque de esfera e de penetração controlada, são realizados com o aparelho *Martinet Baronnie*. Em combinação com outras técnicas constituem um adequado meio auxiliar de diagnóstico para os revestimentos, além de constituírem um instrumento para definição de medidas a tomar em possíveis intervenções.

O ensaio de choque de esfera consiste na aplicação de um choque de corpo duro transmitindo uma energia de 3 J, aplicada por uma esfera de aço de cerca de 50 mm de diâmetro; este ensaio dá informação sobre a deformabilidade do revestimento (ver Anexo II - FE Pa 25). A resistência ao choque é avaliada a partir do diâmetro da moosa provocada e do tipo de degradação resultante (existência ou não de fendas e de perfuração) [17,18,19].

O ensaio a que se deu a designação de *penetração controlada* foi desenvolvido no Projecto *Old Renders* [17] e consiste em provocar a penetração de um prego de aço no revestimento de parede. O prego de aço é guiado por um acessório fixado ao aparelho *Martinet Baronnie* para garantir a perpendicularidade do choque (Fig. 12). Sempre que possível realiza-se o ensaio de penetração com recurso a três pancadas; após cada choque, com energia constante, é registado o incremento da profundidade de penetração obtida na argamassa. Este ensaio permite, assim, avaliar a resistência de cada camada e pode ser útil para obter informação sobre a resistência mecânica das camadas internas, permitindo uma avaliação do seu estado de conservação [17,18].

Estes métodos de ensaio são relativamente rápidos, requerendo apenas alguns segundos para as respectivas leituras. No entanto a informação obtida é localizada pelo que se requer a realização de uma série de medições nas diferentes zonas ensaiadas.

A aplicação destes ensaios em edifícios antigos foi precedida pela realização de ensaios preliminares em paredes experimentais da Estação Natural de Ensaios do LNEC com o objectivo de se estabelecerem valores de comparação para revestimentos

novos e, ainda, de se calibrarem os respectivos ensaios para o uso em revestimentos antigos.

A correlação dos resultados obtidos na aplicação dessas técnicas em diversos casos de estudo com diferentes características e uma análise global dos revestimentos degradados permitiu definir uma classificação baseada na deformabilidade e na resistência à penetração sob o ponto de vista da reparabilidade de revestimentos antigos [20], que se apresenta no Quadro 1. De um modo geral, o decréscimo da resistência à penetração em profundidade do revestimento indicia perda de coesão. Nesses casos, pode ser necessário recorrer a medidas no revestimento como a consolidação ou substituição parcial ou total.

No que se refere aos revestimentos de substituição com base em cal, a correlação dos resultados permitiu definir uma classificação (Quadro 2), com base na sua adequabilidade – aceitação ou não aceitação –, a partir de um critério de valores mínimos de resistência considerados aceitáveis para revestimentos com argamassas novas [20].

Quadro 1 – Classificação da reparabilidade em revestimentos antigos

Classe*	Reparabilidade	Choque de esfera ( $\emptyset$ , mm)	Penetração controlada (mm)
1	Impossibilidade de reparação: extracção parcial ou total	$\geq 15$	$> 5$
2	Possibilidade usando técnicas de consolidação	$> 13$	$> 3$
3	Possibilidade de conservação: manutenção (limpeza, uso de biocidas, etc.) e reparação pontual (se necessária)	$\leq 13$	$\leq 5$

\*1 a 3 – Da menor à maior reparabilidade

Quadro 2 – Adequabilidade de argamassas novas com base em cal. Valores comparativos para as argamassas de substituição [20]

Idade	Adequabilidade	Choque de esfera ( $\emptyset$ , mm)	Penetração controlada (mm)
3 meses a 1 ano	Aceitável	$\leq 18$	$\leq 7$
$\geq 3$ anos	Aceitável	$\leq 14$	$\leq 6$



Fig. 12 – Ensaio de choque de esfera e de penetração controlada

#### **4.4. Permeabilidade à água sob baixa pressão com os Tubos de Karsten**

A técnica de ensaio, descrita na Ficha de Ensaio do LNEC FE Pa 39 [21], é baseada na metodologia adoptada pela RILEM [22] e consiste em medir a quantidade de água absorvida por uma determinada superfície do reboco, ou de acabamento, após um período de tempo definido, empregando para isso um conjunto de pequenos tubos de vidro graduados, em forma de cachimbo, que são fixados às zonas da parede objecto de estudo. São utilizados dois tipos de tubos: tubos adaptados para superfícies verticais e para superfícies horizontais (Fig. 13).

As leituras da quantidade de água absorvida pelo revestimento são efectuadas com base na redução do nível de água observado nos tubos graduados. Em geral usam-se três tubos em cada zona a ensaiar para ter em conta a heterogeneidade do material. As leituras são, em geral, efectuadas aos 5, 10 e 15 minutos, prolongando-se muitas vezes até aos 30 minutos ou mesmo até aos 60 minutos, sempre que o nível de água nos tubos ainda permita a leitura.



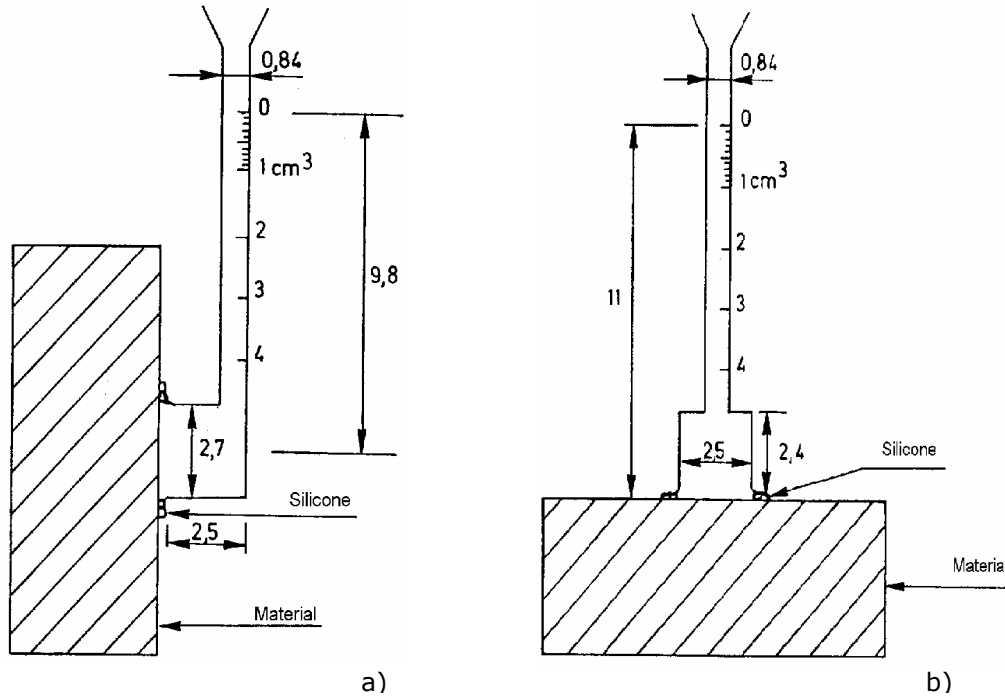


Fig. 13 – Esquema dos *Tubos de Karsten* para superfícies a) verticais e b) horizontais

A medição da permeabilidade à água por meio deste método pode ser usada para caracterizar, qualitativamente, o estado em que se encontra o reboco; assim, analisando comparativamente as alterações superficiais que modificam a absorção de água pelo reboco, é possível estimar o grau de degradação do material.

O método revela algumas dificuldades no que se refere à fixação dos tubos nas zonas de revestimentos que apresentam alguma degradação, em particular se estas apresentam irregularidades bastante evidentes (Fig. 14).

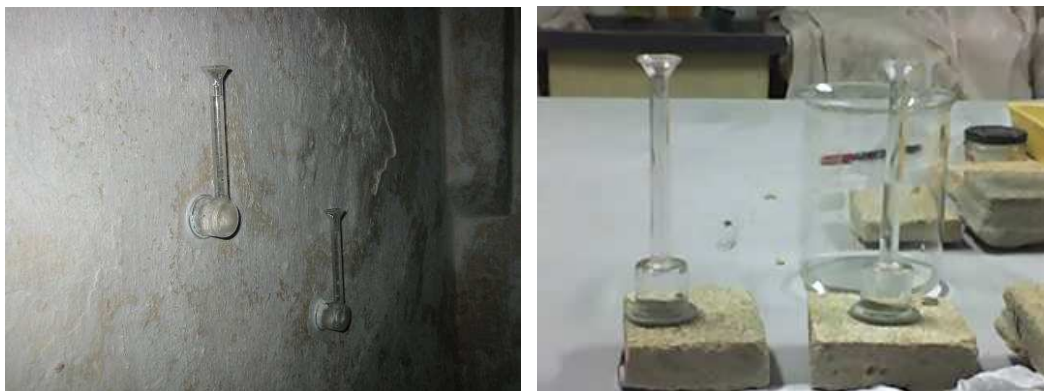


Fig. 14 – Ensaios com tubos de Karsten

Por outro lado, a dificuldade na raspagem do acabamento (caiação, pintura, etc.), não permitindo a aplicação dos tubos directamente sobre o reboco propriamente dito, muitas vezes faz com que os resultados obtidos não possam ser considerados

representativos da permeabilidade à água do reboco. O nível de degradação, as espessuras variáveis das camadas de revestimento e o seu teor de água podem de alguma forma influenciar a maior ou menor absorção de água numa mesma zona.

#### **4.5. Marcadores colorimétricos para detecção de sais**

Este ensaio é usado na identificação de um ião específico, recorrendo-se a marcadores colorimétricos (Fig. 15) que, quando imersos numa solução ou em contacto com uma superfície humedecida, variam a cor, conforme a concentração de iões presentes no líquido ou na superfície a ensaiar; é portanto possível efectuar, de forma simples e rápida, a identificação de um determinado tipo de ião presente no material a ensaiar, e, em consequência, do tipo de sais presentes (que contêm esse ião) [23].

Em geral, em revestimentos antigos, os marcadores mais correntemente usados são os de iões cloretos, sulfatos, nitratos e nitritos.

Os iões cloretos e sulfatos presentes em revestimentos de edifícios podem estar relacionados com a proximidade de linhas de água sob o edifício, devido à maior incidência de fenómenos de capilaridade ascendente que favorecem a dissolução e transporte de sais na parede. A presença de nitratos e de nitritos nos revestimentos indicia que a origem de humidade poderá estar no terreno [12]. A ocorrência de nitritos em particular indicia também que a fonte de alimentação de água poderá ainda estar em actividade ou que esteve activa no interior das paredes dos edifícios até um período recente, porque estes sais são muito instáveis.

A técnica de ensaio é bastante simples, de fácil e rápida utilização, podendo ser aplicada não só directamente sobre a superfície do revestimento, mas também em laboratório, recorrendo a amostras recolhidas *in situ*. Por ser um ensaio muito pontual, torna-se necessário realizar várias determinações numa mesma zona para uma maior fiabilidade do ensaio. Algum cuidado deve ter-se na interpretação da variação de cor nos marcadores já que esta é que irá indicar a concentração dos iões presentes.

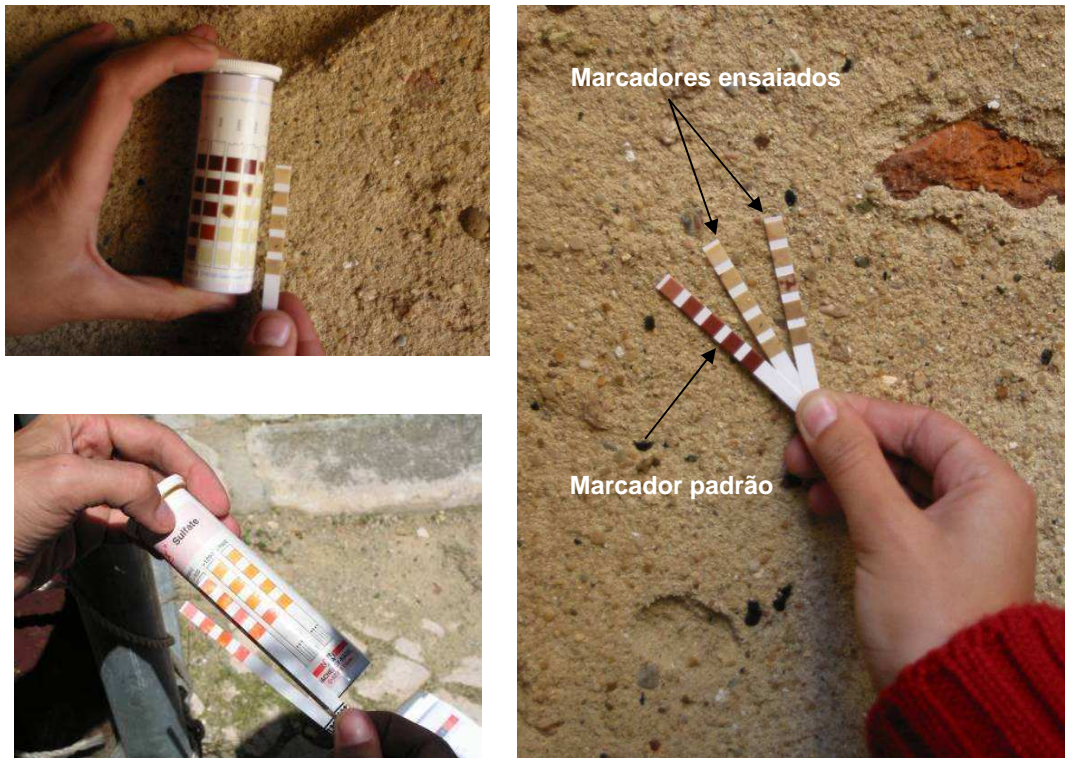


Fig. 15 – Ensaio com marcadores colorimétricos para a detecção de sais. Exemplo de variação de cor observável.

## 5. QUANTIFICAÇÃO COMPLEMENTAR DAS ANOMALIAS

### 5.1. Considerações gerais

Para esclarecimento de alguns aspectos menos claros pode ser necessário recorrer a técnicas complementares de diagnóstico que exigem a extracção de amostras de revestimentos antigos do edifício em estudo.

As técnicas são de um modo geral aplicadas em laboratório de forma suficientemente rigorosa para permitir a determinação de características importantes dos revestimentos.

### 5.2. Teor de água (método gravimétrico)

Embora seja uma técnica de carácter destrutivo, o método gravimétrico é o mais fiável para a determinação do teor de água de um dado material [12]. A técnica consiste na pesagem da amostra recolhida em obra, no seu estado “natural”, e na respectiva pesagem após secagem em estufa a uma temperatura especificada em

função do tipo de material <sup>(2)</sup> [24]. O teor de água do material é calculado através da diferença de massas da amostra no estado inicial e após secagem. Os resultados são, portanto, expressos em percentagem mássica, referida à massa no estado seco

A partir desta técnica é possível indicar se a origem da humidade está relacionada com a ascensão capilar, quando se detecta, por exemplo, a existência de zonas de revestimento com teores de água elevados, quer em condições de tempo seco (Verão), quer em tempo húmido (Inverno) e se verifica não haver outras causas de alimentação permanente de água (como, por ex., a rotura de tubagens).

Um cuidado especial deve ter-se ao efectuar-se a recolha e a armazenagem temporária da amostra para que esta não perca humidade antes da primeira pesagem (Fig. 16).

O método de determinação do teor de água por gravimetria encontra-se descrito em [7], na Ficha de Ensaio 1. Apresenta a vantagem de não serem necessárias amostras de formato regular e de grande dimensão. Convém, no entanto, proceder à recolha de pelo menos duas amostras na zona da parede que se deseja analisar para que seja possível realizar mais do que uma determinação do teor de água visando uma maior fiabilidade dos resultados.



Fig. 16 – Armazenagem de amostras em sacos de plástico devidamente fechados antes da determinação do teor de água pelo método gravimétrico

### 5.3. Teor de água higroscópico

A análise da humidade higroscópica de um material juntamente com outras características relevantes para o respectivo comportamento à água (absorção capilar, teor de água, porosidade) pode permitir uma melhor compreensão dos fenómenos relacionados com o transporte de água sob a forma líquida e de vapor no interior das

---

<sup>2</sup> Materiais que não mudam de estrutura até 105°C (nomeadamente, materiais minerais): 105±2°C. Materiais em que podem ocorrer mudanças na estrutura (caso de muitos materiais orgânicos): 70±2°C. Gessos e materiais semelhantes em que temperaturas relativamente elevadas podem retirar a água de cristalização: 40±2°C.

paredes e, conseqüentemente, uma melhor interpretação dos efeitos da humidade sobre estas [25].

Para a determinação do teor de água higroscópico – *humidade higroscópica* ou ainda *higroscopicidade*<sup>(3)</sup> – as amostras de argamassa recolhidas em obras são estabilizadas, até massa constante, em ambientes de condicionamento caracterizados por diferentes pares de temperatura e de humidade relativa que permitem determinar os correspondentes teores de humidade de equilíbrio. A partir destes teores de equilíbrio obtêm-se curvas de adsorção / desadsorção higroscópica (Fig. 17), que relacionam, para uma dada temperatura, o teor de água de equilíbrio do material com diferentes valores da humidade relativa do ar. As curvas de adsorção são obtidas a partir de um ciclo ascendente de humidades relativas de condicionamento; as curvas de desadsorção obtêm-se a partir do ciclo descendente inverso.

Nalguns materiais higroscópicos as curvas de adsorção / desadsorção não são coincidentes, revelando uma histerese significativa, ou seja, uma maior quantidade de água conserva-se adsorvida durante a fase de secagem quando comparada com a fase de humedecimento.

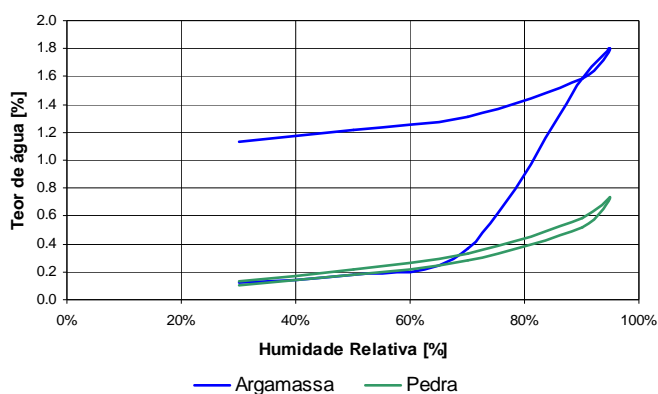


Fig. 17 – Curvas de equilíbrio higroscópico (adsorção/desadsorção) de provetes de argamassa de cal e areia e de pedra

O método de ensaio utilizado correntemente para amostras de argamassas encontra-se descrito em [12], na Ficha de Ensaio 2, que determina que as determinações periódicas de massa do material devem efectuar-se sob diferentes pares de temperatura e humidade relativa, com balança de alta precisão.

No presente estudo a metodologia de ensaio para determinação do teor de água higroscópico de amostras de argamassas adoptada compreendeu as seguintes fases:

- i) secagem prévia das amostras em estufa ventilada à temperatura de 60°C;

<sup>3</sup> Higroscopicidade, ou teor de humidade higroscópica de um material de construção, é definida como o teor de humidade de equilíbrio do material quando submetido a condições bem determinadas de temperatura e humidade relativa do ar, até que atinja massa constante.

ii) condicionamento das amostras numa câmara higrotérmica consistindo na exposição, para cada valor constante da temperatura (10°C, 20°C e 30°C), a um incremento gradual de humidade relativa (30%, 50%, 70%, 90% e 95%) até atingir, em cada ambiente, massa constante;

iii) ainda para cada temperatura de condicionamento, exposição das amostras a um decréscimo da humidade relativa (95%, 90%, 70%, 50% e 30%), até atingir de novo massa constante em cada caso [25].

O método de determinação do teor de água higroscópico, quando usado de uma forma sistematizada – com base numa recolha de amostras a diferentes alturas e profundidades da parede, com as quais se realizam ensaios de teores de água e de higroscopicidade – permite um diagnóstico mais exacto da origem da humidade devido a fenómenos de higroscopicidade, sendo possível conhecer melhor, a partir daí, as variações dos teores de água do revestimento ao longo da parede. Na prática verifica-se, no entanto, que nem sempre é possível efectuar em obra esta avaliação sistemática.

Do mesmo modo, também nem sempre é possível a extracção completa da camada de acabamento (caiação, pintura ou barramento do reboco) com o objectivo de deixar o reboco à vista e minimizar assim a influência do acabamento na absorção do vapor de água, o que pode mascarar os resultados.

#### **5.4. Resistência à compressão**

A aplicação e adequabilidade deste método ao estudo das amostras antigas de rebocos têm vindo a ser objecto de estudo no LNEC [26]. O método desenvolvido num projecto conjunto entre o LNEC, a Universidade de Ljubljana (Eslovénia) e o Institute of Theoretical and Applied Mechanics (República Checa) [27] consiste na realização do ensaio de compressão em amostras irregulares recolhidas *in situ*, recorrendo a uma argamassa de confinamento com resistência superior à que se pretende ensaiar, e utilizando a prensa convencional para ensaios de compressão de provetes prismáticos de reboco (EN 1015-11 [13]).

As amostras extraídas em obra são adaptadas a um molde especial recorrendo a uma “argamassa de confinamento” aplicada, com pelo menos 10 mm de espessura, na regularização de duas faces paralelas (tanto quanto possível) das amostras irregulares. Deste modo pretende-se que a amostra seja uniformemente comprimida pelos “pratos” do equipamento usado na realização dos ensaios de resistência à compressão preconizados na EN 1015-11 [13] (Fig. 18). A argamassa de confinamento é aplicada em fresco sobre a amostra e, como se referiu, deve ter resistência superior à da amostra do revestimento que se pretende ensaiar, sendo em geral composta de cimento e areia ao traço ponderal 1:3 (CEM II, 32,5: areia). Após a

aplicação da argamassa de confinamento, deve aguardar-se um período mínimo de 15 dias antes de se realizar o ensaio de compressão. O ensaio é realizado conforme o procedimento prescrito na EN 1015-11 [13].

A área e a espessura da argamassa de confinamento em contacto com a superfície das amostras do revestimento podem variar em função das irregularidades destas e da altura disponível na máquina de compressão. Na medida do possível deve assegurar-se que o provete assim constituído apresenta uma superfície plana e perpendicular ao eixo da máquina de compressão. A área superficial de contacto da argamassa de confinamento com a máquina deve ter dimensões de 40 mm x 40 mm.



Fig. 18 – Ensaio de resistência à compressão – método do confinamento

Os valores obtidos através do método de ensaio de determinação da resistência à compressão de amostras irregulares, embora possam não ser rigorosos em termos absolutos, permitem, quer extrair conclusões acerca da resistência mecânica dos revestimentos de edifícios antigos, quer, juntamente com os valores do coeficiente de absorção de água por capilaridade, formar uma ideia acerca do estado de conservação dos revestimentos, contribuindo para validar, em maior ou menor grau, os resultados da análise visual.

### 5.5. Absorção capilar por contacto

A técnica de ensaio de absorção capilar de amostras irregulares e friáveis desenvolvida no LNEC [28] e adaptada da norma EN 1015-18 [29] consiste na realização de pesagens periódicas da amostra colocada dentro de um cesto de rede metálica, sobre uma tela de geotêxtil saturada de água e mantida em contacto permanente com a água de uma tina (Fig. 19). As pesagens são feitas a cada 5 minutos durante os primeiros 40 minutos e posteriormente aos 60, 90, 180, 300, 480 e 1440 minutos. A água absorvida é determinada através da diferença entre a massa inicial do conjunto cesto + tela húmida + amostra e as massas seguintes do mesmo conjunto. O coeficiente de capilaridade obtido por este método designa-se por coeficiente de capilaridade por contacto ( $C_{cc}$ ) e é determinado aos 5 minutos ou, se a parte recta da curva de absorção em função da raiz quadrada do tempo se prolonga, entre 10 e 90 minutos.

Para a realização do ensaio opta-se por colocar em contacto com a água a face da amostra que tenha estado voltada para o exterior, o que em geral é detectável pelo aspecto superficial, por se admitir que essa face será a que está mais sujeita à acção da água da chuva.

O coeficiente de capilaridade obtido através deste método é uma medida de compacidade da argamassa no seu estado actual. Assumindo que esta já está completamente carbonatada, a compacidade e, conseqüentemente, o coeficiente de capilaridade, dá-nos uma ideia do estado de conservação das amostras.



Fig. 19 – Ensaio de absorção de água por capilaridade por contacto:

- a) realização do ensaio de absorção; b) pesagem da amostra seca + cesto + filtro;
- c) cálculo da área de contacto da amostra



Em geral, as amostras recolhidas em obra apresentam espessuras variáveis e nalguns casos são compostas por mais de uma camada.

A representatividade dos resultados desta técnica está pouco restringida pela impossibilidade de extracção de grandes quantidades de amostra, já que é possível repetir os ensaios com as amostras, desde que estas estejam completamente secas após o ensaio. De qualquer modo, para aumentar a fiabilidade do método, é importante manter uma relação área/massa de cerca de  $6250 \text{ mm}^2/\text{kg}$ , similar à usada para provetes novos de argamassa. Considera-se que uma massa de  $250 \text{ g}$  é um bom valor médio a considerar (similar à metade do prisma de  $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$  usada no ensaio normalizado).

### **5.6. Porosimetria de mercúrio**

A *porosimetria de mercúrio* ou *porosimetria por intrusão de mercúrio* (MIP), como é mais frequentemente conhecida na literatura, tem sido bastante empregue como técnica experimental para determinação da estrutura porosimétrica das argamassas. A técnica permite quantificar de forma aproximada a distribuição da dimensão (raio ou diâmetro) e do volume de poros a partir dos dados de pressão e de volume obtidos durante a penetração do mercúrio (Hg) no interior dos poros das argamassas.

A técnica baseia-se no princípio de que o mercúrio, como líquido não-molhante (ângulo de contacto superior a  $90^\circ$ ) não penetra de forma espontânea nos pequenos poros ou fissuras existentes no material a menos que seja sujeito a pressão; deduz-se que a pressão necessária para introduzir o mercúrio no interior destes pequenos poros ou fissuras é inversamente proporcional ao seu diâmetro. Assim, é obtida a distribuição do volume de poros em função da dimensão dos poros preenchidos pelo mercúrio a cada intervalo de pressão.

A informação obtida a partir da técnica mostra volumes diferenciais de mercúrio em gamas de diâmetros de poros entre  $0,006$  e  $360 \mu\text{m}$  [30, citado por 31 e 1].

Para a realização do ensaio a amostra é introduzida num tubo de cristal (Fig. 20), que a seguir é cheio com mercúrio e fechado para logo após ser introduzido numa câmara dentro do equipamento de porosimetria de mercúrio (Fig. 20). O mercúrio é então sujeito a uma pressão e, à medida que esta aumenta vai penetrando nos poros da amostra, primeiro nos maiores, depois nos médios e por fim nos pequenos. Quando todos os poros estão preenchidos com mercúrio, obtém-se a curva de intrusão. O mercúrio é, então, retirado, obtendo-se a curva de extrusão. A partir das curvas de intrusão e de extrusão é possível calcular, matematicamente, a distribuição de diâmetro dos poros e obter curvas porosimétricas com informação sobre o volume de poros do material penetrado pelo mercúrio a uma determinada pressão Fig. 20.



Fig. 20 – Equipamento de *porosimetria de mercúrio*. Preparação e pesagem da amostra para o ensaio.

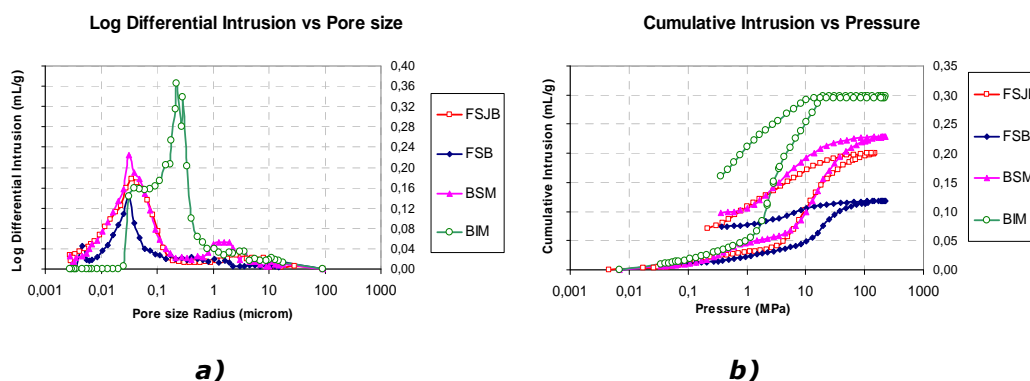


Fig. 21 – Exemplos de estruturas porosimétricas de amostras de argamassas antigas: a) curva de distribuição do raio de poros; b) curva acumulativa de intrusão de mercúrio

A técnica de porosimetria de mercúrio tem como desvantagens o custo elevado do equipamento e a exigência de técnicos especializados para a realização dos ensaios. No entanto, a principal desvantagem da técnica refere-se ao risco para a saúde dos operadores devido à possibilidade de contaminação com mercúrio. Sabe-se que tem havido experiências para substituir o mercúrio por água [1,32] embora se desconheçam trabalhos publicados com resultados usando essa técnica.

Por outro lado, a interpretação dos resultados obtidos com este método não é fácil se não se tem conhecimentos de base sobre a estrutura porosa e a sua relação com as propriedades do material. A aplicação do método tem sido muito questionada ultimamente pelo facto de a forma não cilíndrica dos materiais porosos não

corresponder a uma rede porosa ideal [33], por haver possibilidade de destruição de paredes dos capilares das argamassas durante a realização do ensaio, principalmente se estas forem de resistência reduzida [1] e, ainda, pelo facto de os resultados serem pouco fiáveis tendo em conta as condições de acessibilidade dos poros: há poros que só são acessíveis através de poros de menores dimensões, que só são preenchidos com pressões mais elevadas, aparecendo os primeiros quantificados como tendo diâmetro inferior ao real [1].

Apesar dos aspectos referidos a técnica de porosimetria de mercúrio continua a ser importante, pelo menos em termos comparativos, para avaliar a estrutura porosa das argamassas e a sua evolução, já que esta influencia significativamente o seu comportamento, nomeadamente no que se refere ao comportamento à água. Mesmo em termos absolutos, os resultados obtidos na prática têm sido credíveis, apresentando boa correspondência com o esperado a partir do conhecimento de cada material e dos resultados de outros ensaios. A combinação dos resultados obtidos com esta e com outras técnicas contribui de forma significativa para o estabelecimento de uma conexão entre ao nível de degradação dos revestimentos e o seu estado de conservação. O método tem ainda aplicação bastante útil na avaliação de resultados de consolidação de argamassas, nomeadamente na identificação de alterações introduzidas na sua estrutura porosimétrica pela aplicação de um consolidante.

### **5.7. Difracção de Raio X (DRX)**

A técnica de análise por *difracção de raio X* (DRX) consiste no estudo dos materiais mediante os desvios sofridos por um feixe monocromático de raios X quando este incide sobre os constituintes cristalinos. A identificação dos compostos químicos é feita por comparação com os espectros-padrão de difracção existentes e a análise quantitativa é realizada através da verificação da intensidade das linhas de difracção, que é função da concentração do composto cristalino.

Através desta técnica é possível identificar os componentes mineralógicos presentes na forma cristalina (Fig. 22) e em combinação com a *análise térmica* (AT) é possível estudar o tipo de ligante e detectar a presença de certos constituintes pozolânicos e de produtos de alteração. O método não permite, no entanto, observar a relação inter-espacial destes componentes na argamassa [34,35] – observável pela *microscopia óptica* [1]. Apesar de permitir realizar análises qualitativas e cristalográficas de quaisquer substâncias cristalinas, a técnica de DRX oferece informações quantitativas pouco precisas [36].

A principal vantagem da análise por difracção é a distinção dos compostos ou agrupamentos atómicos com os quais se obtém informação de difícil ou impossível obtenção por outros métodos. Outra vantagem da utilização do método é requerer

uma pequena quantidade de amostra em qualquer formato, reduzida a pó ou em estado bruto.

A técnica por si só pode não conduzir a resultados satisfatórios, mas como complemento de outras técnicas pode prestar relevante contributo ao estudo dos materiais.

Compostos cristalinos identificados	F. Global(a)	F. Fina(b)
Quartzo(Q)	+++	+
Feldspatos(F)	+	vtg
Piroxenas(Py)	vtg/+	-
Calcite(C)	+ / ++	++
Aragonite (A)	vtg	+ / ++
Vaterite(V)	vtg	+
Hematite (H)	vtg	vtg
Etringite(E)	vtg	vtg/+
Cloroaluminato de cálcio hidratado(CIA)	vtg	+ / ++
Carboaluminato de cálcio hidratado(CA)	vtg	++

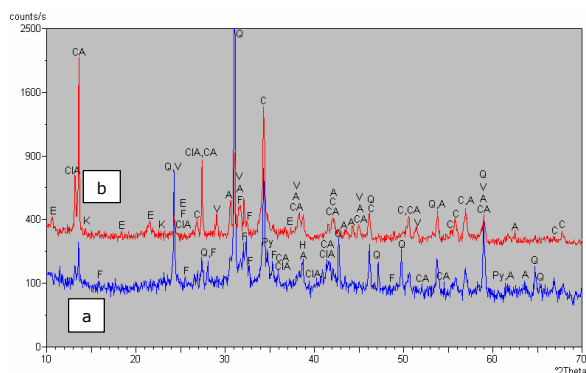


Fig. 22 – Análise difractométrica de Raio X de uma amostra de argamassa antiga: compostos cristalinos identificados e difractogramas das fracções global e fina

### 5.8. Porosidade: método da pesagem hidrostática

A determinação da porosidade total (aberta ou acessível à água) das argamassas antigas baseia-se no método da saturação total em água sob vácuo e da pesagem hidrostática, cujo procedimento de ensaio segue as Recomendações Provisórias da RILEM [32]. Admite-se que o volume de água que penetra corresponde ao volume total de vazios acessíveis, ou seja, à porosidade aberta do material [1].

As amostras são secas em estufa até atingirem massa constante (M1) e em seguida são introduzidas num exsiccador onde a pressão é reduzida até cerca de 20 mm Hg (2667 Pa). A pressão é mantida neste valor durante 24 horas para eliminar o ar contido nos vazios das amostras. Após este período, faz-se penetrar água destilada lentamente, durante cerca de 15 minutos, até à completa imersão das amostras, sendo mantida a depressão no exsiccador por mais 24 horas. A seguir, as amostras são mantidas à pressão atmosférica por mais um período de 24 horas, após o qual se determina a sua massa em imersão (M2) – pesagem hidrostática. Finalmente as amostras são retiradas do exsiccador para a determinação da sua massa saturada de água (M3).

O método de ensaio permite ainda determinar a massa volúmica real e aparente das amostras de argamassa.

O valor referente à porosidade acessível à água (P) e as massas volúmicas reais (MVR) e aparentes (MVA) são calculadas a partir das seguintes equações:

$$P = [(M3-M1) / (M3-M2)] \times 100$$

$$MVR [kg.m^{-3}] = [M1 / (M1 - M2)] \times 1000$$

$$MVA [kg.m^{-3}] = [M1 / (M3 - M2)] \times 1000$$

A técnica de ensaio aplicada a amostras de argamassas extraídas de obra dá-nos uma ideia geral da sua porosidade total, mas este valor por si só não caracteriza de forma completa o sistema poroso do material. O tamanho dos poros e a conectividade entre eles influencia também as características do material associadas à migração de água pelo seu interior. Daí a importância de complementar a esta caracterização com outras técnicas de estudo da estrutura porosa.

A técnica não é muito complexa, mas exige a montagem de um sistema integrado com bomba de vácuo e recipientes diferenciados para as amostras e a água que se vai utilizar (Fig. 23). O ensaio completo tem uma duração mínima de 72 horas, período durante o qual não é possível o contacto com as amostras para verificar a sua eventual desintegração durante as fases do ensaio.

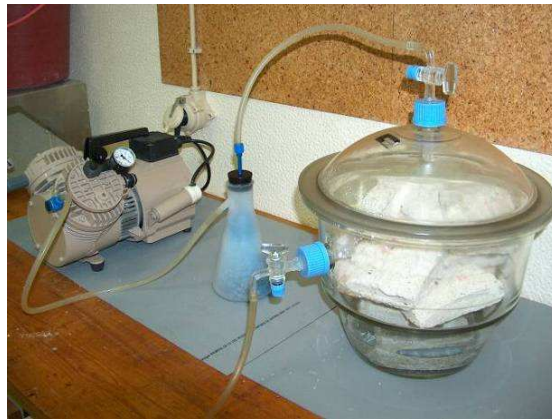


Fig. 23 – Dispositivo montado para o ensaio de determinação da porosidade através da pesagem hidrostática

O método descrito apresenta como vantagem o facto de ser viável o uso de amostras de argamassas de pequena dimensão, sem que estas estejam sujeitas a exigências especiais de forma. Na análise efectuada há que registar observações referentes à existência de múltiplas camadas de argamassa, bem como à presença de acabamentos (caiação, pintura, etc.) sobre o reboco.

## **6. DIAGNÓSTICO**

Nos revestimentos exteriores dos edifícios antigos é comum observarem-se diversas manifestações de anomalias. Os sintomas mais frequentes observados referem-se a fendilhação, a eflorescências, a colonização biológica, a perda de aderência, a perda de coesão, a erosão, e a manchas com origem na sujidade e na poluição, muitas vezes quimicamente combinadas com o material de revestimento [37]. Muitos destes defeitos têm como origem a humidade; de facto, a água é causa primária de muitas anomalias e causa secundária de muitas outras.

A humidade em paredes de edifícios antigos, por sua vez, pode ter origem diversa: o terreno, a chuva, a condensação interior, os sais solúveis, a rotura de canalizações, o entupimento de caleiras ou de tubos de queda, etc.

O conhecimento da origem e das formas de manifestação das anomalias devidas à humidade constitui um dado imprescindível à elaboração de um diagnóstico correcto. Neste sentido, a detecção e a quantificação das anomalias decorrentes da humidade em paredes de edifícios antigos deve ser realizada utilizando um conjunto de diferentes técnicas mecânicas, físicas e químicas, cujo cruzamento de resultados fornece importantes informações sobre o estado de conservação do revestimento dessas paredes [38, 12].

Em geral a aplicação dessas técnicas às argamassas de revestimento é relativamente complexa, devido a factores como a tipologia e a heterogeneidade dos materiais envolvidos, por isso os valores obtidos em cada ensaio devem ser usados como valores comparativos e não absolutos. No entanto, a interpretação dos resultados do conjunto destas técnicas, aplicadas de forma sistemática, por uma equipa especializada, possibilita uma classificação segura do estado de conservação do revestimento antigo, permitindo fundamentar eventuais intervenções a realizar.

Em Portugal, os problemas originados pela humidade nas paredes correntes de alvenaria antiga relacionam-se com vários aspectos, nomeadamente: com as condições climatéricas (elevada humidade relativa e elevadas amplitudes térmicas); com os elevados teores de água no interior das paredes; com a presença de sais de natureza expansiva nos materiais constituintes das fundações e das paredes e com a falta de manutenção dos edifícios.

A localização das zonas com problemas e, em particular, a identificação e a quantificação das áreas com teores de água elevados, através de técnicas não-destrutivas de largo espectro, como a termografia ou as técnicas de monitorização de humidade, permite detectar e acompanhar a evolução da presença de água no interior das paredes durante períodos longos, e identificar com alguma segurança qual a origem dessa água. Por exemplo, se os teores de água forem elevados junto ao solo e forem diminuindo no sentido inverso da altura, é provável que se verifiquem

problemas de humidade ascensional proveniente de água existente nas fundações ou no subsolo, ou ainda acumulada no pavimento, junto ao edifício, eventualmente, devido a uma drenagem deficiente.

Depois de localizadas as anomalias e determinada a sua natureza, a aplicação de técnicas de ensaio *in situ* localizadas permite recolher informação sobre a gravidade das anomalias e sobre o conseqüente estado de conservação do revestimento.

Zonas de revestimentos mais húmidas podem apresentar elevado nível de degradação, nomeadamente com perda de coesão e de aderência e aumento da porosidade. Os ensaios de **choque de esfera, de penetração controlada, ultra-sons e tubos de Karsten** permitem estabelecer uma classificação do estado de conservação. A existência de sais como os sulfatos é origem de expansões nos revestimentos, causando desagregação, descolamentos ou destacamentos. As **fitas colorimétricas** permitem identificar os iões sulfatos existentes e determinar, de forma expedita, a sua concentração. Através da correlação dos resultados dos ensaios é possível confirmar se existe uma correspondência real entre revestimentos com elevado teor de água e uma degradação elevada (perda de coesão generalizada, descolamento, aumento significativo da permeabilidade à água, etc.).

Na fase seguinte, constituída pelos ensaios em laboratório, procura-se quantificar, de forma mais rigorosa, as características dos materiais de revestimento e identificar os produtos de reacção de modo a possibilitar a compreensão dos mecanismos de degradação.

Os **teores de água por gravimetria** complementam as medições com o humidímetro, permitindo a quantificação da humidade em pontos do interior do revestimento, ou seja, possibilitando o estabelecimento de perfis de humidade.

Os valores dos **teores de humidade higroscópica** podem revelar a existência de teores mais ou menos elevados de sais solúveis higroscópicos no revestimento, e verificar se estes sais são a principal causa dos níveis de humidade. Valores reduzidos dos teores de humidade higroscópica podem indiciar que os materiais fixam mais humidade que os sais, sendo provável que a humidade existente no edifício tenha origem em infiltrações através da cobertura e das fissuras das paredes ou na capilaridade ascendente pelo interior da parede.

A análise dos resultados dos ensaios de **resistência à compressão**, usando o método adaptado para amostras de argamassas irregulares, permite comparar as resistências das amostras antigas com as resistências de argamassas de comportamento conhecido. Os resultados obtidos permitem ainda confirmar se existe uma correspondência entre as resistências mecânicas determinadas e as características da amostra observadas à vista desarmada: resistências reduzidas indicam argamassas com deficiente coesão.

Os coeficientes de capilaridade determinados a partir do ensaio de **absorção capilar por contacto** permitem comparar a velocidade de absorção das várias argamassas dos revestimentos existentes e, ainda, comparar as argamassas antigas com as argamassas novas de comportamento conhecido. Em conjunto com os valores de resistência mecânica permitem formar uma ideia acerca do estado de conservação: coeficientes de capilaridade reduzidos e resistências mecânicas relativamente elevadas indicam argamassas em bom estado, coesas e aderentes. Por outro lado, as curvas de absorção e secagem determinadas permitem uma análise da forma como se processam a absorção e secagem de água no interior da argamassa, dando uma ideia da sua permeabilidade, o que pode complementar a informação obtida com os tubos de Karsten.

A identificação de constituintes da argamassa através da técnica de caracterização química de **difracção de Raio X** fornece informações sobre a existência na argamassa de determinados produtos – brucite, etringite, gesso, halite (NaCl), cloroaluminatos de cálcio hidratados, monossulfoaluminatos de cálcio hidratado – que indiciam o desenvolvimento de certos mecanismos de degradação [26]. A informação obtida através da técnica de DRX em combinação com os resultados de resistência à compressão e de absorção capilar permite apontar conclusões sobre a forma como o mecanismo de degradação se processa, complementando as informações sobre o estado de conservação do revestimento.

As informações sobre a distribuição e dimensão dos poros obtida através da **porosimetria de mercúrio** e os valores de **porosidade aberta** obtidos a partir da pesagem hidrostática, em combinação com os resultados de resistência à compressão, tubos de Karsten, absorção capilar e higroscopicidade complementam a avaliação do comportamento mecânico e do comportamento à água da argamassa. A relação entre a composição – determinada a partir da análise de DRX – e a porosimetria de mercúrio permite avaliar o processo de degradação das argamassas originada pela presença de sais. A maior porosidade e a maior dimensão dos poros aumentam a absorção total e também o coeficiente de absorção de água das argamassas [31, citado por 1]. A degradação é mais significativa nas argamassas com maior volume global de poros menores, já que nestes poros são geradas maiores pressões durante o processo de cristalização de sais, que ocorre com aumento de volume. Os poros de menores dimensões estão, ainda, na origem de maiores alturas de capilaridade ascendente em comparação com os poros de maiores dimensões. No entanto, as argamassas com poros maiores são menos resistentes e têm maior absorção total. Assim, um bom equilíbrio entre estas características pode não ser fácil de conseguir.



## 7. ESTRATÉGIAS DE INTERVENÇÃO

A partir do diagnóstico das anomalias devidas à humidade e conhecendo-se o estado de conservação dos revestimentos é possível definir de forma fundamentada as estratégias de intervenção a adoptar em edifícios antigos com valor histórico.

Os critérios devem ser bem definidos para se decidir quando se justifica fazer opções mais onerosas e complexas. A tomada de decisão deve basear-se, fundamentalmente, nos seguintes factores: valor do edifício em geral e do revestimento em particular; estado de conservação do revestimento; disponibilidade de meios, em termos de tecnologia, de mão-de-obra, de tempo e de verbas [39].

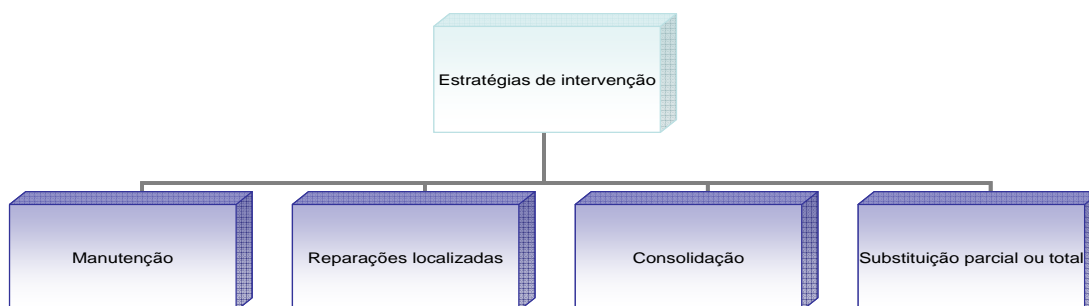


Fig. 24 – Estratégias de intervenção após o diagnóstico

A estratégia a adoptar para solução dos problemas relacionados com a humidade em revestimentos de edifícios antigos com valor histórico deve dar prioridade à conservação dos revestimentos existentes, recorrendo-se a estratégias preventivas suportadas por planos de manutenção, reparações pontuais e técnicas de consolidação.

No caso em que se verifique uma severidade elevada da anomalia, um valor reduzido do edifício e uma disponibilidade de meios insuficiente, a estratégia de intervenção que apresenta melhor viabilidade pode passar pela opção de substituição parcial ou total dos revestimentos, impondo-se a prévia reparação ou minimização das causas das anomalias.

A seguir sistematizam-se as estratégias de intervenção consideradas:

A **manutenção** envolve, nomeadamente, as seguintes operações: limpeza, tratamento com biocidas, correcção das situações que podem dar origem a infiltrações de água, reparação atempada das camadas de acabamento (barramentos e pinturas) e colmatação de fendas superficiais.

As **reparações** localizadas compreendem operações de tratamento de fendas, de eliminação de sais e de preenchimento de lacunas, com utilização de materiais semelhantes aos pré-existentes.

A **consolidação** consiste, de uma forma mais geral, no uso de consolidantes sob a forma de “pastas injectáveis” (*groutings*) ou de adesivos em revestimentos com perdas de aderência ou de coesão.

Na substituição parcial – da última camada, mais fendilhada ou contaminada por micro-organismos, ou de uma determinada zona do reboco – ou total, do revestimento, é essencial que os materiais de substituição sejam adequados e compatíveis com os pré-existentes, sob pena de se correr o risco de acelerar a degradação.

## **8. CONCLUSÕES**

O conhecimento das características dos revestimentos é essencial para o estabelecimento de um diagnóstico de anomalias em paredes de edifícios antigos.

A metodologia descrita propõe a avaliação das anomalias decorrentes da humidade em paredes antigas a partir da aplicação em conjunto de diferentes técnicas, cujo cruzamento de resultados fornece importantes informações sobre o estado de conservação do revestimento.

Segundo a metodologia proposta, a investigação do edifício deve iniciar-se com uma observação geral e com o registo das principais anomalias. Propõe-se que, após essa primeira observação, se desenvolva uma análise global da parede através de técnicas não-destrutivas de avaliação *in situ* que permitam a detecção de zonas de revestimentos com problemas e, em seguida, uma análise localizada das anomalias, utilizando técnicas que permitam quantificá-las. Por fim, para o estabelecimento do diagnóstico recorre-se a técnicas de laboratório que podem esclarecer alguns aspectos e complementar a quantificação das anomalias identificadas.

A experiência obtida com os métodos de ensaio descritos em diversos casos de estudo e em experiências realizadas em laboratório no âmbito do projecto de investigação permite concluir que a aplicação de forma sistematizada da metodologia proposta possibilita a determinação mais rigorosa das caracterizações qualitativas e quantitativas dos revestimentos.

A metodologia de diagnóstico conjuga técnicas cuja aplicação é relativamente simples e técnicas mais complexas, que exigem técnicos especializados. Parte das técnicas envolvidas é de interpretação relativamente complexa, quer pela natureza indirecta dos resultados quer pelo carácter heterogéneo das argamassas antigas, devendo os valores obtidos em cada ensaio serem considerados como valores comparativos e não absolutos.

O cruzamento dos diversos resultados obtidos com as diferentes técnicas deve conduzir a conclusões sobre os mecanismos de degradação originados pela humidade e a sua evolução permitindo uma classificação do estado de conservação do revestimento.

Tendo em conta o diagnóstico efectuado, o estado de conservação do edifício e o seu valor histórico, podem ser estabelecidos critérios de intervenção fundamentados, priorizando, sempre que possível, as estratégias preventivas apoiadas em planos de manutenção, reparações pontuais e técnicas de consolidação. Quando for necessário recorrer à substituição parcial ou total de revestimentos, deve recorrer-se a materiais adequados e compatíveis com os pré-existentes.

## 9. NOTA FINAL

Na elaboração dos itens 3.1 e 3.2 colaborou, além dos autores, outro investigador membro do projecto "Desenvolvimento de metodologias para a avaliação dos efeitos da humidade em paredes antigas", o Dr. Luís Matias, assistente de investigação do Departamento de Edifícios do LNEC.

Lisboa e Laboratório Nacional de Engenharia Civil, em Março de 2008.

VISTOS

O Chefe do Núcleo de  
Revestimentos e Isolamentos

Jorge Grandão Lopes

O Director do Departamento de  
Edifícios

José A. Vasconcelos Paiva

AUTORIA

Ana Cristian Magalhães

Ana Cristian Magalhães  
Eng<sup>a</sup>. Civil, Bolseira LNEC de  
Doutoramento

Maria do Rosário Veiga

Maria do Rosário Veiga  
Eng<sup>a</sup>. Civil, Investigadora Principal

C. A. Pina dos Santos

C. A. Pina dos Santos  
Eng<sup>o</sup>. Civil, Investigador Principal



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. VEIGA, M. Rosário – **Conservação e reparação de revestimentos de paredes de edifícios antigos**. Programa de Investigação e Programa de Pós-graduação para a obtenção do título de Habilitação para o Exercício de Funções de Coordenação de Investigação Científica. Lisboa: LNEC, Maio de 2007.
2. SANTOS, Carlos Pina; MATIAS, Luís; MAGALHÃES, Ana Cristian; VEIGA, M. Rosário - **Application of thermography and ultra-sounds for wall anomalies diagnosis a laboratory research study**. *Proceedings of International Symposium Non-Destructive Testing in Civil Engineering (NDT-CE)*, Berlin, September 16-19, 2003.
3. SANTOS, Carlos Pina; MAGALHÃES, Ana Cristian; MATIAS, Luís; VEIGA, M. Rosário - **Aplicação laboratorial de técnicas termográficas e de ultra-sons na detecção de descolamentos localizados dos revestimentos numa parede de alvenaria de blocos de betão de argila expandida**. Lisboa: LNEC, Abril de 2003. Relatório nº 88/03 – DED/NRI.
4. MAGALHÃES, Ana Cristian; VEIGA, M. Rosário – **Ensaio sobre rebocos antigos na capela do Castelo da Amieira do Tejo**. Lisboa: LNEC, Abril de 2005. Relatório 153/2005-NRI.
5. MAGALHÃES, Ana Cristian; VILHENA, António; VEIGA, M. Rosário – **Ensaio sobre rebocos na Igreja Matriz e Igreja de Misericórdia de Viana do Alentejo**. Lisboa: LNEC, Julho de 2005. Relatório 226/05-NRI.
6. SANTOS, Carlos Pina; MATIAS, Luís; MAGALHÃES, Ana Cristian; VEIGA, M. Rosário - **Application of thermography and ultra-sounds for wall anomalies diagnosis a laboratory research study**. *Proceedings of International Symposium Non-Destructive Testing in Civil Engineering (NDT-CE)*, Berlin, September 16-19, 2003.
7. MATIAS, L; MAGALHÃES, Ana; VILHENA, A.; PINA, Santos; VEIGA, R. – **Ensaio de capilaridade e análise termográfica para visualização da secagem de um murete de alvenaria de pedra**. Relatório 22/2007-NRI. Lisboa: LNEC, Janeiro de 2007.
8. VILHENA, A.; MATIAS, L.; MAGALHÃES, Ana Cristian; PINA SANTOS C.; VEIGA, M. do Rosário – **Laboratory thermographic analysis of masonry specimens. Capilarity and drying**. *Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin. Water and Cultural Heritage*. Orleans, 7 – 9 June, 2007.

9. VILHENA, A.; MATIAS, L; MAGALHÃES, Ana; PINA, Santos; VEIGA, R. – **Análise termográfica para visualização da absorção de água salina e da secagem de um murete de alvenaria de pedra – ensaio de capilaridade.** Relatório 241/2007-NRI. Lisboa: LNEC, Julho de 2007.
10. MATIAS, L.; MAGALHÃES, Ana; PINA SANTOS C.; VEIGA, M. do Rosário; VILHENA, A. – Estudo de avaliação do estado higrotérmico de uma parede de alvenaria de pedra utilizando sondas miniaturas termohigrométricas e um humidímetro. Lisboa, LNEC, 2008. Relatório em preparação.
11. MASSARI, Giovanni and Ippolito – **Damp Buildings. Old and new.** Roma: International Centre for the Study of the Preservation and the Restoration of Cultural Property (ICCROM), 1993.
12. HENRIQUES, Fernando M. A – **Humidade em paredes.** Lisboa: LNEC, 2001 (2ª edição).
13. EUROPEAN COMMITTEE OF STANDARDIZATION (CEN) - **Methods of test for mortar for masonry – Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened rendering mortar,** Brussels: August 1999, EN 1015-11.
14. SANTOS, Carlos Pina; MAGALHÃES, Ana Cristian; MATIAS, Luís; VEIGA, M. Rosário – **Aplicação laboratorial de técnicas termográficas e de ultras-sons na deteção de descolamentos localizados dos revestimentos numa parede de alvenaria de blocos de betão de argila expandida.** Lisboa: LNEC, Abril de 2003. Relatório nº88/03 – DED/NRI.
15. SAN MIGUEL, M. - **Técnicas no destructivas aplicadas a la conservación del patrimonio histórico. Cuadernos Técnicos "Técnicas de Diagnóstico Aplicadas a la Conservación de los Materiales de Construcción en los Edificios Históricos".** Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, Junta de Andaluzia, 1997. pp. 85-94.
16. ONSITEFORMASONRY Project Group – **On site investigation techniques for the structural evaluation of historic masonry buildings. Results and research methodologies of onsiteformasonry.** EC Project financed by the European Commission EVK4-CT-2001-00060.CD.2006.
17. VEIGA, M. Rosário et al. – **Conservação e renovação de revestimentos de paredes de edifícios antigos.** Lisboa: LNEC, Julho de 2004. Colecção Edifícios, CED 9.
18. VEIGA, M. Rosário; CARVALHO, Fernanda - **Experimental characterization of lime based rendering and repointing mortars. Definition of relevant**

- laboratorial and in situ tests.** Comunicação convidada ao Workshop "Compatible materials for the protection of monuments", Atenas: National Technical University of Athens, Dezembro de 2000.
19. MAGALHÃES, Ana Cristian; VEIGA, M. Rosário; CARVALHO, Fernanda – **Diagnosis of anomalies of wall renderings. Experimental techniques for in situ application.** *Proceedings of XXX IAHS World Congress on Housing*, Coimbra: 9-13 Setembro de 2002.
20. MAGALHÃES, A.; VEIGA, M. R. – **Comparison of in-situ mechanical tests on masonry mortars: sphere impact and controlled penetration test.** *Proceedings of Heritage, Weathering and Conservation Conference: HWC*. Madrid, June 2006.
21. MAGALHÃES, Ana Cristian – **Ficha de Ensaio de revestimentos de paredes FE Pa 39. Revestimentos de paredes. Ensaio absorção de água sob baixa pressão.** Lisboa: LNEC, Junho de 2002.
22. RILEM – **Water absorption under low pressure. Pipe method. Test N° II.4, Tentative Recommendations.** Paris: RILEM, 1980.
23. BORRELLI, E. – **Conservation of Architectural heritage, historic structures and materials salts.** Rome: ICCROM, 1999.
24. LANZINHA, João Carlos G. – **Propriedades higrotérmicas de materiais de construção.** Tese de Mestrado apresentada à Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra (FCTUC), Coimbra: Junho 1998.
25. MAGALHÃES, Ana; VEIGA, R. – **Caracterização da higroscopicidade de argamassas com base em cal.** Relatório 201/2007-NRI. Lisboa: LNEC, Junho de 2007.
26. MAGALHÃES, Ana Cristian; VEIGA, M. Rosário – **Avaliação da resistência de amostras de argamassas históricas recolhidas em obra. Metodologia e correlação de resultados.** Lisboa: LNEC, Agosto de 2006. Relatório 259/06-NRI.
27. VÁLEK, Jan; VEIGA, Rosario, **Characterisation of mechanical properties of historic mortars – testing of irregular samples.** *Proceedings of 9th International Conference on Structural Studies, Repairs and Maintenance of Heritage Architecture (STREMAH 2005)*, University of Malta, Malta, 2005, 10 pp.
28. VEIGA, M. Rosário; MAGALHÃES, Ana Cristian; BOSILIKOV, Violeta B., **Capillary tests on historic mortar samples extracted from site. Methodology and compared results.** *Proceeding of 13th Int. Brick and Block Masonry Conference*, Amsterdam, 2004, 10 pp.

29. EUROPEAN COMMITTEE OF STANDARDIZATION (CEN), **Methods of test for mortar for masonry – Part 18: Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened rendering mortar**, Brussels: April 1999, EN 1015-18.
30. FITZNER, B. – **Porosity properties and weathering behaviour of natural stones. Methodology and examples.** *In Stone Materials and Monuments: Diagnosis and Conservation – 2<sup>nd</sup> course.* Bari: Mario Adda Editore, 1994.
31. RATO, Vasco – **Influência do microestrutura morfológica no comportamento das argamassas.** Tese para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Nova de Lisboa. Lisboa: 2006.
32. RILEM, Commission 25 PEM, Protection et érosion des Monuments – **Essais recommandés pour mesurer l’altération des pierres et évaluer l’efficacité des méthodes de traitement.** Recommandations provisoires, 1980.
33. DIAMOND S. – **Mercury Porosimetry. An inappropriate method for the measurement of pore size distributions in cement-based material.** *Cement and Concrete Research*, 30, 2000, pp. 1517-1525.
34. VEIGA, M. Rosário; AGUIAR, J.; SANTOS SILVA A.; CARVALHO, F. – **Methodologies for characterization and repair of mortars of ancient buildings.** *Proceedings of International Seminar Historical Constructions 2001.* Guimarães: Universidade do Minho, Novembro de 2001.
35. GROOT, C.; BARTOS, P., AND HUGHES J. – **Characterisation of old mortars with respect to their repair.** *12<sup>th</sup> International Brick/Block Masonry Conference.* Madrid, 2000, pp. 815-827.
36. MATTEINI, M.; MOLES, A. – **Ciencia y restauración. Método de investigación.** Traducción de Marina Martínez de Marañón. Editorial Nerea. Junta de Andalucía – Consejería de Cultura – IAPH, Sevilla, 2001.
37. MAGALHÃES, Ana Cristian – **Patologia de rebocos antigos.** Caderno de Edifícios, nº 2. Lisboa: LNEC, Outubro de 2002.
38. AMERICAN SOCIETY FOR NON-DESTRUCTIVE TESTING – **Nondestructive Testing Handbook. Infrared and Thermal Testing (Volume 3).** Columbus, USA, American Society for Non-destructive Testing, 2001.
39. VEIGA, M. Rosário; AGUIAR, José – **Definição de estratégias de intervenção em revestimentos de edifícios antigos.** *Actas do 1º Encontro Nacional sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios*, Porto: FEUP, Março de 2003.



