

# TÉCNICAS DE CONSOLIDAÇÃO DE PAREDES DE EDIFÍCIOS ANTIGOS

*Consolidation techniques of ancient building walls*

**Fernando F. S. Pinho**

*Assistente, DEC/UNL, e-mail: ffp@mail.fct.unl.pt*

**Manuel F. C. Baião**

*Investigador Principal, LNEC, e-mail: mbaiao@lneec.pt*

**Válter J. G. Lúcio**

*Professor Associado, DEC/UNL, e-mail: vlucio@fct.unl.pt*

**SUMÁRIO:** A presente comunicação refere as técnicas de consolidação mais comuns de paredes resistentes de edifícios antigos e caracteriza os modelos experimentais de alvenaria de pedra tradicional incluídos na campanha experimental para avaliação de diversas soluções de consolidação, no âmbito de uma tese de doutoramento em curso no DEC/UNL, com orientação do LNEC e do DEC/UNL.

Este trabalho de investigação, visa a elaboração de recomendações de projecto e de execução sobre técnicas de consolidação de paredes de edifícios antigos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Edifício antigo, alvenaria, anomalia, técnica de consolidação

**ABSTRACT:** The present paper reports the consolidation techniques on resistant walls of ancient buildings and the experimental models of traditional stone masonry which make a part of experimental work for the assessment of different consolidation solutions in the field of a doctorate thesis in development at the DEC/UNL, under the orientation of LNEC and DEC/UNL. This research work aims the elaboration of project and execution recommendations on the consolidation techniques of ancient building walls.

**KEYWORDS:** Ancient building, masonry, anomaly, consolidation technique

## 1. INTRODUÇÃO

As técnicas de consolidação referidas nesta comunicação destinam-se aos *edifícios antigos*, entendendo-se como tal os que foram construídos antes do advento do betão armado, ou seja, até ao final do primeiro quartel do Séc. XX.

Em termos estruturais, os edifícios antigos podem classificar-se como a seguir se indica, tendo por base os materiais usados na construção das paredes resistentes: construções em terra (taipa, adobe), de alvenaria de pedra tradicional, de tijolo maciço, de cantaria e mistas (taipa com tijolo e madeira, alvenaria de pedra e madeira, alvenaria de pedra e tijolo, etc).

Quando estas construções não são sujeitas a acções periódicas de conservação e manutenção, ou sobre elas são executadas intervenções incorrectas ou ainda são realizadas alterações relevantes no meio que as envolve, surgem anomalias várias que podem ir desde a degradação dos revestimentos até situações de fendilhação e desagregação graves, que no limite podem por em causa o seu equilíbrio estrutural.

As técnicas de consolidação que se apresentam destinam-se a cobrir a generalidade das anomalias estruturais que afectam estes edifícios, estando ordenadas desde as “mais simples”, correspondentes às anomalias estruturais menos problemáticas, até às soluções aplicáveis a edifícios em estado de pré-ruína.

Algumas destas técnicas e materiais de consolidação são objecto de estudo na campanha experimental em curso no DEC/UNL. Por estar ainda no início, alguns resultados dos ensaios de caracterização dos materiais constituintes dos modelos estão em fase de recolha e tratamento.

## 2. ANOMALIAS COM IMPLICAÇÕES ESTRUTURAIS EM PAREDES DE EDIFÍCIOS ANTIGOS

Embora os materiais usados na construção das paredes dos edifícios antigos possam ser de natureza e origem diferentes, é possível elaborar um quadro síntese de anomalias comuns àquelas soluções construtivas (quadro 1).

*Quadro 1 – Anomalias com implicações estruturais em paredes de edifícios antigos  
(e respectivas fundações, revestimentos e acabamentos)*

<b>Elemento construtivo</b>	<b>Anomalias vulgares</b>
Fundações	Degradação das características dos materiais Fendilhação
Paredes estruturais e não estruturais	Desagregação, provocada pela acção da água, nas suas várias origens Esmagamento, fendilhação e deformação Degradação de elementos de madeira por agentes biológicos Corrosão de elementos metálicos Baixa resistência ao fogo, em particular em paredes não estruturais
Revestimentos e acabamentos	Desagregação, agravada pela acção da água nas suas várias origens Esmagamento e fendilhação, provocada ou não pela fendilhação do suporte Erosão por acção de agentes climáticos (vento, chuva, variações de temperatura) Insuficiente permeabilidade ao vapor de água Destacamento de azulejos

As anomalias referidas podem dever-se a diferentes causas, como por exemplo, assentamentos diferenciais de fundações, utilização de cargas excessivas, intervenções incorrectas (como eliminação de paredes), acção do fogo, acção sísmica, etc.

A acção da água está na origem ou no agravamento de grande parte das anomalias, uma vez que vai procurando e encontrando os pontos mais fracos da alvenaria (fendas e vazios), através de caminhos de circulação preferenciais no interior dos elementos, geralmente as juntas de argamassa entre pedras ou tijolos, contribuindo para a redução da capacidade resistente ao longo do tempo [1] e da capacidade de isolamento térmico, devido à maior condutibilidade térmica da água relativamente ao ar.

Pela sua importância, referem-se as principais formas de humidade que atingem os edifícios antigos:

*Humidade de precipitação* – esta forma de humidade não pode ser evitada, pelo que as soluções de revestimento e acabamento devem permitir a evaporação rápida da água logo após a cessação da chuva; provoca degradação acentuada, nomeadamente nos edifícios devolutos, após quebra ou remoção de telhas e abertura ou quebra de vãos.

*Humidade do terreno* – a humidade ascendente por capilaridade corresponde a uma das mais graves formas de manifestação de humidade em edifícios, devido aos seguintes factores: longo período de permanência (geralmente toda a época das chuvas), afectação de todas as paredes térreas do edifício, resistentes e divisórias, com possibilidade de desencadeamento de fenómenos de cristalização de sais naquelas paredes, provenientes do solo de fundação ou dos materiais de construção utilizados (argamassas, tijolos).

A humidade de precipitação e a ascendente por capilaridade são as principais responsáveis pela desagregação das argamassas de revestimento e assentamento nos edifícios antigos.

*Humidade de condensação* – resulta do vapor de água que se condensa nos paramentos interiores das paredes exteriores (e no interior da alvenaria), e nos paramentos das paredes interiores, em resultado do deficiente isolamento térmico nas paredes exteriores, temperatura ambiente baixa e deficiente ventilação dos espaços. Ocorre geralmente nos períodos mais frios do ano, quando a temperatura superficial das paredes em contacto com o ar húmido atinge o ponto de orvalho [1].

*Roturas em redes de águas e esgotos* – provocam degradação local acelerada, embora de forma distinta: no caso da rede de águas domésticas, quando embebida na parede, a elevada pressão pode provocar desagregação na alvenaria; as roturas nas tubagens de esgotos são menos perceptíveis, mas produzem importantes danos pela elevada agressividade química dos líquidos que transportam. Referem-se ainda os danos devidos a roturas ou entupimentos de tubos de descarga de águas pluviais nas fachadas dos edifícios, que muitas vezes conduzem ao destacamento de todo o revestimento da parede ao longo do tubo, com o crescimento de vegetação, numa largura média variável de 1 a 2 m.

Face ao exposto, pode concluir-se que não podendo (nem sendo sua função) os materiais de consolidação evitar a entrada da água nas paredes dos edifícios, estes não devem dificultar a sua rápida saída, geralmente sob a forma de vapor.

### 3. MEIOS DE DIAGNÓSTICO DE ANOMALIAS ESTRUTURAIS

As intervenções a realizar nos edifícios antigos devem ser precedidas de um diagnóstico exaustivo e, sempre que possível, com recurso a técnicas pouco intrusivas. Assim, para além de uma inspecção visual minuciosa e levantamento das condições estruturais do edifício em estudo, pode recorrer-se a técnicas não-destrutivas como a *termografia* ou *velocidade de propagação de ultrasons*, para avaliação da integridade da construção, e a técnicas moderadamente destrutivas, como *macacos planos* e *arranque de varões chumbados à alvenaria*, para análise de características mecânicas. Nalguns casos, poderá haver necessidade de se recorrer a duas ou mais técnicas de diagnóstico conjuntas.

Sempre que o valor patrimonial do edifício não seja posto em causa, os resultados da avaliação efectuada pelas técnicas referidas podem ser complementados por um estudo laboratorial sobre provetes retirados de zonas adequadas das paredes, e posteriormente sujeitos a ensaios de compressão. A principal dificuldade de aplicação destes ensaios mecânicos reside na dimensão e no grau de representatividade das amostras, relativamente ao universo das paredes do edifício.

### 4. PRINCIPAIS TÉCNICAS DE CONSOLIDAÇÃO DE PAREDES DE ALVENARIA DE PEDRA TRADICIONAL

Indicam-se em seguida as principais técnicas de consolidação destinadas a corrigir e anular anomalias estruturais correspondentes a desagregação, fendilhação e esmagamento, que com alguma frequência afectam os edifícios antigos.

Estas técnicas e materiais de consolidação devem respeitar o *princípio da reversibilidade*, traduzido no facto de se poder interromper em qualquer altura o trabalho em curso (por os resultados não estarem a corresponder às expectativas, porque foi necessário considerar outras condições de compatibilidade, por determinação do Dono de Obra, etc), com a reposição da situação anterior ao início da intervenção. Os materiais devem respeitar ainda o *princípio da compatibilidade* química e mecânica com o suporte existente.

Embora as soluções de consolidação apresentadas se destinem a edifícios de alvenaria de pedra tradicional (solução construtiva preponderante no nosso país) elas poderão, com adaptações, aplicar-se a outras soluções construtivas.

No quadro 2 agrupam-se as anomalias estruturais em três níveis sucessivos de gravidade, e em seguida referem-se as técnicas de consolidação consideradas mais adequadas.

Quadro 2 – Níveis de degradação considerados

Nível de degradação	Característica
1	Parede em razoável estado de conservação mas com reboco degradado
2	Tosco da parede com desagregação e/ou fendilhação localizada
3	Tosco da parede com desagregação e/ou fendilhação acentuada

De uma forma geral, as técnicas de consolidação e reforço de paredes de edifícios antigos mais usadas baseiam-se na aplicação de rebocos armados com armaduras de diferentes tipos, caldas de injeção e soluções mistas. Muitas vezes, há necessidade de reforçar também as fundações do edifício, para que a solução de consolidação seja eficaz.

A utilização de *rebocos armados* destina-se geralmente a situações incluídas no *nível de degradação 1*, em que a capacidade resistente da parede não se encontra muito afectada. Requer a remoção prévia do material degradado, o reboco, e sua substituição por nova camada. O princípio da compatibilidade pode ser respeitado utilizando argamassas à base de cal aérea, em detrimento das argamassas exclusivamente cimentíceas, porque assim se consegue um reboco com afinidade química e rigidez semelhantes à argamassa usada no assentamento dos elementos que constituem as paredes. Tratando-se de edifícios de valor patrimonial elevado, pode saber-se com maior rigor a composição da argamassa a aplicar, através do estudo laboratorial da argamassa antiga [7]. O reboco pode ser armado com armaduras de metálicas (aço) ou armaduras de fibras de vidro; além disso, pode também ser reforçado com *ancoragens* chumbadas à alvenaria ou *conectores transversais de confinamento*. As armaduras de fibras de carbono são desaconselháveis porque a sua maior resistência relativamente às de vidro não será mobilizada.

As armaduras metálicas devem ser galvanizadas ou de aço inoxidável para protecção contra a corrosão provocada pela cal aérea, quando utilizada, e as armaduras de fibras de vidro devem ter protecção anti-alkalina.

As *caldas de injeção* aplicam-se com maior frequência nos *níveis de degradação 2 e 3*, e têm como principal objectivo o aumento da coesão entre os elementos constituintes da alvenaria. Nos casos mais graves, as injeções de caldas podem ser complementadas com rebocos armados, eventualmente reforçados por ancoragens ou conectores transversais; pode ainda proceder-se ao gateamento por grampos de aço, dispostos perpendicularmente às fendas.

Na situação extrema da generalidade das paredes do edifício necessitar desta última combinação de soluções de consolidação (injeção de caldas com gateamento de fendas, complementada por rebocos armados com conectores de travamento), para além da possível necessária actuação ao nível de pavimentos, cobertura, caixilharias, etc, deve ser avaliada a relação custo/benefício correspondente a uma reabilitação profunda ou, alternativamente, a decisão de demolição do edifício.

As caldas são geralmente de base cimentícea, procurando-se assim melhorar a eficácia da ligação entre os elementos da alvenaria, mas comprometendo de forma decisiva o *princípio da reversibilidade*. A pressão de injeção deve ser rigorosamente controlada, para garantir uma

penetração lenta e eficaz. No caso de paredes muito desagregadas a injeção de caldas pode tornar-se inviável mesmo com baixa pressão, pois pode contribuir para a sua destruição final.

Existem no mercado várias empresas especializadas no fornecimento de materiais de reparação de alvenarias antigas, incluindo caldas de injeção pré-doseadas. Dada a variedade existente, a solução a adoptar deve ser objecto de um estudo pormenorizado.

As soluções de reparação em geral e as de consolidação em particular requerem a eliminação ou a limitação da(s) causa(s) responsável(eis) pela a situação patológica, uma vez que não raras vezes esta resulta de fenómenos externos à própria parede, como por exemplo os que decorrem de assentamentos diferenciais de fundações, sobrecargas elevadas, uso indevido do edifício, deficientes intervenções anteriores, etc., e deve-se à reduzida capacidade de resistência à tracção das paredes de todos os edifícios antigos (que, aliás, deve ser considerada nula para efeitos de “cálculo”).

No caso da água ser a causa próxima das anomalias existentes, esta deve ser anulada recorrendo a soluções como a execução de valas drenantes exteriores, periféricas ao edifício, e/ou de barreiras horizontais de impermeabilização (com produtos químicos repelentes da água, à base de resinas de silicões e estearato de alumínio [1]), que podem ser adoptadas para contrariar a humidade proveniente do terreno; a humidade de condensação pode ser corrigida mediante a melhoria do isolamento térmico das paredes exteriores e das condições de ventilação dos espaços.

Quando a degradação se estende à generalidade do edifício, incluindo pavimentos e cobertura, é recomendável a sua substituição por “iguais” pavimentos de madeira e a renovação da estrutura da cobertura. Muitas vezes, no entanto, os pavimentos de madeira são substituídos por outros de betão armado, que têm o inconveniente de aumentar a massa geral do edifício e, por conseguinte, as consequências de uma acção sísmica. Nestes casos deve-se reforçar a capacidade resistente do edifício face a acções horizontais, por exemplo com a execução de lâminas de betão armado, aplicadas nos paramentos interiores das paredes exteriores (para não comprometer a aparência exterior do edifício, nomeadamente as saliências das cantarias dos vãos das fachadas).

Muitas vezes também, a solução de reforço da capacidade resistente global do edifício pode ser complementada por tirantes ligando fachadas perpendiculares, por lintéis de coroamento ou soluções mistas. Noutros casos ainda, após averiguação do estado de conservação das paredes (exteriores) que se pretende manter, e adequado (e necessário) contraventamento durante os trabalhos de remoção de pavimentos, escadas e cobertura, é usual recorrer-se à execução de uma estrutura interior em betão armado, formada por (reforço de) fundações, pilares, vigas (facultativas) e lajes, com posterior pregagem das paredes antigas aos novos elementos de betão armado, mediante varões chumbados na alvenaria antiga. Esta solução pode ser discutível, porquanto a estrutura do edifício é completamente alterada, embora se possa justificar pelo valor patrimonial e arquitectónico da envolvente do edifício.

Como se referiu antes, estas soluções devem ser acompanhadas de uma revisão da capacidade resistente das fundações, podendo ser necessário o seu alargamento (se possível), reforço através de estacas (microestacas) ou de poços de consolidação do solo de fundação [3].

Com excepção de algumas caldas de injeção pré-doseadas, as soluções até aqui referidas recorrem à utilização de materiais tradicionais: argamassas de cal, bastardas e betão. Todavia, têm sido desenvolvidas outras técnicas, nomeadamente para reforço da capacidade resistente global do edifício face à acção sísmica, que recorrem a *materiais não tradicionais*, de acordo com o definido no Art.º 17.º do RGEU [2], como é o caso de materiais compósitos, formados

por uma matriz de resina que agrega fibras sintéticas (vidro ou carbono) de grande resistência, com ou sem conectores de confinamento, com o intuito de garantir a integridade das paredes mediante a permanência dos seus elementos constituintes; sobre o compósito (de reduzida espessura) aplica-se finalmente uma camada de reboco tradicional.

## 5. CAMPANHA EXPERIMENTAL EM CURSO NO DEC/UNL

O trabalho de investigação em curso tem como objectivo a análise comparativa de diferentes soluções de consolidação de paredes de alvenaria de pedra tradicional, mediante a realização de um estudo experimental sobre 62 modelos experimentais (muretes), com dimensões de 0.80mx0.40mx1.20m e 1.20mx0.40mx1.20m, construídos sobre bases de betão armado com 20 cm de espessura, por uma equipa de sete operários especializados entre 15 e 30 de Julho de 2002, fig. 1. Desde esta data, os muretes encontram-se num espaço fechado mas ventilado, o que lhes proporciona condições ideais de cura.



Fig. 1 – Execução e ambiente de cura dos modelos experimentais (muretes) de alvenaria de pedra tradicional

O trabalho experimental previsto consta da realização de ensaios mecânicos de “compressão simples” e “corte com compressão”, após *pré-fendilhação*, sobre os muretes para determinação da eficácia de diversas soluções de consolidação, constituídas principalmente por rebocos armados com diversas armaduras, com e sem conectores de confinamento, e por injeção de caldas.

Como se referiu anteriormente, os muretes são de alvenaria de pedra tradicional ligada por uma argamassa de cal aérea ao traço 1:3 (1,5, areia de rio; 1,5, areia de areeiro).

A argamassa ocupa 25% do volume de cada murete. À parte da dimensão das pedras, que no caso dos muretes é menor, esta solução aproxima-se da utilizada na construção dos edifícios da Baixa Pombalina, logo após o terramoto de 1755 [4].

A selecção das características da argamassa utilizada teve por base um estudo realizado no LNEC, onde foram ensaiadas cerca de 20 composições diferentes de argamassas [7].

No quadro 3 referem-se os principais ensaios realizados até à data, tendo em vista a caracterização dos materiais utilizados na construção dos muretes.

*Quadro 3 – Ensaios de caracterização dos materiais utilizados na construção dos muretes*

Material	Origem	Ensaio
Areias (de rio e areeiro)	Zona de Rio Maior	- análise granulométrica, baridade, massa volúmica, volume de vazios e teor de partículas finas (após condicionamento em estufa ventilada a 105 °C) - composição química
Pedra calcária (D<25 cm)	Zona de Rio Maior	- massa volúmica, porosidade, composição química, resistência mecânica, análise granulométrica (***)
Cal aérea hidratada	Lusical, Calcidrata	Análises química e granulométrica
Água	Rede pública	--
Argamassa (*)	Traço – 1:3 (1,5:1,5)	- Espalhamento, módulo de elasticidade, velocidade de propagação de ultrasons, resistência à flexão e à compressão, absorção de água por capilaridade, massa volúmica, porosidade, profundidade de carbonatação, aderência a suporte (pedra), permeabilidade ao vapor de água e retracção (fig. 2) - registo periódico de temperatura e humidade do local de cura dos provetes - registo de massas durante endurecimento
Muretes (**)	--	- Profundidade de carbonatação, absorção de água sob baixa pressão, massa volúmica real e aparente e porosidade aberta da argamassa de assentamento - registo contínuo da retracção (fig. 3) - registo periódico de temperatura e humidade no local de cura (vd. fig. 1) - massa volúmica dos muretes (***)

(\*) – Durante os trabalhos foram retiradas amostras diárias de argamassa, com as quais se produziram diversos provetes de dimensões 4cmx4cmx16cm. Alguns destes provetes foram ensaiados aos 30 e outros aos 90 dias; o último grupo será ensaiado à data dos ensaios mecânicos sobre os muretes.

(\*\*) – Foram também efectuados diversos ensaios sobre os muretes aos 30 e aos 90 dias. Alguns ensaios, como a determinação da profundidade de carbonatação e retracção, são efectuados sobre a mesma argamassa (usada em simultâneo no fabrico dos muretes e dos provetes de 4cmx4cmx16cm). Os muretes M57 a M62 foram construídos com 75% da argamassa utilizada nos restantes.

(\*\*\*) – Ensaio ainda não realizado.

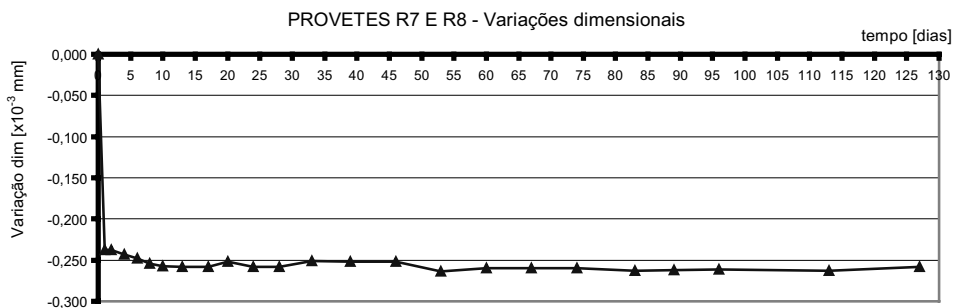


Fig. 2 – Retracção nos provetes R7 e R8 (Agosto a Dezembro/2002), após desmoldagem

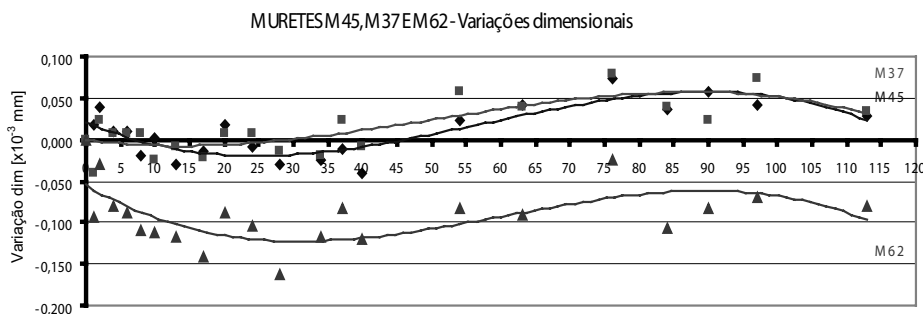


Fig. 3 – Retracção nos muretes M37, M45 e M62 (Agosto a Novembro/2002)

## 6. CONCLUSÃO

A noção cada vez maior da necessidade de protecção do património edificado, classificado ou não, e sua transmissão às gerações vindouras, tem sido acompanhada pelo desenvolvimento de diversas técnicas e materiais de consolidação e reforço estrutural dos edifícios antigos, nomeadamente os de alvenaria de pedra tradicional.

Nesta comunicação deu-se conta das principais soluções existentes e do trabalho de investigação em curso, que deverá determinar com rigor a eficácia das soluções aplicadas sobre os modelos experimentais construídos para o efeito (que apresentam, por hipótese, idênticas características físicas, mecânicas e de cura), tendo em vista a obtenção de recomendações de projecto e de execução a aplicar em paredes de edifícios antigos.

## 7. AGRADECIMENTO

Agradece-se às seguintes empresas que apoiaram e patrocinaram até à presente data a totalidade do trabalho experimental efectuado: Grupo EDIFER, SECIL MARTINGANÇA, SECIL OUTÃO, BETÃO LIZ, CIMIANTO, ENSUL, CONSTRUT. DO INFANTADO, LUSICAL, CODIMETAL.

## REFERÊNCIAS

1. APPLETON, João A. S. - *Edifícios Antigos - Contribuição para o estudo do seu comportamento e das acções de reabilitação a emprender*. Programa de investigação apresentado a concurso para provimento na categoria de investigador-coordenador, LNEC. Lisboa, 1991

2. DECRETO-LEI nº 38382, de 7 de Agosto de 1951 - *Regulamento Geral das Edificações Urbanas*. Imprensa Nacional Casa da Moeda. Lisboa, 1986
3. MONTEIRO, Pedro P. M. – *Intervenção em Edifícios Antigos com Preservação de Paredes*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia de Estruturas. IST. Lisboa, Maio de 1995
4. NERO, J. M. Gaspar; APPLETON, Júlio A.; GOMES, Abdias M. – *As Argamassas Tradicionais no Parque Edificado de Lisboa: Uma Colaboração para o seu Conhecimento*. 2º Encontro Sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios, LNEC, Lisboa, 1994.
5. PINHO, Fernando F. S. - *Paredes de Edifícios Antigos em Portugal*. Coleção Edifícios. Nº 8. LNEC, Lisboa, Dezembro de 2000
6. PONTES, J. Pereira; MANSO, A. Costa - *Anomalias mais Frequentes em Edifícios Antigos em Lisboa*. 2º Encontro Sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios, LNEC, Lisboa, 1994.
7. VEIGA, M. Rosário et al. – *Metodologias para a Caracterização e Conservação de Argamassas de revestimento de Edifícios Antigos*. Relatório Final do Projecto OLDRENDERS, co-financiado pela Agência de Inovação. Lisboa, Outubro de 2001.