

TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO DE PATOLOGIAS EM EDIFÍCIOS

JOANA ALEXANDRA DE ALMEIDA FERREIRA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professora Doutora Maria Helena Póvoas Corvacho

JANEIRO DE 2010

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2009/2010

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2008/2009 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2008.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

*Antes de Intervi,
Diagnosticar*

RESUMO

As construções, em geral, estão sujeitas à acção de diversos agentes de degradação como a água, as variações de temperatura, o gelo/degelo, a presença de sais solúveis, a poluição, a biodeterioração. Podem sofrer processos de degradação provocados por erros humanos nas diferentes fases da sua construção (concepção, projecto, execução e utilização). Além disso, podem ser afectados por desastres naturais.

Torna-se, então necessário avaliar o tipo e o nível de deterioração dos elementos construtivos e identificar as suas causas, de modo a poder proceder à reabilitação e a evitar, se possível, a progressão dessas anomalias.

A identificação das causas a partir dos seus efeitos é uma tarefa complexa, quer pela dificuldade em estabelecer relações biunívocas entre ambos, quer pela coexistência de diversos pares causa-efeito que, por vezes, se condicionam mutuamente e se confundem.

Para o conhecimento do estado patológico dos materiais e consequente diagnóstico de anomalias é necessário o recurso a diversas técnicas quer *in situ* quer laboratoriais. Podemos dividir as técnicas quanto ao grau de destruição (destrutivas, parcialmente destrutivas, não destrutivas), princípios em que se baseiam, resultados obtidos, elementos ou materiais a que se aplicam, objectivos principais, tipo de tecnologia utilizada.

O principal objectivo deste trabalho é fazer uma recolha de informação sobre algumas técnicas de diagnóstico de patologias existentes de forma a propor um conjunto de procedimentos expeditos para determinados cenários de patologias. Pretende-se, ainda, exemplificar a sua aplicação.

PALAVRAS-CHAVE: Patologias, Causas das Patologias, Diagnóstico, Técnicas de Diagnóstico, Reabilitação.

ABSTRACT

Buildings are affected by several degradations agents, such as water, temperature variations, freezing/thawing, presence of soluble salts, pollution, biodeterioration. Degradation can be caused by human errors that may happen at any of different stages of a building construction (conception, design, building, use). Besides, building may also be affected by natural disasters.

Therefore, it is necessary to evaluate the type and level of deterioration of the building elements and to identify their causes, in order to carry out the rehabilitation and to stop, when possible, the progression of these anomalies.

Identifying causes by studying theirs affects is a complex task, because it is difficult to establish the two-way relationship between them and because of the coexistence of several cause/effects, pairs that may influence each other and that may be difficult to identify either as cause or effect.

The study of the pathological state of materials and subsequent diagnosis of anomalies, it is necessary to use different *in situ* and laboratorial techniques. These techniques can be classified according to the degree of destruction (destructive, partially destructive, non-destructive), the principles on which they are based, elements or materials to which they can be applied, goals and type of technology used.

The purpose of the present study aims at collecting information on some techniques to diagnose pathologies, in order to propose a set of expedite procedures for particular cases of pathologies. It also aims at exemplifying the application of these procedures.

KEYWORDS: Pathologies, Causes of Pathologies, Diagnosis, Diagnostic Techniques, Rehabilitation.

ÍNDICE GERAL

RESUMO	I
ABSTRACT	III
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	1
1.2. INTERESSE E OBJECTIVOS DO TRABALHO	2
1.3. ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA DO TEXTO	2
2. PATOLOGIA DOS EDIFÍCIOS E DOS SEUS MATERIAIS.....	3
2.1. GENERALIDADES	3
2.2. ANOMALIAS DAS DIFERENTES PARTES DA CONSTRUÇÃO	4
2.2.1. LOCAL DE IMPLANTAÇÃO	4
2.2.2. ENVOLVENTE.....	5
2.2.2.1. Fachadas e paredes exteriores.....	5
2.2.2.2. Coberturas.....	6
2.2.2.3. Portas exteriores e janelas.....	7
2.2.3. INTERIORES.....	8
2.2.3.1. Entradas e zonas comuns interiores.....	8
2.2.3.2. Cozinhas e casas de banho.....	8
2.2.3.3. Tectos, pavimentos, paredes e caixilharia interior.....	8
2.3. PATOLOGIA DOS PRINCIPAIS MATERIAIS.....	9
2.3.1. PATOLOGIA DO BETÃO ARMADO	10
2.3.2. PATOLOGIA DA ALVENARIA	12
2.3.3. PATOLOGIA DA MADEIRA	13
2.4. CAUSAS DAS ANOMALIAS	15
2.4.1. CAUSAS DE ANOMALIAS COM ORIGEM HUMANA	16
2.4.2. OUTRAS CAUSAS	17
2.4.3. AGENTES DE DETERIORAÇÃO	18
2.4.3.1. Água.....	18
2.4.3.2. Variações de temperatura.....	20
2.4.3.3. O gelo/degelo.....	20

2.4.3.4. Presença de sais solúveis	21
2.4.3.5. A poluição atmosférica	21
2.4.3.6. Biodeterioração	21
2.5. QUADRO SÍNTESE	22

3.TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO

3.1. GENERALIDADES

3.2. ESTUDO DE UM DIAGNÓSTICO

3.2.1. PRINCÍPIOS GERAIS DE UM DIAGNÓSTICO.....

3.2.2. METODOLOGIA DE UM DIAGNÓSTICO

3.3. ANÁLISE DOCUMENTAL

3.3.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS.....

3.3.2. RECOLHA DE INFORMAÇÃO.....

3.3.3. DOCUMENTAÇÃO

3.4. TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO

3.4.1. TIPOS DE TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO

3.4.2. INSPECÇÃO VISUAL.....

3.4.3. TÉCNICAS IN SITU

3.4.3.1. Classificação de algumas técnicas in situ

3.4.3.2. Ensaio de arrancamento por tracção (Pull-off).....

3.4.3.3. Aparelho de Martinet-Baronnie

3.4.3.4. Termogramas

3.4.3.5. Testemunhos.....

3.4.3.6. Comparador e medidor óptico de fissuras

3.4.3.7. Fissurómetro simples

3.4.3.8. Dilatómetro ou comparador digital, também conhecido por fissurómetro electrónico

3.4.3.9. Régua graduada ou corredeiras ou extensómetros mecânicos (plástico, metal ou vidro) e extensómetros eléctricos

3.4.3.10. Paquímetro digital ou mecânico com base de 2 ou 3 pontos (parafusos).....

3.4.3.11. Observação boroscópica de cavidades e fendas – Boroscópio

3.4.3.12. Esclerómetro de Schmidt

3.4.3.13. Ensaio expedito para determinação da permeabilidade aparente do betão ao ar e à água .

3.4.3.14. Determinação in situ do teor de cloretos de betão.....

3.4.3.15. Indicador de fenolftaleína	56
3.4.3.16. Técnica dos potenciais eléctricos	57
3.4.3.17. Técnica da resistência de polarização	57
3.4.3.18. Avaliação do risco de corrosão activa das armaduras através da medição da resistividade do betão	57
3.4.3.19. Medidores de recobrimento	58
3.4.3.20. Detecção de delaminações superficiais por percussão, arrastamento de correntes ou aparelhos de rodas dentadas	58
3.4.3.21. Resistograph	59
3.4.3.22. Laboratório compacto e espectro-fotómetro portáteis	59
3.4.3.23. Tubo de Karsten	60
3.4.3.24. Kit de ensaio – Speedy	61
3.4.3.25. Humidímetros	61
3.4.3.26. Higrómetros e psicrómetros	62
3.4.3.27. Termómetros, termopares e termistores	63
3.4.3.28. A Importância da Realização de Técnicas de Ensaio In Situ	63
3.4.4. TÉCNICAS DE ENSAIO LABORATORIAIS	64

4. POSSÍVEL APLICAÇÃO PRÁTICA. REFLEXÕES

4.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS	77
4.2. HABITAÇÃO 1	77
4.2.1. RECOLHA DE INFORMAÇÃO	77
4.2.2. INSPECÇÃO VISUAL	78
4.2.3. PATOLOGIA 1	79
4.2.3.1. Descrição da patologia	79
4.2.3.2. Técnicas de ensaio e parâmetros medidos/avaliados	79
4.2.3.3. Possíveis resultados e respectivo diagnóstico	79
4.2.4. PATOLOGIA 2	81
4.2.4.1. Descrição da patologia	81
4.2.4.2. Técnicas de ensaio e parâmetros medidos/avaliados	81
4.2.4.3. Possíveis resultados e respectivo diagnóstico	81
4.2.5. PATOLOGIA 3	83
4.2.5.1. Descrição da patologia	83
4.2.5.2. Técnicas de ensaio e parâmetros medidos/avaliados	83

4.2.5.3. Possíveis resultados e respectivo diagnóstico.....	84
4.2.6. PATOLOGIA 4.....	85
4.2.6.1. Descrição da patologia.....	85
4.2.6.2. Técnicas de ensaio e parâmetros medidos/avaliados.....	85
4.2.6.3. Possíveis resultados e respectivo diagnóstico.....	86
4.3. HABITAÇÃO 2.....	87
4.3.1. RECOLHA DE INFORMAÇÃO.....	87
4.3.2. INSPECÇÃO VISUAL.....	87
4.3.3. PATOLOGIA 1.....	88
4.3.3.1. Descrição da patologia.....	88
4.3.3.2. Técnicas de ensaio e parâmetros medidos/avaliados.....	88
4.3.3.3. Possíveis resultados e respectivo diagnóstico.....	88
4.3.4. PATOLOGIA 2.....	90
4.3.4.1. Descrição da patologia.....	90
4.3.4.2. Técnicas de ensaio e parâmetros medidos/avaliados.....	90
4.3.4.3. Possíveis resultados e respectivo diagnóstico.....	91
4.3.5. PATOLOGIA 3.....	92
4.3.5.1. Descrição da patologia.....	92
4.3.5.2. Técnicas de ensaio e parâmetros medidos/avaliados.....	92
4.3.5.3. Possíveis resultados e respectivo diagnóstico.....	92
4.3.6. PATOLOGIA 4.....	94
4.3.6.1. Descrição da patologia.....	94
4.3.6.2. Técnicas de ensaio e parâmetros medidos/avaliados.....	94
4.3.6.3. Possíveis resultados e respectivo diagnóstico.....	94
4.3.7. PATOLOGIA 5.....	96
4.3.7.1. Descrição da patologia.....	96
4.3.7.2. Técnicas de ensaio e parâmetros medidos/avaliados.....	96
4.3.7.3. Possíveis resultados e respectivo diagnóstico.....	96
4.4. HABITAÇÃO 3.....	97
4.4.1. RECOLHA DE INFORMAÇÃO.....	97
4.4.2. INSPECÇÃO VISUAL.....	97
4.4.3. PATOLOGIA 1.....	98
4.4.3.1. Descrição da patologia.....	98

4.4.3.2. Técnicas de ensaio e parâmetros medidos/avaliados	98
4.4.3.3. Possíveis resultados e respectivo diagnóstico	98
4.4.4. PATOLOGIA 2	100
4.4.4.1. Descrição da patologia.....	100
4.4.4.2. Técnicas de ensaio e parâmetros medidos/avaliados	100
4.4.4.3. Possíveis resultados e respectivo diagnóstico	100
4.4.5. PATOLOGIA 3	101
4.4.5.1. Descrição da patologia.....	101
4.4.5.2. Técnicas de ensaio e parâmetros medidos/avaliados	101
4.4.5.3. Possíveis resultados e respectivo diagnóstico	101
4.4.6. PATOLOGIA 4	102
4.4.6.1. Descrição da patologia.....	102
4.4.6.2. Técnicas de ensaio e parâmetros medidos/avaliados	102
4.4.6.3. Possíveis resultados e respectivo diagnóstico	102
5.CONCLUSÃO	105
5.1. CONCLUSÕES	105
5.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	106
BIBLIOGRAFIA.....	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.2.1 – Partes principais de um edifício	4
Fig.2.2 – Anomalias em fachadas e paredes exteriores	5
Fig.2.3 – Tipologia das coberturas	6
Fig.2.4 – Anomalias em cobertura inclinada	7
Fig.2.5 – Anomalias em cobertura plana	7
Fig.2.6 – Anomalias em pavimentos, paredes e caixilharia interior	9
Fig.2.7 – Anomalias em paredes e caixilharia interior	9
Fig.2.8 – Resumo das principais causas e mecanismos da deterioração do betão simples e armado	10
Fig.2.9 – Resumo dos principais agentes/mecanismos de deterioração da alvenaria e anomalias a eles associadas, no componente ou elemento e nas unidades, argamassas.....	12
Fig.2.10 – Rotura de pedras nos pontos de inserção dos gatos e fissuras (lado esquerdo) e oxidação de peças metálicas (lado direito).....	13
Fig.2.11 – Presença de ataques de insectos xilófagos (lados esquerdo e centro) e deformação do pavimento devido a ataque de térmitas (lado direito)	15
Fig.2.12 – Principais origens, vias de penetração e anomalias provocadas pela água nos edifícios ...	19
Fig.2.13 – Principais agentes e vias de penetração da água nos edifícios	19
Fig.3.1 – A observação pode incidir sobre a causa ou sobre o efeito	38
Fig.3.2 – Técnicas mecânicas – parâmetros medidos/avaliados e tipo de anomalias	45
Fig.3.3 – Técnicas sensoriais – parâmetros medidos/avaliados e tipo de anomalias	46
Fig.3.4 – Técnicas electroquímicas – parâmetros medidos/avaliados e tipo de anomalias	46
Fig.3.5 – Técnicas químicas – parâmetros medidos/avaliados e tipo de anomalias	47
Fig.3.6 – Técnicas eléctricas e hidrodinâmicas – parâmetros medidos/avaliados e tipo de anomalias	47
Fig.3.7 – Técnicas térmicas – parâmetros medidos/avaliados e tipo de anomalias.....	48
Fig.3.8 – Equipamento de ensaios de arrancamento	49
Fig.3.9 – Termogramas e imagem observada termograficamente	51
Fig.3.10 – Comparador de fissuras (fig. esquerda); Medidor Óptico (fig. direita)	52
Fig.3.11 – Fissurómetro	52
Fig.3.12 – Extensómetro mecânico.....	53
Fig.3.13 – Paquímetro digital	54
Fig.3.14 – Ensaio esclerométrico e ábaco de correlação	54
Fig.3.15 – Equipamento para determinação <i>in situ</i> do teor de cloretos de betão.	56

Fig.3.16 – Medidor de recobrimento.....	58
Fig.3.17 – <i>Resistograph</i>	59
Fig.3.18 – Tubo de Karsten	60
Fig.3.19 – Kit de ensaio: <i>Speedy</i>	61
Fig.3.20 – Humidímetro	62

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Resumo das deteriorações mais importantes nas estruturas de betão.....	10
Quadro 2.2 – Diferentes patologias nas construções em madeira	14
Quadro 2.3 – Principais factores geradores de anomalias muito comuns nos edifícios habitacionais .	16
Quadro 2.4 – Causas de anomalias não humanas.....	17
Quadro 2.5 – Agentes de deterioração da pedra e da madeira.....	22
Quadro 2.6 – Anomalias correntes e respectivas causas do Exterior dos edifícios.	23
Quadro 2.7 – Anomalias correntes e respectivas causas do Interior dos edifícios.	27
Quadro 2.8 – Síntese das anomalias mais frequentes na generalidade dos edifícios	30
Quadro 2.9 – Síntese das anomalias mais frequentes em edifícios de betão antigos.	30
Quadro 2.10 – Síntese das anomalias mais frequentes em edifícios de betão armado.	31
Quadro 3.1 – Resumo dos aspectos a ter em conta a inspecção de um imóvel.....	39
Quadro 3.2 – Inspeção visual: situações a ter em atenção e problemas associado	40
Quadro 3.3 – Aspectos a ter em conta no exame de uma fenda	43
Quadro 3.4 – Lista de ensaios laboratoriais.....	66
Quadro 4.1 – Técnicas de ensaio e parâmetros avaliados/medidos aplicados à Patologia 1 da Habitação 1.	79
Quadro 4.2 – Técnicas de ensaio e parâmetros avaliados/medidos aplicados à Patologia 2 da Habitação 1.	81
Quadro 4.3 – Técnicas de ensaio e parâmetros avaliados/medidos aplicados à Patologia 3 da Habitação 1.	83
Quadro 4.4 – Técnicas de ensaio e parâmetros avaliados/medidos aplicados à Patologia 4 da Habitação 1.	85
Quadro 4.5 – Técnicas de ensaio e parâmetros avaliados/medidos aplicados à Patologia 1 da Habitação 2.	88
Quadro 4.6 – Técnicas de ensaio e parâmetros avaliados/medidos aplicados à Patologia 2 da Habitação 2.	90
Quadro 4.7 – Técnicas de ensaio e parâmetros avaliados/medidos aplicados à Patologia 3 da Habitação 2.	92
Quadro 4.8 – Técnicas de ensaio e parâmetros avaliados/medidos aplicados à Patologia 4 da Habitação 2.	94
Quadro 4.9 – Técnicas de ensaio e parâmetros avaliados/medidos aplicados à Patologia 5 da Habitação 2.	96
Quadro 4.10 – Técnicas de ensaio e parâmetros avaliados/medidos aplicados à Patologia 1 da Habitação 3.	98

Quadro 4.11 – Técnicas de ensaio e parâmetros avaliados/medidos aplicados à Patologia 2 da Habitação 3.....	100
Quadro 4.12 – Técnicas de ensaio e parâmetros avaliados/medidos aplicados à Patologia 3 da Habitação 3.....	101
Quadro 4.13 – Técnicas de ensaio e parâmetros avaliados/medidos aplicados à Patologia 3 da Habitação 3.....	102
Quadro 4.14 – Risco de corrosão.....	103
Quadro 4.15 – Nível de corrosão avaliado pela taxa de corrosão	103
Quadro 4.16 – Nível de corrosão avaliado pela resistividade	103

1

INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Em Portugal, o ritmo de construção de novos edifícios é superior à média da União Europeia. No entanto, a reabilitação de edifícios não tem avançado, pelo menos com a rapidez que se exigiria, verificando-se uma degradação crescente dos centros urbanos. É urgentemente necessário inverter esta situação (Freitas, et al.).

A deficiente qualidade dos projectos, a falta de controlo em obra, a utilização de materiais de baixa qualidade e de novos materiais e técnicas construtivas e a utilização de mão-de-obra não qualificada, têm conduzido a uma redução da qualidade das habitações recentes com o aparecimento precoce de anomalias ou “doenças” (OZ09).

Antes de qualquer intervenção num edifício ou numa estrutura, importa saber qual o seu estado de conservação, quais as anomalias existentes e a sua extensão, de forma a ser possível actuar de uma forma racional e eficaz. Só assim é possível garantir, com alguma segurança, o sucesso das intervenções de reabilitação (STB09).

Muitas vezes isso não se verifica, e perante as patologias apresentadas pelos edifícios, o sentido de urgência leva a que se parta para uma intervenção sem que se determine a causa, se avalie a importância e se estabeleça a extensão dos problemas em presença (OZ09).

Este facto conduz, geralmente, a intervenções desajustadas, que não surtem efeito, ocultam os sintomas e podem, até, agravar esses problemas (OZ09).

Torna-se, portanto fundamental diagnosticar correctamente os problemas apresentados pelos edifícios, dando aos responsáveis pela manutenção ou conservação a possibilidade de optar pela solução mais adequada às suas necessidades (OZ09).

Os técnicos de engenharia e de arquitectura dispõem hoje de um vasto conjunto de ferramentas capazes de fornecer apoio muito relevante à detecção de anomalias e suas consequências (Appleton, 2002).

No entanto, o diagnóstico acerca do estado de conservação e segurança não pode depender exclusivamente desses meios, requerendo o exercício permanente da experiência dos técnicos que, olhando, sabem “ler” o edifício, entendê-lo na sua complexidade, orientando e disciplinando, desse modo, o recurso às referidas técnicas (Appleton, 2002).

Conjugar a observação e reflexão, de natureza mais empírica, com a realização de sondagens, inspecções e ensaios e com a interpretação dos respectivos resultados é, pois, a mais difícil tarefa que cabe aos técnicos (Appleton, 2002).

1.2. INTERESSE E OBJECTIVOS DO TRABALHO

Com este trabalho pretende-se fazer uma recolha de informação sobre técnicas de diagnóstico de patologias e mediante determinados cenários de patologias propor as técnicas que melhor se adequam.

Os objectivos deste trabalho são os seguintes:

- Conhecer as anomalias não estruturais mais correntes detectáveis nas diferentes partes do edifício: local de implantação, envolvente e interiores;
- Identificar e classificar as causas das anomalias e de alguns agentes responsáveis pela deterioração dos edifícios e seus materiais;
- Relacionar as anomalias mais correntes referidas com as respectivas causas prováveis.
- Recolha de informação e classificação de algumas técnicas existentes de diagnóstico de edifícios;
- Relação entre as técnicas de diagnóstico abordadas e um conjunto de patologias observadas em diferentes edifícios.

1.3. ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA DO TEXTO

Este trabalho encontra-se dividido em cinco capítulos:

- Capítulo 1 – *Introdução*: é feita uma introdução breve ao tema da tese. Descrevem-se ainda os principais objectivos que se pretendem atingir com o estudo realizado e a estruturação do trabalho;
- Capítulo 2 – *Patologia dos edifícios e dos seus materiais*: são descritas as anomalias mais correntes nas diversas partes dos edifícios (local de implantação, envolvente e interiores); descrevem-se as principais causas das anomalias: origem humana, outras causas e alguns agentes de deterioração. Relacionam-se num quadro síntese as anomalias mais correntes com as respectivas causas;
- Capítulo 3 – *Técnicas de diagnóstico*: serão recolhidas e estudadas resumidamente as técnicas existentes de diagnóstico de patologias de edifícios. Estas técnicas incluem a simples inspecção visual, ensaios *in situ* e laboratoriais, classificadas em total ou parcialmente destrutivas ou não destrutivas;
- Capítulo 4 – *Possível aplicação prática. Reflexões*: é feita uma reflexão da aplicação prática de algumas técnicas de diagnóstico, anteriormente descritas, em patologias existentes em três edifícios com características distintas;
- Capítulo 5 apresenta-se as conclusões finais do trabalho e propõem-se linhas de investigação a desenvolver no futuro.

2

PATOLOGIA DOS EDIFÍCIOS E DOS SEUS MATERIAIS

2.1. GENERALIDADES

Ao longo da vida de um edifício são, frequentemente, detectadas insuficiências ou desajustamentos do seu desempenho, face aos requisitos a que deveria obedecer. Estas insuficiências podem ser originadas no próprio edifício, devidas a erros de projecto ou de execução, resultantes da acção do tempo (deterioração, danificação), ou provocadas pela alteração de circunstâncias externas que originam um maior grau de exigência ou expectativa (Cóias, 2006).

O levantamento das insuficiências e a pesquisa das suas causas são actividades que fazem apelo a uma disciplina que actualmente se designa por patologia das construções, e que apenas deveria ser da responsabilidade de profissionais com grande experiência no domínio da concepção e construção do tipo de obra em questão (Cóias, 2006).

O autor Luis Villegas Cabredo (Cabredo, 2009) divide o estudo da patologia em três partes que compara a uma obra “teatral em três actos”: existência de um problema, investigação do mesmo e, se viável, proposta de uma reabilitação.

No “primeiro acto”, o técnico encontra-se perante as anomalias, ou sinais visíveis de algo que não está correcto, que manifestam a existência de um defeito na construção (Cabredo, 2009).

No “segundo acto”, dá-se início a uma metodologia de estudo que, normalmente, segue as seguintes premissas: reconhecimento, pré-diagnóstico, investigação detalhada e diagnóstico. Nesta importante fase são fundamentais os conhecimentos e experiência (ou “profissionalismo”) do técnico responsável. O técnico deve estar na posse de todos os dados relevantes sobre as anomalias de modo a poder determinar todas as causas possíveis. Este necessita de um vasto leque de conhecimentos, desde as causas que poderão estar na origem da anomalia e dos respectivos fenómenos envolvidos às características e comportamentos dos diferentes materiais e técnicas aplicadas (Gonçalves, 2004).

Finalmente, nos casos habituais, o “terceiro acto” propõe a terapêutica, a reparação ou reforço, que seja adequada. Esta fase não será desenvolvida nesta dissertação, mas não deixa de ser importante referi-la (Cabredo, 2009).

Uma classificação sistemática das insuficiências das construções com a capacidade de abranger a globalidade das situações seria certamente difícil de conseguir e, provavelmente, pouco útil. Surgem, deste modo, classificações especializadas, com base na tecnologia e na tipologia das construções, nos materiais, etc. Assim, justifica-se a consideração separada dos **edifícios antigos** e dos **edifícios recentes**, cada uma com materiais, tecnologias e tipologias próprias (Cóias, 2006).

Factores diversos estão na origem da degradação dos materiais e, conseqüentemente, dos edifícios, quer sejam de construção antiga ou recente. Os edifícios antigos têm vindo a ser substituídos por outros mais modernos na preferência da população local, sendo por isso deixados ao abandono, o que se traduz uma degradação profunda do edifício ao longo do tempo (Luso, et al.).

Neste capítulo abordam-se as anomalias mais correntes nos edifícios antigos e recentes sistematizadas segundo a parte da construção e segundo o tipo de material a que se referem, assim como as causas dessas anomalias (de origem humana e não humana) e os agentes da deterioração.

2.2. ANOMALIAS DAS DIFERENTES PARTES DA CONSTRUÇÃO

As anomalias poderão ser separadamente classificadas quanto às quatro partes principais em que pode ser considerado dividido um edifício: local de implantação, envolvente, interiores, estrutura e fundações, como se mostra na Fig.2.1 (Cóias, 2006). Não se irá abordar as anomalias da estrutura e fundações pois envolve a participação de outras especialidades, assim como o conjunto de sistemas instalados no edifício.



Fig.2.1 - Partes principais de um edifício

2.2.1. LOCAL DE IMPLANTAÇÃO

O local onde se situa o edifício tem uma grande influência na sua durabilidade e manutenção, principalmente por causa das condições ambientais envolvidas. Consoante a sua localização, os edifícios estão sujeitos a diferentes condições ambientais, que pressupõem diferentes concepções, materiais e pormenores construtivos. Os edifícios situados perto da orla marítima, por exemplo, estão sujeitos a uma deterioração mais rápida do que os outros situados no interior.

Um dos principais problemas relacionado com a implantação é a construção em terrenos inadequados, como leitos de cheia, aterros, terrenos com grande inclinação, terrenos com características desfavoráveis ao sismo. Portanto, uma má escolha pode significar encargos de manutenção acrescidos, danos materiais importantes e, no limite, a perda total do edifício.

As fachadas a Sul e a Poente, por se encontrarem mais expostas à incidência solar e à chuva batida pelo vento, exigem uma melhor e adequada concepção das fachadas e do guarnecimento dos vãos.

Outro problema importante é a realização de grandes aterros ou escavações na vizinhança de um edifício, que podem alterar o equilíbrio em que se encontra o maciço terroso que o suporta.

2.2.2. ENVOLVENTE

Trata-se de tudo o que está directamente exposto aos agentes climáticos, acções de choque e erosão, acção química da poluição e dos sais contidos nos materiais, na água e no solo (Veiga, et al., 2004) (Cóias, 2006). Deve ser resistente a esses agentes, esteticamente agradável e, ao mesmo tempo, impedir a entrada da água para o interior do edifício e isolá-lo termicamente.

2.2.2.1. Fachadas e paredes exteriores

Existe um grande número de possibilidades quanto à tipologia e ao revestimento das fachadas, já no que respeita às paredes exteriores a variabilidade não é tão grande. As construções antigas são geralmente de pedra ou de tijolo maciço, embora se encontrem paredes em frontal tecido; as construções mais recentes são de tijolo cerâmico ligeiro ou de blocos de cimento, mas também podem ser de betão armado ou de blocos de betão celular ou de material autoclavado.

O acabamento da face exposta é, normalmente, feito com um reboco sobre o qual se aplica uma pintura, ou através do revestimento com azulejo ou com pedra.

As manifestações patológicas com maior expressão nas paredes são os fenómenos de fissuração e os defeitos associados à acção da humidade. Das manifestações de humidade potenciadoras de anomalias em paredes convém salientar aquelas que dizem respeito à humidade de terreno, à humidade de precipitação e à humidade de condensação.

Estando tão expostos, os revestimentos e as juntas são frequentemente os elementos cuja degradação ocorre mais depressa e é mais visível e que, em consequência, mais prematuramente suscitam a necessidade de intervenções de conservação e restauro (Veiga, et al., 2004).

Dada a sua maior exposição, as varandas existentes nas fachadas colocam, frequentemente, problemas de estanquicidade, de isolamento térmico e de conservação dos materiais.



Fig.2.2 - Anomalias em fachadas e paredes exteriores

2.2.2.2. Coberturas

A cobertura reveste o topo do edifício, protege o seu interior das intempéries do ambiente exterior (como a neve, a chuva, o vento, entre outros), também concede aos utilizadores privacidade e conforto (através de protecção acústica e térmica) e capta e distribui as águas pluviais (Cóias, 2006) (Cruz, et al., 2009).

Uma boa concepção e construção da cobertura têm reflexos muito benéficos na durabilidade do edifício, na economia de energia e no conforto das habitações, prolongando a vida útil do edifício.

Quanto à tipologia das coberturas, temos (ver Fig.2.3):

- **Coberturas inclinadas** com duas ou mais “águas” (pendentes por onde escorre a água da chuva), revestidas com telhas cerâmicas, ou em alguns casos com chapas ou placas metálicas (chumbo, cobre, zinco, nalguns casos resultantes de substituição).
- **Coberturas planas**, em terraço, com impermeabilização e isolamento, revestidas por asfalto ou ladrilhos de diversos tipos (dos quais se destacam os cerâmicos) (Cóias, 2004) (Gonçalves, 2004).



Fig.2.3 – Tipologia das coberturas

As manifestações patológicas mais importantes que ocorrem nas coberturas estão relacionadas com a entrada de água da chuva, através delas, para o interior dos edifícios. As anomalias neste elemento têm a ver com os seus revestimentos e com o sistema de drenagem das águas pluviais.

As anomalias mais comuns que se verificam nos edifícios de cobertura inclinada são (Cruz, et al., 2009):

- Fractura e deslocamento das telhas;
- Descasque das telhas por acção do gelo-degelo;
- Acumulação de lixos na cobertura (musgos e detritos);
- Aumento do peso da cobertura;
- Danificação dos sistemas de drenagem de águas pluviais.



Fig.2.4 - Anomalias em cobertura inclinada

Nas coberturas planas, as principais patologias ocorrem nas telas de impermeabilização:

- Fissuração;
- Perfuração;
- Formação de pregas;
- Empolamentos (sobre elevações da impermeabilização);
- Arrancamento (levantamento da impermeabilização).



Fig.2.5 - Anomalias em cobertura plana

A duração dos revestimentos impermeabilizantes pode ser drasticamente reduzida, sobretudo, por uma concepção deficiente, mas também pela má qualidade dos materiais ou da sua aplicação.

Os remates da impermeabilização nas paredes circundantes, ou à volta de tubagens ou outras saliências e soleiras das portas são pontos particularmente sensíveis.

As juntas de dilatação são, igualmente, locais susceptíveis de originar problemas, especialmente, tal como acontece com as impermeabilizações, se a sua concepção ou execução forem deficientes (Paiva, et al., 2007).

2.2.2.3. Portas exteriores e janelas

Estes elementos constituem a caixilharia das fachadas do edifício. Um bom guarnecimento dos vãos tem reflexos muito importantes no conforto e na redução do consumo de energia (aquecimento).

Antigamente, o material mais corrente era a madeira, geralmente hoje em dia as portas e janelas são constituídas por madeira, PVC ou alumínio (Cóias, 2004).

Os tipos mais comuns de degradação dos materiais de portas e janelas resultam do conjunto de fenómenos que afectam os materiais que os constituem (madeira, metais, pedra), tendo como

consequência a sua perda de funcionalidade e operacionalidade, bem como a alteração do seu aspecto, por exemplo:

- Má vedação à água e ao ar;
- Mau funcionamento;
- Empenos e prisões;
- Deterioração precoce;
- Envelhecimento e degradação dos materiais não imputáveis à humidade;
- Mau isolamento do calor e do som;
- Baixo nível de protecção contra a intrusão.

2.2.3.INTERIORES

A presença de agentes de deterioração, particularmente da água, e a própria utilização (frequentemente desadequada) do edifício conduz à deterioração, mais ou menos rápida, dos revestimentos, acabamentos e componentes interiores. A sua manutenção regular é importante para evitar a degradação das condições de habilidade e de conforto do edifício.

2.2.3.1. Entradas e zonas comuns interiores

Fazem parte desta secção as áreas anexas, escadas, caves, garagens, sótãos e outras partes comuns.

As principais anomalias de entrada e acessos são a falta de resistência ao uso e ao desgaste dos revestimentos dos pavimentos e paredes.

Nas caves, arrecadações e garagens os principais problemas são a estanquicidade das zonas enterradas e a durabilidade dos materiais de revestimento, além da ventilação/renovação do ar.

2.2.3.2. Cozinhas e casas de banho

Trata-se de divisões que têm em comum a presença de equipamentos e instalações essenciais para o dia-a-dia, envolvendo a utilização de água, um importante agente de deterioração. Os principais problemas estão associados às fugas e infiltrações de água (que podem afectar também, os compartimentos vizinhos), à condensação de humidade, à deficiente ventilação, à reduzida durabilidade do equipamento e ao deficiente isolamento acústico.

2.2.3.3. Tectos, pavimentos, paredes e caixilharia interior

Os tectos e pavimentos constituem as duas superfícies dos diversos pisos do edifício. Os pavimentos separam horizontalmente os andares de um mesmo edifício, servindo de apoio aos ocupantes do edifício assim como a tudo que dentro dele se encontra. Os materiais de revestimento dos pavimentos mais utilizados são as madeiras, os cerâmicos e as pedras. As paredes interiores delimitam os vários compartimentos de cada piso, e também podem-se revestir de madeira ou de cerâmicos.

Os principais problemas são:

- A deterioração precoce dos revestimentos;
- A presença de humidade;

- O envelhecimento dos materiais;
- O deficiente isolamento sonoro e térmico, este último, particularmente, nos edifícios dotados de sistemas de aquecimento;
- A presença de fendilhação associada a movimentos estruturais é, também, uma anomalia frequente nesta parte do edifício.



Fig.2.6 - Anomalias em pavimentos, paredes e caixilharia interior



Fig.2.7 - Anomalias em paredes e caixilharia interior

2.3.PATOLOGIA DOS PRINCIPAIS MATERIAIS

As patologias podem ser sistematizadas segundo o tipo de material a que se referem. Os materiais mais comuns e que mais relevância têm para este estudo são o betão armado, a alvenaria e a madeira.

2.3.1. PATOLOGIA DO BETÃO ARMADO

Apresenta-se na Fig.2.8, um resumo das principais causas e mecanismos de deterioração do betão e do betão armado, que se sistematizam também no Quadro 2.1.

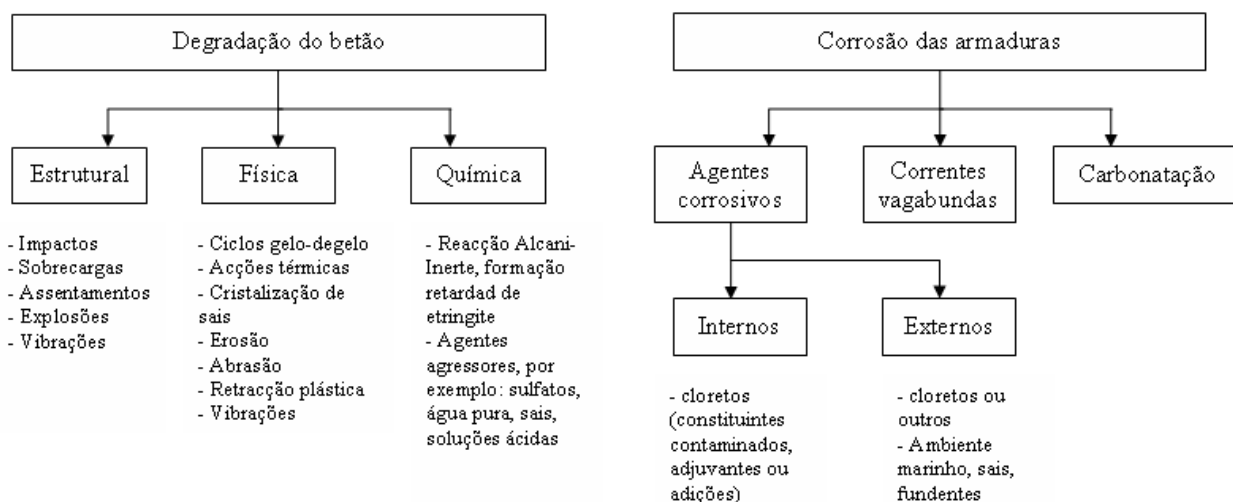


Fig.2.8 - Resumo das principais causas e mecanismos da deterioração do betão simples e armado (Cóias, 2006)

Quadro 2.1 – Resumo das deteriorações mais importantes nas estruturas de betão (Cóias, 2006)

Natureza do agente	Processo/mecanismo	Anomalia/defeito
MECÂNICA		
Carga prolongada	Fluência	Deformação permanente, fissuração
Carga cíclica	Fadiga	Deformação excessiva, fissuração, colapso
BIOLÓGICA		
Microrganismos	Produção de ácidos	Lixiviação
Organismos, plantas	Deposição de matéria orgânica/sujidade	Degradação do aspecto
QUÍMICA		
Ácido	Lixiviação	Desintegração
Água pura	Lixiviação	Desintegração
Sulfato	Formação de etringite e gesso	Expansão, desintegração
Alcali+sílica	RAS	Expansão
Alcali+pedra carbonatada	RAC	Expansão

Quadro 2.1 – Resumo das deteriorações mais importantes nas estruturas de betão (Cóias, 2006) (cont.)

Natureza do agente	Processo/mecanismo	Anomalia/defeito
Dióxido de carbono	Carbonatação generalizada	Despassivação das armaduras
Cloretos	Despassivação local	Corrosão por picada (<i>pitting</i>) das armaduras
Tensão-despassivação	Corrosão sob tensão, fragilização pelo hidrogénio	Rotura do pré-esforço
FÍSICA		
Baixa temperatura	Gelo	Desintegração
Variação de temperatura	Expansão	Encurtamento, dilatação. Deformação imposta
Humidade relativa	Retracção ou expansão	Encurtamento, dilatação. Deformação imposta
Temperatura	Gradiente	Deformação (curvatura)
Humidade relativa	Gradiente	Deformação (curvatura)
Gelo + sais de descongelamento	Remoção de calor	Escamação
Depósitos atmosféricos	Deposição de matéria orgânica/sujidade	Degradação do aspecto
USO		
Pisoteio, tráfego	Desgaste	Perda de função
Água corrente	Erosão	Danificação da superfície
Água turbulenta	Cavitação	Escavação da superfície

A carbonatação é um dos mecanismos mais correntes de deterioração do betão armado. O dióxido de carbono presente no ar penetra nos poros do betão e reage com o hidróxido de cálcio formando carbonato de cálcio e água. Este processo é acompanhado pela redução de alcalinidade do betão (Cóias, 2006).

Num betão homogéneo, a carbonatação progride com a frente paralela à superfície. Quando a frente de carbonatação atravessa o recobrimento das armaduras, o aço despassiva (devido à perda de alcalinidade), permitindo o início da sua corrosão (desde que existam água e oxigénio), comprometendo, deste modo, a durabilidade do betão (Cóias, 2006).

A taxa de carbonatação depende de vários factores, particularmente da permeabilidade do betão (quanto mais permeável, maior será a taxa de carbonatação) e da humidade relativa (a carbonatação ocorre mais facilmente quando a humidade relativa se situa entre 55 e 75 por cento) (Cóias, 2006).

A corrosão das armaduras é o defeito mais frequente das construções de betão armado que resulta da carbonatação do ar, pelo CO₂, com o conseqüente abaixamento de pH do betão, e, portanto, do seu efeito protector e da presença dos cloretos no betão que envolve as armaduras. Estas causas podem ser

agravadas pela presença de fissuras ou defeitos de compacidade, que permitem a penetração de agentes agressivos, pelo recobrimento insuficiente (Cóias, 2006).

2.3.2. PATOLOGIA DA ALVENARIA

Para além da patologia do componente ou elemento de alvenaria no seu conjunto (geralmente paredes, mas também embasamentos, colunas, arcos e abóbadas de diversos tipos), é adequado distinguir as anomalias das unidades que constituem a alvenaria (pedra, tijolo, terra), da argamassa de assentamentos e do revestimento de protecção existente (rebocos, pinturas, azulejos, entre outros.)

Na Fig.2.9 representa-se esquematicamente as principais causas ou agentes de deterioração da alvenaria e as anomalias a eles associados.

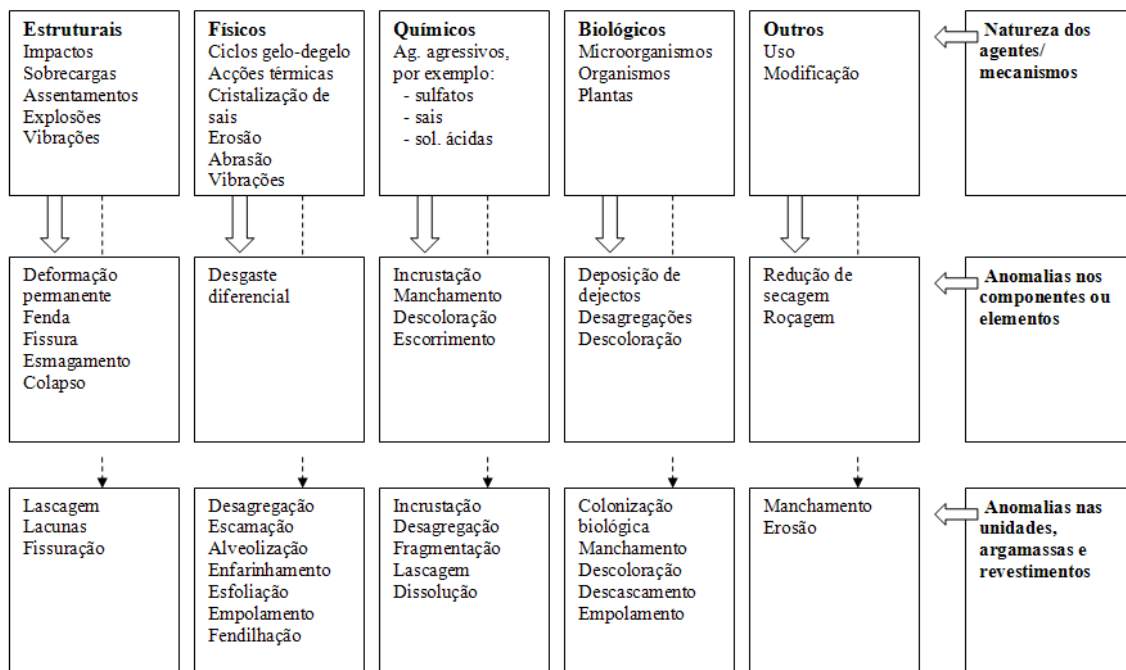


Fig. 2. 9 - Resumo dos principais agentes/mecanismos de deterioração da alvenaria e anomalias a eles associadas, no componente ou elemento e nas unidades, argamassas (Cóias, 2006).

As anomalias que afectam a apresentação de um edifício são estudadas, sobretudo, ao nível das unidades (pedra, tijolo), argamassas de assentamento e revestimentos de protecção.

Os revestimentos de pedra nem sempre correspondem ao incremento pretendido de qualidade e dignidade do edifício. Devido a erros ou omissões de projecto, erros de execução, má selecção de materiais, acções de origem mecânica exteriores, agentes atmosféricos e acções ambientais diversas surgem muitos casos patológicos. As anomalias que se distinguem são a descolagem e o desprendimento de placas, tornando-se particularmente graves por colocarem em risco a segurança física dos utentes dos espaços circundantes do edifício. Outras anomalias não tão importantes, mas que se prendem mais com questões éticas e com o mau desempenho do sistema são as manchas de carbonatação ou de humidade, a colonização biológica, a fendilhação de pedras e a rotura de pedras nos pontos de inserção e oxidação dos gatos (ver Fig.2.10) (Neto, et al., 2009) (Veiga, et al., 2009).



Fig. 2.10 - Ruptura de pedras nos pontos de inserção dos gatos e fissuras (lado esquerdo) e oxidação de peças metálicas (lado direito).

As argamassas são empregues nas alvenarias sob duas formas principais:

- Assentamento ou revestimento, com função estrutural que contribui para a coesão e solidez da alvenaria;
- Reboco, com a função de proteger a alvenaria e de valorizar esteticamente a construção.

Normalmente é revestida com uma pintura, ou com um barramento ou com placas de material pétreo, cerâmico ou outro.

Quanto aos rebocos, a anomalia mais frequente é a fendilhação, normalmente sob a forma “mapeada”. Esta anomalia é causada por defeitos de concepção, por retracção ou resistência inicial excessiva. Interessa salientar os efeitos das intervenções desajustadas, resultantes da utilização de materiais incompatíveis com os materiais tradicionais, como por exemplo o cimento *portland*, que tendem, a prazo, a destacar-se dos suportes de pedra e cal (Cóias, 2006).

Outro mecanismo também importante nos rebocos corresponde ao envelhecimento dos materiais, devido à acção dos agentes climáticos, eventualmente acelerado por uma força de uma deficiente composição da argamassa. A chuva e o vento provocam a erosão superficial dos rebocos.

Nos rebocos e revestimentos de paredes ocorrem anomalias como depósitos de sujidade e crostas negras.

A mais grave causa de deterioração dos revestimentos é a água, que penetra na alvenaria através de vários mecanismos. A evaporação desta água origina a cristalização dos sais solúveis nela presentes, a qual se manifesta sob a forma de eflorescências, criptoflorescências e alveolização, perda de coesão ou pulverização e deslocamento do suporte. Se a água presente na alvenaria gelar, pode ocorrer o deslocamento do suporte e a desagregação dos rebocos e revestimentos (Cóias, 2006).

2.3.3.PATOLOGIA DA MADEIRA

A madeira é um material com vasta aplicação na construção, cumprindo um papel essencial nas estruturas, pavimentos e coberturas de muitos edifícios existentes.

As principais patologias que ocorrem nas construções em madeiras estão descritas no Quadro 2.2 (Amorim, 2009).

Quadro 2.2 – Diferentes patologias nas construções em madeira

Patologias	Exemplos
<p>Alterações nas características físicas e químicas dos elementos de madeira ou derivados utilizados nas soluções construtivas</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Degradação superficial por apodrecimento, mudança de cor da superfície exposta ao sol que fica cinzenta; - Mudança de cor de um soalho por acção da luz ficando a parte do borne amarela e o cerne castanho-escuro, o que provoca diferenças de tonalidade; - Empenos das peças por secagem não controlada; - Dilatações ou retracções elevadas da madeira causadas por ajustamento às condições ambientais em serviço e que provocam aberturas de grandes juntas entre as peças ou empolamentos e outras deformações irreversíveis.
<p>Perda de aptidão para o uso estrutural, relacionada com a degradação dos materiais ou soluções originais ou por modificação das condições iniciais, associadas a novas exigências de desempenho, mudanças na utilização ou no tipo e características dos utentes</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Secção insuficiente; - Deformações ou vibrações excessivas; - Falhas nas ligações; - Problemas nos apoios; - Ausência de contraventamento, sobretudo em estruturas muito leves e sujeitas a acções importantes do vento; - Perda de homogeneidade ou integridade das secções causada por exemplo pela abertura de fendas profundas.
<p>Degradação do funcionamento do elemento construtivo como um todo (porta, janela, portada, soalho) associado a envelhecimento, deficiente limpeza ou manutenção mas também muitas vezes deficiente utilização</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Perda de estanquidade à água dos elementos de junta em portas ou janelas (borracha ou betumes); - Desafinação frequente das ferragens das portas exteriores; - Deslocamento da camada de estuque em paredes divisórias ou tectos falsos com base em madeira; - Empeno ou outras formas de deformação inestética das peças causadas por deficiente concepção global das peças.



Fig. 2.11 - Presença de ataques de insectos xilófagos (lados esquerdo e centro) e deformação do pavimento devido a ataque de térmitas (lado direito).

As principais causas naturais são a humidade e a insuficiente ou inexistente ventilação e também a acção dos raios solares e o vento. As causas humanas mais importantes são a deficiente concepção, a deficiente utilização, a limpeza e manutenção escassa e a utilização de soluções técnicas inadequadas ao uso previsto (sobrecargas mais elevadas, uso exterior não previsto, ambiente muito aquecido ou ar condicionado permanente).

Os agentes da degradação são fundamentalmente os fungos, as bactérias, os insectos e os xilófagos marinhos, assim como as patologias resultantes de movimentos termo-higrométrica, relacionados como o ajustamento dimensional às condições dos locais, e a degradação física e química causada pela excessiva e não protegida dos raios solares (Amorim, 2009).

As construções em madeira estão também sujeitas aos agentes correntes de degradação associados ao uso e que lhe provocam cortes, cantos partidos, manchas de queimadura por acção química ou de calor excessivo entre outros (Amorim, 2009).

2.4. CAUSAS DAS ANOMALIAS

A determinação das causas de anomalias em edifícios habitacionais é tarefa bastante complexa e extremamente difícil. Nem sempre é possível identificar uma causa de forma única e clara, dado, por exemplo, a grande variedade de elementos e materiais constituintes do edifício, as múltiplas funções que desempenham as várias partes de um edifício e os elementos de construção que o integram, a complexidade do meio ambiente que envolve o edifício e os diversos tipos de actividades dos seus utentes, e a actuação simultânea dos diversos agentes causadores (Paiva, et al., 2007).

As anomalias podem apresentar diversos sintomas, que raramente podem ter uma única causa, mas que geralmente podem ter diversas causas que ocorrem em simultâneo ou em sequência com acumulação de efeitos no tempo. Assim sendo, uma mesma causa pode provocar diferentes patologias e por outro lado sintomas diferentes. Não existem regras ou procedimentos predefinidos para a determinação das causas de uma anomalia. Cada caso é um caso e deverá ser analisado como tal (Leitão, et al., 2004).

O reconhecimento das causas, através de uma investigação cuidadosa, é a base para o tratamento futuro, tendo como princípio universal que somente eliminando a causa se resolve o problema (RTéchné).

Identificar correctamente as causas só será possível após a realização de inspecções e diagnósticos completos e adequados, executados por técnicos experientes (Leitão, et al., 2004).

As causas que se encontram na origem das anomalias podem ser de dois tipos, designadamente:

- Causas humanas;
- Outras causas.

2.4.1.. CAUSAS DE ANOMALIAS COM ORIGEM HUMANA


Os erros humanos podem ser muitos e variados e podem ocorrer durante as várias fases por que passa a construção de um empreendimento. As causas humanas são a maior fonte do aparecimento de anomalias na construção (Paiva, et al., 2007).

No Quadro 2.3 (Paiva, et al., 2007) enumeram-se os principais factos potencialmente geradores de anomalias muito comuns nos edifícios habitacionais associadas às diferentes fases do processo de construção.

Quadro 2.3 – Principais factores geradores de anomalias muito comuns nos edifícios habitacionais.

Fases	Causas
Concepção e Projecto 	Ausência de projecto
	Inadequação do programa do edifício ou sua alteração insuficientemente fundamentada
	Má concepção
	Inadequação ao ambiente (de natureza geotécnica, geofísica e/ou climática)
	Inadequação a condicionamentos técnicos ou económicos
	Informação insuficiente
	Escolha ou quantificação inadequada das acções
	Modelos incorrectos de análise ou de dimensionamento
	Pormenorização insuficiente ou deficiente
	Erros numéricos ou enganos de representação
Execução 	Seleção e especificação incorrectas de materiais e técnicas construtivas
	Não conformidade entre o que foi projectado e o efectivamente executado
	Má qualidade dos materiais entregues
	Falta de preparação e de qualificação da mão-de-obra utilizada
	Manuseamento e processos de aplicação inadequados de materiais
	Má interpretação do projecto
	Ausência ou insuficiência de fiscalização
	Alterações inadequadas das soluções de projecto, incluindo no que se refere aos materiais propostos

Quadro 2.3 – Principais factores geradores de anomalias muito comuns nos edifícios habitacionais. (cont.)

Fases	Causas
Utilização 	Alteração das condições de utilização previstas, implicando, nomeadamente, o agravamento das acções consideradas no projecto
	Remodelações e alterações mal estudadas
	Degradação dos materiais (deterioração anormal por incúria na utilização)
	Ausência, insuficiência ou inadequação da manutenção
	Alterações das condições do contexto envolvente do edifício, não previstas no projecto (escavações importantes, novas construções, demolições de edifícios contíguos)

2.4.2. OUTRAS CAUSAS

É possível também identificar outras causas importantes para além das causas com origem humana, que se podem dividir em três grandes grupos: acções naturais, desastres naturais e desastres devidos a causas humanas imprevisíveis.

Quadro 2.4 – Causas de anomalias não humanas (Paiva, et al., 2007)

Acções Naturais - Acções correntes, usuais e de longa duração; - Actuação com maior ou menor intensidade sobre as construções, consoante as condições.	Físicas	Acção da gravidade
		Variações de temperatura e de humidade relativa
		Temperaturas extremas
		Vento (pressão, abrasão, vibração)
		Presença de sais (chuva, neve, humidade do solo)
		Radiação solar
		Efeitos diferidos (retracção, fluência, relaxação)
	Alteração das condições do solo e abaixamento do nível freático	
	Químicas	Oxidação
		Carbonatação
		Presença de sais
		Presença de água
		Chuva ácida
Reacções electroquímicas		

		Radiação solar (acção dos raios ultra-violetas)
	Biológicas	Vegetais (raízes, trepadeiras, líquenes, algas)
		Insectos
		Bolores e outros fungos
Desastres Naturais - Origem em causas naturais, - Grande intensidade, - Rara ocorrência, - Efeitos geralmente mais graves e incidem em áreas mais vastas, - Evitar a construção nas zonas afectadas pelos fenómenos em causa.		Sismo, tsunami
		Ciclone, tornado
		Tempestade marítima, tromba de água, cheia
		Avalanche, deslizamento de terras
		Erupção vulcânica
		Trovoada
Desastres devido a causas humanas imprevisíveis - Não têm origem em causas naturais, mas poderá estar associada uma responsabilidade humana, - De carácter mais restrito que os desastres naturais, abrangendo uma construção ou um reduzido número de construções, - Adoptar medidas cautelares para diminuir a probabilidade de ocorrência deste tipo de desastres		Grande incêndio
		Fogo
		Explosão
		Choque
		Inundação

2.4.3. AGENTES DE DETERIORAÇÃO

Sendo alguns agentes os maiores responsáveis pela deterioração dos elementos e materiais constituintes do edifício, é importante identificar e caracterizar as suas várias formas de manifestação para a obtenção de um correcto diagnóstico das anomalias e interpretação das causas. Destacam-se a água, o gelo, os sais, as variações de temperatura, a poluição atmosférica e a biodeterioração.

2.4.3.1. Água

A água, sob diversas formas e através de diversos mecanismos, é o principal agente de deterioração. A Fig.2.12 dá uma ideia das várias formas como a água penetra num edifício e dos vários mecanismos que levam à sua deterioração. O conhecimento das formas de manifestação das anomalias devidas à presença de água é essencial para a elaboração correcta de um diagnóstico (Cóias, 2006).

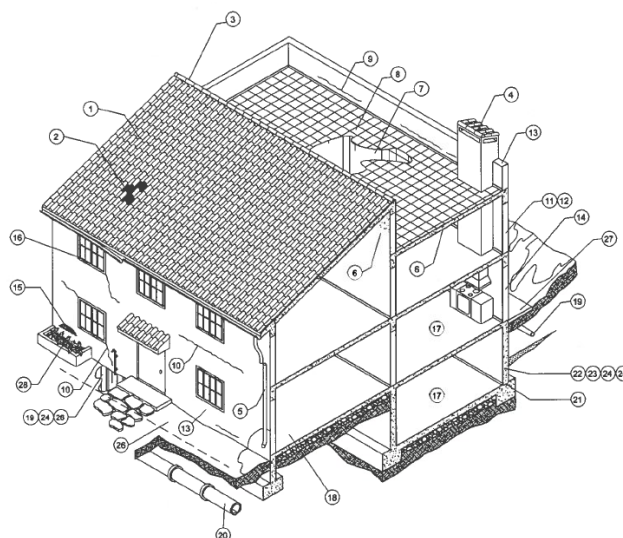


Fig.2.12 - Principais origens, vias de penetração e anomalias provocadas pela água nos edifícios (ver Fig.2.13) (Cóias, 2006)

N.º	Componente ou elemento - anomalia ou defeito	Origem	Forma de Ingresso
1	Cobertura inclinada - inclinação insuficiente, deformações (caso das estruturas de madeira), etc.	Chuva	Batida pelo vento, gravidade
2	Cobertura inclinada - telhas partidas ou porosas	Chuva, água retida	Gravidade, capilaridade
3	Ausência ou insuficiência dos beirados	Chuva	Batida pelo vento, gravidade
4	Elementos salientes da cobertura - má pormenorização ou deficiências nos remates	Idem	Idem
5	Sistema de drenagem da cobertura - ausência, deficiência ou falta de manutenção do algeroz, tubo de queda, acessórios ou ligações	Idem	Idem, salpicos
6	Face interior de paredes e tectos - deficiente isolamento	Condensação	N.A.
7	Cobertura horizontal - pendentes ou sistema de drenagem deficientes	Chuva, fortuita (empocamento)	Gravidade
8	Cobertura horizontal - má execução		Gravidade
9	Cobertura horizontal - má concepção ou execução dos pormenores (p. ex.: contorno, juntas, pontos singulares)	Chuva	Capilaridade, gravidade
10	Paredes - fissuras	Chuva, água retida	Idem
11	Paredes de contorno - pormenores construtivos deficientes	Chuva, água retida	Idem
12	Paredes - Execução deficiente	Água retida	N.A. (água de construção)
13	Paramentos exteriores - rebocos porosos, refechamento de juntas deficiente	Chuva	Capilaridade
14	Paramentos exteriores - deficiente protecção	Chuva	Incidência directa, salpicos, capilaridade
15	Paredes - presença de sais	Higroscopicidade	
16	Caixilho - vidros partidos, empenos, estanquicidade insuficiente, má concepção ou fabrico	Chuva	Batida pelo vento, capilaridade
17	Deficiente ventilação dos espaços	Condensação	
18	Pavimento térreo - ausência de caixa de ar ventilada, impermeabilização insuficiente	Solo	Capilaridade, subpressão
19	Canalizações enterradas - fuga, rotura	Fortuita	Capilaridade
20	Redes de abastecimento de água (quentes, frias, incêndio) e de saneamento - fuga	Fortuita	Idem
21	Junta de trabalho - deficiente pormenorização ou execução	Chuva, solo	Gravidade
22	Paredes enterradas - defeitos de execução (chochos, juntas, fissuras)	Chuva, solo	Infiltração
23	Fundação, base da parede - ausência de esgoto pluvial	Chuva	Capilaridade
24	Idem - ausência de drenagem circundante	Chuva, solo	Capilaridade, sub pressão
25	Idem - ausência de barreira impermeável	Chuva, solo	Idem
26	Idem - ausência de faixa impermeabilizada	Chuva	Idem
27	Idem - deficiente inclinação da faixa impermeabilizada	Chuva	Gravidade, Capilaridade
28	Floreiras ou canteiros - concepção e/ou manutenção deficientes	Solo, rega	Idem

Fig.2.13 - Principais agentes e vias de penetração da água nos edifícios (Cóias, 2006)

2.4.3.2. Variações de temperatura

As variações de temperatura provocam fenómenos de dilatação e contracção que, causando variações dimensionais, se designam por movimentos térmicos. É assim criada uma sucessão de tensões de sentido inverso que, quando correspondente à capacidade resistente dos materiais, provoca geralmente o desenvolvimento de fissuras ou fracturas.

Geralmente, a parte superior do edifício é a mais afectada pelas variações de temperatura por estar mais distante da massa térmica do terreno, ou por estar menos sombreada pelas construções vizinhas ou por existirem menos constrangimentos ao movimento.

A variação da temperatura na face exterior dos elementos construtivos é maior do que a que ocorre no interior. É frequente a existência de uma diferença importante entre a temperatura superficial e aquela que se verifica a poucos centímetros de profundidade. Consequentemente, pode dar-se uns agravamentos dos fenómenos de degradação na zona superficial, nomeadamente nos elementos construtivos com revestimento, como uma parede revestida por reboco.

A amplitude de variação da temperatura, bem como o intervalo de tempo em que ocorre, são importantes elementos de análise, na medida em que, quanto maior for a amplitude e menor o intervalo de tempo em que ocorra, maior é o risco de ocorrência de fenómenos de degradação, uma vez que serão mais expressivos e frequentes os movimentos térmicos.

As amplitudes térmicas, quando associadas a agentes químicos, provocam a deterioração dos elementos da construção. A este factor tem sido atribuída a fractura de painéis de alvenaria com dimensões apreciáveis (Gonçalves, 2004).

2.4.3.3. O gelo/degelo

A degradação relacionada com a humidade e a sua combinação com a variação de temperatura consiste no fenómeno de gelo/degelo. A congelação da água presente nos materiais origina um aumento de volume, seguindo uma contracção no degelo. Ciclos continuados destes fenómenos dão origem a envelhecimentos precoces nos materiais, podendo ainda implicar o desenvolvimento de fissuração ou fendilhação.

A deterioração por acção deste fenómeno pressupõe a existência de materiais porosos e de água em quantidade suficiente para a respectiva saturação (ambas verificadas na envolvente exterior) e, naturalmente, a ocorrência de temperaturas muito baixas (depende das condições climáticas). Verifica-se, no entanto, que as condições de exposição das paredes, a acção do vento e diversos fenómenos de carácter físico e químico podem afastar os valores da temperatura do ar e da parede, criando condições à formação de gelo no seu interior, mesmo antes das condições meteorológicas o fazerem.

A resistência dos materiais aos ciclos gelo/degelo depende essencialmente da sua porometria. Os materiais com poros de maiores dimensões terão maior capacidade para resistir ao aumento de volume da água quando esta passa do estado líquido ao estado sólido (Gonçalves, 2004).

2.4.3.4. Presença de sais solúveis

A cristalização dos sais solúveis é um dos mecanismos principais da degradação dos materiais de construção porosos, como a pedra. Este mecanismo de deterioração é baseado na pressão exercida pela formação de sal nas estruturas porosas, com aumento de volume, e é dependente do tipo de sais envolvidos e do tamanho e arranjo dos poros (Cóias, 2006).

A temperatura poderá ter alguma influência no processo, especialmente porque afecta a solubilidade dos sais.

Os sintomas de degradação, ao nível dos revestimentos, incluem alterações superficiais (eflorescências ou manchas), fendilhação, formação de crostas, separação dos materiais da alvenaria em camadas (delaminação, esfoliação, destacamento de camadas de aplicação dos rebocos), perda de coesão (pulverulência, por exemplo, de elementos de tijolo cerâmico ou de pedra, arenização de argamassas) ou formação de vazios (como a alveolização) (Freitas, et al., 2008).

São as cristalizações no interior (criptoflorescências) que, dando lugar a tensões causadas pelo aumento de volume, podem provocar a desagregação dos materiais.

2.4.3.5. A poluição atmosférica

Actualmente nos centros urbanos os ataques mais graves são provocados pelos gases da poluição automóvel e das actividades industriais. As características topográficas e as condições meteorológicas influem fortemente sobre a dispersão e o transporte dos poluentes, tanto à escala local como a grandes distâncias. O vento favorece a dispersão horizontal das fontes de substâncias emitidas. As variações de temperatura do ar, ela própria dependente da do solo, influenciam, por seu turno o movimento vertical e, por conseguinte, a capacidade de dispersão dos poluentes.

O dióxido de enxofre e as partículas sólidas são dos poluentes mais directamente responsáveis pela degradação dos materiais. Este elemento químico exerce também alguma acção agressiva sobre alguns materiais, estando na origem da carbonatação das construções de betão armado. O dióxido de carbono na presença de água provoca a diminuição de coesão de determinadas zonas da pedra, bem como a sua resistência, tornando o material interior da pedra pulverulento e desagregado. As pedras mais afectadas são os calcários, e os carbonatos de cálcio contidos noutra tipo de pedras (Gonçalves, 2004).

2.4.3.6. Biodeterioração

Na biodeterioração incluem-se não só os estragos provocados por organismos microscópicos, mas também os causados pelas plantas superiores, pelos insectos, pelas aves e pelos mamíferos (como por exemplo, os morcegos).

Para a resolução deste tipo de problemas é necessária (Cóias, 2006):

- A identificação dos agentes biológicos de degradação;
- A definição das condições de ambiente que favorecem o desenvolvimento;
- A escolha dos biocidas e a avaliação da sua eficácia.

Nos *climas quentes e húmidos*, com reduzida poluição do ar, as formas de degradação mais visíveis dos materiais pétreos são ligadas à presença de agentes biológicos. O factor-chave para a deterioração biológica da madeira é a presença de água, propícia ao crescimento e desenvolvimento de fungos e insectos (Cóias, 2006).

Quadro 2.5 – Agentes de deterioração da pedra e da madeira (Cóias, 2006)

Material	Agentes	Deterioração
Pedra e materiais de origem mineral	Algas microscópicas	Instalam-se na superfície dos materiais muito porosos ou já degradados e penetram entre as microfracturas ou nos fragmentos já parcialmente destacados.
	Líquenes (formas macroscópicas características, cores vivas branco, amarelo e laranja)	Não existe unanimidade quanto aos efeitos que produzem. Alguns consideram-se protectores das superfícies nas quais se desenvolvem, outros devido à sua actividade metabólica tem-se observado uma acção corrosiva, sobretudo face aos materiais calcários.
	Plantas superiores	Infestam os edifícios e ruínas
	Presença de pássaros, em particular pombos	Acção química sobre a pedra, sobretudo a pedra calcária, ou os rebocos e revestimentos. Acção das unhas e bicos contra os materiais já parcialmente desagregados por causas diversas. Formação de um meio de cultura para os microorganismos capazes, por seu turno, de exercer uma acção nociva sobre o substrato, em particular, a pedra.
Madeira	Fungos (bolors, podridão mole, podridões castanha e branca)	A resistência da madeira ao ataque destes agentes depende da sua qualidade, localização dentro do lenho e de factores externos como a humidade, temperatura e arejamento.
	Insectos (térmitas, formigas-carpinteiro, carunchos e perfuradores marinhos)	Os ataques destes organismos provocam o apodrecimento da madeira.

2.5. QUADRO SÍNTESE

As anomalias de maior relevância para este estudo são as anomalias de carácter não estrutural, em que não está em causa a segurança actual da estrutura ou dos seus componentes, mas sim outras exigências funcionais que comprometem a sua normal utilização durante o restante período de vida útil. Estas anomalias estão relacionadas com a parte atingida, as funções que são afectadas, bem como a natureza dos materiais e técnicas de construção utilizadas, origem causas e períodos de ocorrência (Gonçalves, 2004).

Destacamos então algumas das anomalias mais correntes e respectivas causas e posteriormente, no Capítulo 3, faremos uma ligação entre estas e as técnicas de diagnóstico e no Capítulo 4 a reflexão sobre a aplicação prática.

Quadro 2.6 – Anomalias correntes e respectivas causas do Exterior dos edifícios (Cóias, 2004).

Componente Elemento	Designação da anomalia	Causas
Fachadas, paredes exteriores e varandas		
<i>Fachadas</i>		
Algeroz ou tubo de queda	Entupimentos, roturas, fugas	Falta de manutenção
Caixilharia	Degradação do material de Selagem das juntas	1. Má pormenorização 2. Má qualidade do material de selagem ou deficiente aplicação. Os desvios dimensionais elevados podem originar folgas que os vedantes não colmatam
	Imperfeição e descontinuidade no perfil de vedação dos vidros	1. Má pormenorização 2. Má qualidade dos vedantes ou da sua aplicação 3. Envelhecimento
Impermeabilização de paredes e empena	Destacamento	Inadequabilidade dos produtos aplicados, má aplicação ou envelhecimento com infiltrações entre o suporte e o reboco
Parede exterior	Fenda (de origem não estrutural)	Variação de temperatura externa
	Fendilhação	Retracção dos materiais, mau comportamento térmico, pequenas deformações da estrutura, etc.
Pintura	Bolhas ou ampolas	Tinta demasiado impermeável ao vapor de água. Aplicação em condições deficientes ou sobre substrato mal preparado (falta de primário promotor de aderência)
	Deliquescência	Reboco feito com água ou areia contaminada com cloretos
	Eflorescência	Humidade ascendente, infiltrações.
	Escamação	Tinta demasiado impermeável ao vapor de água. Aplicação em condições deficientes ou sobre substrato mal preparado, humidificado em excesso na altura da pintura ou sem primário promotor de aderência.

Componente Elemento	Designação da anomalia	Causas
	Escorrimento de calcário	Deficiente concepção: deformações térmico-higrométricas importantes com formação de fissuras por onde começou a passar água. A água infiltrada lixívia e cal do cimento, depositando-a, por carbonatação, ao atingir o exterior.
	Farinamento ou pulverização	Tinta inadequada ou alterada devido à exposição, envelhecimento precoce.
	Mancha (junto à cobertura)	Infiltração pela cobertura
Platibanda e parapeito	Fluência	Má concepção/pormenorização
Platibanda e parapeito – revestimento	Degradação. Corrosão	Carbonatação profunda ou teor elevado de cloretos com humedificação.
Reboco	Empolamento	<ol style="list-style-type: none"> 1. Má preparação do suporte 2. Má qualidade do suporte 3. Pinturas e rebocos inadequados 4. Falta de manutenção 5. Presença prolongada de água no suporte (ataque de argamassa pelos sulfatos) 6. Fendilhação de rebocos e suportes
	Descasque. Desintegração	A falta de renovação da pintura deixa o reboco desprotegido, acelerando a sua deterioração. Reboco inadequado ou alterado.
	Pederneira	Incorporação na massa de pequenos núcleos de cal mal apagada
Revestimento cerâmico ou vítreo	Destacamento	Infiltração de água, através de fissuras, entre o revestimento e o substrato, com alteração do material de assentamento, devido a falta de rigidez da parede. Fenómenos de expansão dos materiais cerâmicos. Falta de juntas.
	Empolamento	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dilatação térmica resultante de assentamento deficiente (ausência de juntas, materiais inadequados) 2. Acumulação de água entre o revestimento e o substrato.

Componente Elemento	Designação da anomalia	Causas
Revestimento de pedra	Destacamento (posteriormente possíveis infiltrações e corrosão)	Fixação desadequada (com argamassa). Juntas entre as pedras demasiado apertadas.
	Fissura, fenda (posteriormente infiltrações, corrosão e destacamento das pedras)	Mau assentamento – fixação desadequada (com argamassa). Juntas entre as pedras demasiado estreitas.
Revestimento de pedra – junta	Degradação do material de refachamento	Má concepção do revestimento. Má qualidade do material de refachamento ou deficiente aplicação.
<i>Paredes exteriores</i>		
Parede exterior – face interior	Condensação	Condensação provocada por pontes térmicas.
<i>Varandas</i>		
Guarda metálica	Corrosão	Deterioração dos materiais (envelhecimento da pintura e metalização; falta de aderência da pintura, com destacamento).
Pavimento – revestimento com ladrilho hidráulico ou cerâmico – junta	Desguarnecimento	Desgaste normal devido ao uso e à lavagem
Coberturas – em telhado		
<i>Asnas</i>		
Asna	Degradação das propriedades mecânicas	Podridão facilitada pela presença de humidade e deficiente arejamento
Asna	Perda de secção e de resistência	Ataque de insectos xilófagos.
<i>Beirados</i>		
Beirado	Vegetação infestante (possíveis infiltrações de água para o interior do edifício)	Deficiente manutenção
<i>Cobertura em telhado sobre laje de betão, sem isolamento</i>		
Parede exterior – junto à cobertura	Fendas	Dilatação térmica excessiva

Componente Elemento	Designação da anomalia	Causas
<i>Ralos, caleiras e algerozes</i>		
Caleira, algeroz	Entupimento, rotura, fuga (possível entrada de água para o interior do edifício)	Envelhecimento; Falta de manutenção; Vandalismo
<i>Telhado</i>		
Telha	Quebra ou deslocamento	
<i>Impermeabilização</i>		
Empolamento	Empolamento	Desligamento entre a membrana e o substrato, originado pela deficiente aplicação ou má qualidade do material ou substrato húmido à data de aplicação
Impermeabilização	Acumulação de água. Empoçamento	Pendentes insuficientes. Deformações
	Fissuração	Tensionamento das telas ou membranas. Deficiências da camada de suporte ou da betonilha de revestimento
	Perfuração	Falta de cuidado durante a obra (andaimas) ou depois (antenas, aparelhos de ar condicionado)
Impermeabilização – remate	Deslocamento, deformação, rotura, fixação deficiente	Entrada de água para o interior do edifício
<i>Ralos, caleira e algerozes</i>		
Ralo, caleira	Entupimento, rotura, fuga	
<i>Revestimentos com mosaicos cerâmicos</i>		
Impermeabilização – revestimento com mosaico	Quebra. Colagem	Argamassa de assentamento desadequada, juntas de assentamento demasiado estreitas, falta de juntas de contracção/dilatação, deformações da estrutura.
Portas e Janelas		
<i>Caixilhos</i>		
Caixilho	Deformação; empeno; corrosão	Deficiente concepção (esbeltez excessiva). Protecção insuficiente contra a corrosão. Efeito de cargas verticais transmitidas pelas paredes.

Componente Elemento	Designação da anomalia	Causas
	Falta de estanquidade	Deficiente montagem. Deficiente manutenção
	Folga excessiva nas juntas móveis (moldura-folha)	Retracção da madeira devido a variações de humidade. Deficiente concepção.
Caixilho – pintura	Escamação	Pintura a necessitar de renovação, por tempo excessivo de exposição ao sol. Deficiente adequabilidade da tinta, caso a deterioração seja precoce
<i>Dobradiças</i>		
Dobradiça	Folga insuficiente em relação à soleira	Melhor manutenção
<i>Fixações metálicas de caixilhos de portas exteriores e janelas</i>		
Fixações	Corrosão	Pormenorização deficiente. Elevado teor de cloretos no ar. Metal mal protegido

Quadro 2.7 – Anomalias correntes e respectivas causas do Interior dos edifícios (Cóias, 2004).

Componente Elemento	Designação da anomalia	Causas
Entradas e zonas comuns interiores		
<i>Caves e outras zonas enterradas</i>		
Parede enterrada	Infiltração	Falta de impermeabilização ou drenagem do lado do terreno. Fendas (por exemplo, devido a má qualidade do betão). Juntas deficientes
Pavimentos de madeira	Podridão	Podridão facilitada pela presença de humidade ou de ciclos molhagem/secagem. Disposições construtivas inadequadas.
Revestimento interior da parede	Desagregação	1. Humidade proveniente do terreno em contacto com a parede 2. Má ventilação 3. Pontes térmicas
Cozinhas e casas de banho		
<i>Paredes</i>		
Parede interior – revestimento de azulejo	Fissura	Argamassa de assentamento desadequada (muito retráctil), juntas demasiado estreitas, pequenas deformações da estrutura

Componente Elemento	Designação da anomalia	Causas
	Quebra. Descolagem	Variações dimensionais (expansão de alguns materiais cerâmicos), movimentos de suporte, penetração de humidade, entrada de água. Deficiente colagem e má aderência à base.
Pavimentos		
Pavimento – junta	Deterioração	Má concepção ou execução da junta. Assentamento deficiente.
Pavimento – revestimento cerâmico	Empolamento	Deformabilidade excessiva da laje de betão armado. Insuficiência das juntas entre ladrilhos e das juntas de expansão/contração.
Pavimento – revestimento de pedra ou similar colocado a seco	Descolamento	Má colagem (placas a colar com humidade, poeiras ou gorduras). Humidade. Durabilidade reduzida do material aplicado.
Pavimento – revestimento em mosaico cerâmico	Mosaicos soltos ou gastos	Má execução ou má qualidade. Desgaste normal
Pavimentos, tectos		
Tecto estucado	Mancha localizada de humidade	Fugas de canalização de água ou de esgotos
Paredes interiores		
Parede de andar intermédio	Mancha de humidade	<ol style="list-style-type: none"> 1. Infiltrações pela fachada. 2. Fugas em canalizações 3. No caso das manchas se localizarem junto de vãos, podem ter origem em infiltrações pelas caixilharias
Parede de andar térreo	Mancha e alteração	<ol style="list-style-type: none"> 1. Humidade ascendente proveniente do terreno 2. Deficiente isolamento das paredes.
Parede de último andar	Desligamento tecto/parede	Efeito de dilatações/contrações de lajes de esteira e terraço
Parede interior – estuque	Expansão retardada ou pulverização (a superfície apresenta-se sem coesão nem dureza)	Hidratação incompleta do gesso
	Podridão	Humidade excessiva na parede. Aplicação de pintura sem dar tempo suficiente para a secagem do estuque. O estuque mantém-se mole e quebradiço.

Componente Elemento	Designação da anomalia	Causas
Parede interior – reboco	Empolamento	1. Compressão exagerada da parede provocada por deformabilidade excessiva da laje suprajacente ou de cargas excessivas de pisos superiores 2. Deficiente ligação do reboco à base.
Parede interior do piso térreo – revestimento em papel	Deslocamento	1. Humidade ascendente 2. Deficiente isolamento das paredes
Pavimentos interiores		
Revestimento de madeira	Descolagem e levantamento	1. Inchamento da madeira devido à presença de humidade no substrato devido a fugas em canalizações ou humidade ascendente 2. Folga pequena entre o revestimento e as paredes 3. Juntas estreitas 4. Aplicação de madeiras excessivamente secas
	Deterioração. Desgaste	Má manutenção (excesso de utilização de água). Inundações, infiltrações ou fugas fortuitas de grande intensidade que não sejam imediatamente debeladas.
Revestimento de pedra	Desgaste (depressões e covas)	Pedra demasiado macia, facilmente erodida pelo uso ou por agentes agressivos
Tectos		
Em geral	Eflorescência e ciptoflorescência.	1. Infiltrações pela cobertura 2. Fugas de canalizações, com arrastamento e deposição de sais

Nos quadros seguintes (Quadro 2.8, 2.9 e 2.10) apresenta-se uma síntese de sintomas frequentemente detectáveis durante a inspeção visual de construções correntes e as causas genéricas que, normalmente, lhe estão associadas, para a generalidade dos edifícios, edifícios antigos e edifícios de betão armado.

São indicações muito genéricas e que por isso devem ser utilizadas com a máxima prudência (Cóias, 2006).

Quadro 2.8 – Síntese das anomalias mais frequentes na generalidade dos edifícios (Cóias, 2006).

Anomalias	Causas possíveis
Manchas e alterações localizadas dos revestimentos, nos últimos pisos ou junto de vãos	Infiltrações de água. Telhas partidas, impermeabilizações deterioradas, drenagem da cobertura entupida ou deteriorada, caixilharia não estanque
<i>Idem</i> , nos interiores	Fugas de canalizações de água ou esgoto
<i>Idem</i> , junto ao piso térreo	Humidade ascendente. Deficiente isolamento das paredes
Eflorescências, criptoflorescências, depósitos salinos	Humidade. Presença de sais (ver casos anteriores)
Paredes fendilhadas, guarnecimentos de vãos partidos ou deslocados	Assentamento das fundações (roturas de canalizações de esgotos, arrastamento de finos, escavações na envolvente). Diferenças de temperatura
Rebocos destacados	<i>Idem</i>
Crostras negras e outros tipos de sujidade	Acção de poluentes atmosféricos
Desagregação biológica superficial	Presença de líquenes

Quadro 2.9 – Síntese das anomalias mais frequentes em edifícios antigos (Cóias, 2006).

Anomalias	Causas possíveis
Fendas e fissuras	Evidenciam deformação da alvenaria. Podem ser antigas ou recentes, podem estar activas ou estabilizadas
Fractura localizada de revestimentos e cantarias	Corrosão de chumbadouros, “gatos” ou ferrolhos de ferro ou aço
Juntas da alvenaria abertas	Alteração e erosão das argamassas. Acção de vegetação infestante
Fendas e fissuras nos materiais de revestimento	<i>Idem</i>
Alveolização e erosão da pedra	Deterioração agravada pela acção do vento. Acção de agentes agressivos presentes na atmosfera ou na água da chuva
Podridão em elementos de madeira, em particular nos apoios na alvenaria, em presença de humidade	Infiltrações, fugas de canalizações. Acção dos fungos de podridão.
Enfraquecimento de elementos de madeira seca	Ataque por insectos xilófagos (caruncho)
<i>Idem</i> em zonas com humidade, sobretudo junto ao solo	Ataque por térmitas subterrâneas

Quadro 2.10 – Síntese de anomalias mais frequentes em edifícios de betão armado (Cóias, 2006).

Anomalias	Causas possíveis
Fissuração sub-horizontal junto à laje de cobertura	Variações de temperatura
Fissuração em varandas e outros elementos salientes	Fluência desses elementos. Betão de deficiente qualidade.
Manchas de ferrugem	Deficientes execução do betão armado (pontas de arame ou de dispositivos e fixação das cofragens). Ver caso seguinte
Delaminação ou escamação superficial	Elemento excessivamente comprimido. Ataque químico
Delaminação superficial com exposição das armaduras	Corrosão das armaduras. Recobrimento insuficiente. Betão superficial poroso, carbonatado, ou com elevado teor de cloretos
Fissura passiva atravessando a totalidade do elemento	Retracção ou variação de temperatura em elementos restringido
Fissuras superficiais passivas	Retracção plástica, cura deficiente, perda de água superficial, vento e/ou calor excessivo na altura da betonagem
Inchamento da superfície do betão	Reacção alcali-agregado
Erosão da superfície	Abrasão, ataque químico,

3

TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO

3.1.GENERALIDADES

Quando um edifício apresenta um conjunto significativo de patologias não é possível partir directamente para os trabalhos de intervenção/reparação sem um estudo de diagnóstico, que será a primeira fase do processo de reabilitação (Freitas, et al.).

Chama-se estudo de diagnóstico ao conjunto de procedimentos destinados a garantir o justo conhecimento acerca de um edifício ou estrutura, incluindo a avaliação do seu estado de conservação e segurança e a determinação das causas das anomalias observadas (Appleton, 2002).

Tem vindo a estabelecer-se e a desenvolver-se a aplicação de métodos de análise e diagnóstico de modo a apoiar o projecto e o lançamento das obras necessárias à reabilitação dos edifícios fundamentando e auxiliando assim, com maior rigor, as decisões a tomar (Cabrita, et al., 1998).

Em todo o diagnóstico, a investigação tem que ser levada a cabo de forma profunda e ordenada. É necessário elaborar uma metodologia para cada caso. O investigador terá que ter um grande conhecimento, não só das técnicas construtivas como também das características e do comportamento estrutural; dos materiais, da forma de execução e colocação correcta e dos factores prováveis que podem influir na origem das incompatibilidades (Goicoechea, et al., 2006).

O investigador tem que ter uma visão global das construções juntamente com um sentido muito apurado de observação; terá que utilizar todos os seus sentidos: visão, audição, olfacto e tacto; interpretar o que se observa à vista simples ou mediante diferentes instrumentos que utiliza e também deverá possuir engenho para criar técnicas e procedimentos que no processo de investigação não destruam dados (elementos) que poderão ter valor (Goicoechea, et al., 2006).

No presente capítulo, faz-se referência da importância e metodologia de um diagnóstico e procura-se abordar e sistematizar algumas das técnicas existentes de diagnóstico de patologias de edifícios: inspecção visual, equipamentos e ensaios *in situ* e laboratoriais.

3.2.ESTUDO DE UM DIAGNÓSTICO

3.2.1.PRINCÍPIOS GERAIS DE UM DIAGNÓSTICO

A realização do diagnóstico é essencial a uma correcta intervenção sobre o construído e tem de ser, como já foi dito, anterior a qualquer acção projectual ou construtiva.

Diagnosticar num elemento construído, não é mais do que detectar e determinar uma falha, que ocorra num determinado local. Esta acção permite identificar um problema e em acordo com os

procedimentos disponíveis é possível identificar as causas que estiveram na origem do problema e prever-se com alguma segurança as consequências futuras (Maia).

No meio técnico nacional há, hoje em dia, uma aceitação geral da importância do lançamento de análises e diagnósticos destinados à identificação das patologias em elementos de construção, possibilitando-se assim a escolha da melhor solução. Esta aceitação baseia-se numa concepção, ou entendimento, onde o diagnóstico é encarado com elaboração de um modelo de comportamento. Exige-se então uma vasta e rigorosa colecta de informação, assim como, uma longa e sólida experiência profissional das entidades envolvidas (Cabrita, et al., 1998).

Deste modo, reforça-se a ideia de que a identificação correcta das causas e a avaliação rigorosa da situação real é uma condição indispensável para a resolução de patologias. Nestas análises é necessário evitar as posições extremas, isto é o excessivo optimismo ou excessivo pessimismo. Uma avaliação muito optimista do estado e carácter das patologias em elementos da construção poderá conduzir ao prejuízo potencial da segurança e da economia a médio/longo prazo. A posição de excessivo pessimismo poderá conduzir à delapidação dos recursos (Cabrita, et al., 1998).

A validade de um diagnóstico só é normalmente certificável quando à eliminação das causas apontadas corresponda, efectivamente, o desaparecimento ou a paragem da progressão dos efeitos indesejados. A lentidão de muitos fenómenos inerentes ao comportamento das construções, associada ainda ao carácter cíclico de alguns outros, faz com que a correcção de um diagnóstico deva ser apreciada com uma adequada perspectiva temporal (Rosa, et al., 2005).

Perante o estudo do diagnóstico, o dono de obra conhece as necessidades de intervenção global no edifício, as possíveis soluções de reparação e a estimativa dos custos unitários dos trabalhos de reabilitação, o que lhe permitirá definir uma estratégia de intervenção que poderá ser global ou faseada (Gonçalves, 2004).

3.2.2.METODOLOGIA DE UM DIAGNÓSTICO

Sendo essencial, o estudo de diagnóstico é também uma tarefa muito exigente e de grande delicadeza, já que num processo patológico de uma dada construção se cruzam problemas de uma enorme diversidade que, facilmente, atingem dimensão que impõe o conhecimento generalizado, por um lado, especializado, por outro, de tudo o que é a própria essência da construção (Appleton, 2002).

Assim, o estudo de diagnóstico é, à partida, trabalho para um técnico generalista, com sólida formação em áreas tão diversas como geotecnia, estruturas, alvenarias, revestimentos, isolamentos e acabamentos, instalações técnicas; é também, contraditoriamente, trabalho para um especialista, ou melhor, para equipas de especialistas que prossigam o aprofundamento de cada tema, a partir do ponto em que o generalista o deixou (Appleton, 2002).

De certo modo, a contradição aparente que atrás se salientou, justifica as vias que se podem percorrer para chegar ao diagnóstico (Appleton, 2002):

- Via empírica, em que o estudo se baseia exclusivamente no “saber de experiência feito” do(s) seu(s) autores(s);
- Via científica, em que o diagnóstico se baseia no recurso a modelações matemáticas e físicas, à experimentação *in situ* ou em laboratório;
- Combinação das duas vias, que significa o recurso preliminar à experiência do observador prosseguido pela utilização de meios complementares de diagnóstico.

Para se entender a razoabilidade desta “proposta” de classificação das vias para a elaboração de um diagnóstico, atende-se na analogia com as ciências médicas, tradicionalmente sustentadas pelo tal saber de experiência feito e, modernamente, cada vez mais alicerçada no recurso, por vezes excessivo e menos fundamentado, a uma infundável e sempre crescente parafernália de exames e análises (Appleton, 2002).

Percebe-se então a atracção pela terceira via referida, em que se tempera, no seu melhor, a experiência com a ciência (Appleton, 2002).

Tendo em conta que cada caso é um caso particular pode-se, de uma forma geral, adoptar a seguinte metodologia (Freitas, et al.):

- i. Análise da informação** escrita e desenhada
 - Desenhos gerais de pormenor;
 - Especificações técnicas de trabalhos executados;
 - “História” de eventuais intervenções.
- ii. Realização de um inquérito**
 - Identificar os fogos-tipo mais degradados que devem ser visitados;
 - Verificar o carácter sistemático de certas patologias;
 - Detectar as exigências dos utilizadores.
- iii. Visita ao interior e exterior dos edifícios**
- iv. Realização de um levantamento fotográfico do edifício e suas patologias**, sendo de grande importância quando não dispomos de informação desenhada.
- v. Medidas *in situ* ou em laboratório**
- vi. Efectuar um conjunto de sondagens**, que permitam caracterizar a composição de determinados elementos construtivos, caso seja necessário.

O estudo do diagnóstico é complexo e requer um conjunto vasto de elementos. Quando concluído, deverá ser elaborado um relatório por parte do inspector, cuja estrutura deverá ser a seguinte:

- Introdução;
- Descrição dos elementos construtivos em análise;
- Descrição das patologias;
- Resultados de sondagens e medições e sua interpretação;
- Causas das patologias;
- Metodologia para os trabalhos da reabilitação;
- Estimativa do custo unitário das soluções propostas;

Nem todos os estudos incluem o conjunto das acções atrás referidas (umas por não haver necessidade, outras por impossibilidade de realização) e nem todas as acções são realizadas com o mesmo grau de exigência em todos os estudos (Paiva, et al., 2007).

O diagnóstico tem sido muitas vezes entendido como sendo a procura e a explicação das causas patológicas, mediante a observação e a análise dos seus efeitos, mas há situações em que as causas, pelo menos as mais próximas, são perfeitamente conhecidas (anomalias resultante de um sismo, de

uma explosão, ou da aplicação de sobrecargas excessivas). Em tais casos, em que a simplicidade do estabelecimento das causas não está necessariamente associada à clareza do estabelecimento das responsabilidades, o diagnóstico deve ser dirigido sobretudo para a análise da situação real da construção, de molde a definir as formas de intervenção correctiva (Paiva, et al., 2007).

3.3.ANÁLISE DOCUMENTAL

3.3.1.CONSIDERAÇÕES GERAIS

Como primeiro passo do processo do estudo do diagnóstico, é necessário reunir todos os dados referentes ao desenho, construção e utilização do edifício ou elemento em questão, e que mediante o seu estudo e análise podem dotar dados que poderão ser responsáveis ou poderão contribuir para o aparecimento de anomalias (Goicoechea, et al., 2006).

3.3.2.RECOLHA DE INFORMAÇÃO

A recolha de informação sobre uma construção ou estrutura e a sua envolvente pode iniciar-se pelo levantamento da própria definição geométrica da estrutura assim como das características dos materiais que a constituem. Essa recolha tanto pode ser feita sobre uma estrutura sã e intacta, tendo em vista o estudo de eventuais alterações da sua própria constituição ou das acções a que está sujeita, como sobre uma estrutura afectada na sua capacidade de desempenho por acidentes ou outras formas de deterioração.

Podem distinguir-se três grandes áreas de recolha de informação, tendo em vista o estudo e a caracterização:

- Da construção, seus elementos e materiais;
- Da envolvente e das acções sobre a estrutura;
- Do comportamento da construção

O estudo e caracterização da construção envolvem:

- O levantamento da sua geometria, dos materiais constituintes e das suas anomalias;
- A caracterização desses mesmos materiais constituintes, o que pressupõe a avaliação das suas propriedades e a detecção e caracterização das suas alterações e anomalias.

O estudo e caracterização da envolvente da construção visa o conhecimento das acções físicas que se exercem sobre a construção e que determinam a sua resposta, instantaneamente ou ao longo do tempo.

O estudo e caracterização do comportamento da construção tem por objectivo conhecer a forma como ela interage com a envolvente, em particular, do ponto de vista estrutural, quando submetida a forças e acelerações e por isso não será objecto de estudo, já referenciado no Capítulo 2.

3.3.3.DOCUMENTAÇÃO

Deve ser feita uma análise da **informação escrita** fornecida pelo dono de obra, nomeadamente memórias descritivas e justificativas, condições técnicas especiais, características administrativas, arquitectónicas, construtivas do edifício e materiais entregues (Gonçalves, 2004).

Deve ser feita uma análise da **informação desenhada**, isto é dos desenhos gerais, de pormenor e de telas finais (Gonçalves, 2004).

A análise cuidada dos desenhos de arquitectura facilita uma primeira familiarização do inspector com o edifício a analisar, permitindo numa primeira análise detectar erros de projecto, de coordenação das diversas especialidades e adequação entre elas, onde se poderá verificar possíveis pontos do conflito que, durante a execução, poderão ter sido razão para a ocorrência de anomalias. A análise dos projectos das especialidades irá permitir a verificação da adequabilidade e compatibilidade dos processos e materiais empregues na construção (Gonçalves, 2004).

Infelizmente, não só nem sempre se dispõe destes elementos, como muitas vezes não há mesmo qualquer elemento desenhado disponível. Nestes casos, é necessário recorrer às entidades licenciadoras para obter cópias dos desenhos do projecto de licenciamento o que torna nalguns casos todo o processo de recolha de dados moroso e de dificuldade acrescida (Gonçalves, 2004).

É necessário o conhecimento da existência de **eventuais intervenções**, realização projectos de reforma, remodelações executadas, troca de uso, durante a utilização do edifício.

A informação sobre os **dados climáticos da região** onde os edifícios se localizam é importante para conhecer as condições atmosféricas sob as quais a construção foi executada e as condições a que está sujeita após a construção.

A realização de um **levantamento fotográfico do edifício** e das suas patologias com enfoque especial na detecção minuciosa das anomalias principalmente as mais relevantes, e a identificação do local/anomalia é de grande relevância quando não se dispõe de informação desenhada, pode-se esclarecer detalhes construtivos e a evolução do edifício e do meio que o rodeia.

A **informação verbal** obtida mediante conversas e entrevistas com todos os intervenientes no desenho, cálculos, construção, manutenção e utilização do edifício é importante.

Poderá ser útil a realização de um **inquérito de opinião aos moradores**. Os resultados obtidos devem ser objecto de análise. O inquérito de opinião tem como objectivo recolher as opiniões dos moradores relativamente à sua habitação (ocupação dos espaços, sistemas de aquecimento utilizados, hábitos relativamente à ventilação dos compartimentos). Pretende-se aferir o grau de exigência relativamente às condições gerais de conforto e habitabilidade tecnicamente definida e detectar eventuais anomalias ou desconformidades sistemáticas. Conhecido o seu grau de exigência podemos indirectamente avaliar as suas expectativas e eventualmente definir prioridades de intervenção, tendo em conta o desejo manifestado pelos residentes (Lanzinha, et al., 2002). Indagar sobre as expectativas dos utilizadores é um tipo de inquéritos que deverá ser simples, sintético, com linguagem não técnica bastando responder com uma cruz às questões elementares colocadas. Pode ser útil apresentar exemplos se possível em fotografia e dar conselhos de procura de anomalias.

3.4. TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO

3.4.1. TIPOS DE TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO

Existem muitas técnicas para obter a informação necessária para uma avaliação do estado de uma construção, desde a simples (mas fundamental) inspecção visual, às técnicas de ensaio *in situ* e técnicas de ensaio laboratoriais sobre amostras recolhidas em obra.

A inspecção visual é feita a olho nu ou com o auxílio de instrumentos ópticos ou de películas especiais que potenciem a capacidade visual. Este tipo de análise aplica-se, sobretudo à avaliação das

características geométricas da estrutura e à identificação genérica dos materiais que a constituem e dos sintomas patológicos eventualmente presentes. No entanto, dada a intensificação do esforço de investigação a que se tem assistido nos últimos anos para ampliar o alcance e a eficácia das técnicas não destrutivas ou semi-destrutivas de inspeção e ensaio das construções, em particular das de betão armado, é hoje possível recorrer a toda uma panóplia de técnicas e instrumentos, de mais variada natureza, que facilitam as observações ou multiplicam o seu alcance e rigor. Estas técnicas e instrumentos podem proporcionar dados importantes aos responsáveis pela concepção das intervenções de conservação, reparação e recuperação de construções, ajudando a (Cóias, 2006):

- Recolher a informação de que necessitam para avaliar a capacidade de desempenho da construção.
- No caso de existirem danos, deficiências ou anomalias, determinar as suas causas, possibilitando, assim, uma intervenção mais adequada.
- Avaliar correctamente a importância e a extensão das degradações existentes.
- Adoptar medidas correctivas menos intrusivas e melhor adaptadas.
- Definir e planear atempadamente as intervenções.
- Monitorizar o comportamento dessas intervenções.

As técnicas de ensaio existente são geralmente classificadas em destrutivas, ligeiramente destrutivas ou não destrutivas. Embora, preferivelmente para a construção, os métodos de ensaio devessem ser inteiramente não destrutivos, torna-se necessário recorrer a muitos que envolvem danos mais ou menos importantes para os edifícios (Santos, 2003).

Também se pode separar as técnicas de ensaios em ensaios *in situ* e ensaios laboratoriais. Os ensaios de laboratório, realizados sobre amostras dos componentes da construção ou dos materiais nela recolhidos, são um complemento importante, muitas vezes indispensável, dos ensaios *in situ* (Santos, 2003).

Os ensaios *in situ* são, em geral, não ou reduzidamente destrutivos e permitem uma classificação qualitativa ou quantitativa indirecta das características mais significativas. Os ensaios de laboratório são sempre algo destrutivos (realizados sobre amostras) mas permitem obter resultados quantitativos directos (Veiga, et al., 2004).

As características observadas ou grandezas medidas (mensurandas) tanto podem ser as *causas* como os *efeitos* associados a um determinado aspecto do comportamento da construção. Por exemplo, uma variação de temperatura (causa) produz na construção uma deformação (efeito) (Cóias, 2006).

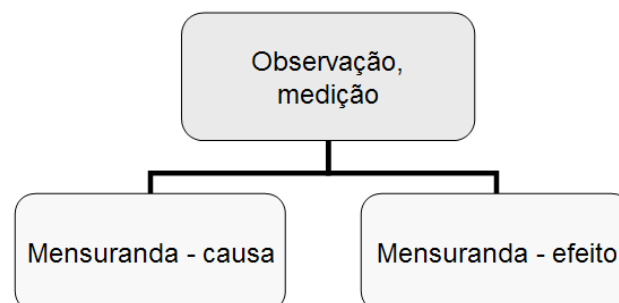


Fig.3.1 – A observação pode incidir sobre a causa ou sobre o efeito (Cóias, 2006).

Para possuírem a necessária fiabilidade, as inspeções, ensaios ou outras actividades devem obedecer a um conjunto de requisitos, em particular no que concerne a qualificação dos operadores e a manutenção e calibração dos instrumentos. A adequada garantia de conformidade com tais requisitos só é possível no seio de uma organização dotada de um sistema de gestão da qualidade suficientemente eficaz (Cóias, 2006).

3.4.2.INSPECÇÃO VISUAL

Durante a inspecção, deverão ser verificadas e classificadas todas as anomalias detectadas em todas as partes do edifício.

A observação e a análise dos sintomas patológicos, permitem realizar um primeiro diagnóstico baseado na experiência, intuição e observação do investigador.

A inspecção visual é muitas vezes suficiente. No entanto, a inspecção deve ser conduzida de uma forma sistemática de modo a reduzir possíveis erros de avaliação (Gonçalves, 2004).

A inspecção visual de um edifício ou construção corrente, com vista à avaliação do seu estado, deverá incluir uma visão de conjunto, abrangendo todos os aspectos que podem ser relevantes, tais como, local de implantação, estrutura, envolvente exterior e interiores do edifício.

O Quadro 3.1 resume os aspectos mais relevantes na inspecção de um imóvel com vista à avaliação das condições em que se encontra.

Quadro 3.1 – Resumo dos aspectos a ter em conta a inspecção de um imóvel (Cóias, 2006)

Parte do edifício	Aspectos a ter em conta
Local de implantação	Terreno de fundação
	Acessos e arranjos exteriores
	Infra-estrutura local
	Estacionamento, garagem
Envolvente	Paredes
	Coberturas
	Guarnecimento dos vãos
Interiores	Pavimentos e tectos
	Paredes interiores

No que se refere à construção propriamente dita e ao seu local de implantação, a experiência demonstra que existem situações que, normalmente, são responsáveis por problemas.

O Quadro 3.2 dá algumas sugestões sobre o que se deve procurar numa inspecção visual sumária e sobre as anomalias que, frequentemente, aparecem associadas à origem desses problemas.

Quadro 3.2 – Inspeção visual: situações a ter em atenção e problemas associados (Cóias, 2006)

Situações a ter em atenção	Problemas associados e comentários
Local de Implantação	
Ambiente	
Condições climáticas e microclimáticas	Humidade, crescimento biológico, deterioração das argamassas pelo gelo-degelo
Ambiente marinho	Sais, eflorescências, corrosão das armaduras
Atmosfera poluída (ambiente urbano ou proximidade de indústrias poluentes ou vias de comunicação)	Crostas negras, dissolução e deterioração da pedra e do betão pelas chuvas ácidas, corrosão das armaduras
Proximidade de tráfego pesado	Vibrações (deterioração das argamassas de assentamento; assentamentos por compactação do solo)
Possibilidade de inundações sazonais (leitões de cheia)	Humidade ascendente
Grandes assimetrias de exposição solar	Gradientes de temperatura, alterações do comportamento termo-higrométrico
Árvores e vegetação	
Árvores de grande porte ou espécies de crescimento rápido a menos de 10 m da construção	Entupimentos do sistema de drenagem da cobertura. Roturas e entupimentos em canalizações de esgotos. Facilitação do crescimento biológico.
Heras, trepadeiras e arbustos sobre a construção	Destruição das argamassas de assentamento ou dos rebocos, deterioração da pedra e do betão, desagregação das alvenarias
Edifício propriamente dito	
Estado geral da construção	
Cuidado aparente com a manutenção do edifício	Um edifício bem cuidado apresenta, normalmente, poucos problemas
Sinais de acidentes anteriores (incêndios, sismos, alagamentos)	Estas ocorrências debilitam, geralmente, as construções, em maior ou menor grau.
Sinais de assentamento ou rotações	Fendas, fissuras, juntas abertas, desaprumos
Coberturas	
Estado geral	Uma cobertura bem cuidada reduz, normalmente, o número e a gravidade dos problemas no edifício
Platibandas e parapeitos	A deterioração das paredes começa, frequentemente, por estes elementos
Gárgulas, ralos, caleiras, algerozes e tubos de queda	A deterioração destes elementos é responsável por muitos problemas na construção
Rufos e outros revestimentos com chapa metálica	<i>Idem</i>

Quadro 3.2 – Inspeção visual: situações a ter em atenção e problemas associados (Cóias, 2006) (cont.)

Situações a ter em atenção	Problemas associados e comentários
Vãos exteriores	
Estado das molduras e do guarnecimento dos vãos	A deterioração destes elementos é responsável por muitos problemas na construção
Caves	
Impermeabilização. Ventilação	As caves são frequentemente afectadas por este tipo de problema, com apodrecimento das entregas das vigas de madeira dos pavimentos
Interiores	
Cozinhas e casas de banho	São locais preferenciais de problemas de humidade excessiva, particularmente graves no caso de os pisos serem de madeira
Modificações posteriores à construção	São, frequentemente, causa de enfraquecimento ou deterioração da estrutura
ALVENARIAS	
Materiais utilizados	
Composição da alvenaria, características dos materiais constituintes	Determinam a qualidade da alvenaria
Presença de cantarias ou elementos decorativos	Podem requerer tratamentos especiais
Falta de elementos	Causam enfraquecimento e permitem a penetração da água
Sinais de tratamento anteriores (desgaste, erosão, delaminações escamações)	Efeito estético negativo e facilidade de penetração da humidade
Acumulação de sujidade	Facilita a deterioração e o crescimento biológico
Humidade	
Penetração da água através de juntas abertas	Facilita a deterioração do interior da parede
Presença de revestimentos	
Pinturas	Podem impedir as trocas de humidade com o exterior, causando bolhas ou delaminações
Tratamentos impermeabilizantes	Podem impedir a humidade de deixar a alvenaria
Argamassa de assentamento	
Estado das juntas	As juntas abertas ou guarnecidas com uma argamassa fracturada ou demasiado porosa permitem a penetração da humidade
Características da argamassa (cal, cimento)	Podem ser inadequadas

Quadro 3.2 – Inspeção visual: situações a ter em atenção e problemas associados (Cóias, 2006) (cont.)

Situações a ter em atenção	Problemas associados e comentários
Presença de peças metálicas	
Chumbadouros, “gatos” ou ferrolhos de ferro ou aço	Possibilidade de corrosão com fracturação de revestimentos e cantarias
MADEIRA	
Materiais utilizados	
Espécie de madeira	A resistência mecânica e a durabilidade variam com a espécie
Defeitos nos elementos	Nós, fendas de retracção, empenos, deformações
Cuidado posto na execução	
Qualidade das ligações	Ausência de samblagens
Confinamento da madeira nos apoios	Um excessivo confinamento (peças encastradas na alvenaria) está, frequentemente, na origem de problemas de conservação
Tratamento	A ausência ou insuficiência de tratamento
Componentes madeira em contacto com o solo	É a causa frequente de deterioração precoce
Humidade	
Sinais de humidade (manchas, odor)	A percentagem de humidade da madeira é determinante no risco de ataque por fungos e insectos xilófagos
FERRO E AÇO	
Materiais utilizados	
Tipo de ferro ou aço	Influencia o comportamento mecânico e a durabilidade
Cuidado posto na execução	
Ligações de ferro forjado em componentes de ferro fundido	Possibilidade de deterioração do ferro fundido por corrosão do ferro forjado
Inserção de elementos de ferro na alvenaria	Possibilidade de corrosão localizada do ferro possível deterioração das cantarias
Elementos de ferro em contacto com metais nobres	Possibilidade de corrosão galvânica
Protecção superficial	Influencia a durabilidade
BETÃO ARMADO	
Materiais utilizados	
Composição do betão, relação água/cimento, qualidade dos agregados	Determinam a resistência e a durabilidade do betão
Betão à vista	Pode colocar problemas agravados de corrosão
Sinais de anteriores reparações	Deficiente aspecto estético e risco acrescido de corrosão

Quadro 3.2 – Inspeção visual: situações a ter em atenção e problemas associados (Cóias, 2006) (cont.).

Situações a ter em atenção	Problemas associados e comentários
Cuidado posto na execução	
Falta de recobrimento das armaduras	É causa frequente de deterioração precoce da estrutura
Má compactação do betão	Betão poroso, pouco durável
Má qualidade dos moldes	Perda de leitada do cimento. Ninhos de pedra
Cura deficiente. Retracção de secagem	Fissuração superficial
Deformações	
Má qualidade do betão	Fluência excessiva, mau aspecto estético, vibrações, utilização desconfortável
Deficiente dimensionamento das lajes	Deformação excessiva. Fendilhação de paredes sob e sobre a laje

No diz respeito às fissuras e fendas, a avaliação visual é suficiente para caracterizar o tipo de fissuração. As principais causas do aparecimento de fissuras são a variação de temperatura externa, retracção térmica, retracção hidráulica, retracção por secagem, assentamento plástico, corrosão de armaduras, reacção álcali-agregado e deformação da estrutura.

A classificação de fendas e fissuras é feita de acordo com a sua localização, extensão, profundidade, largura, estado de degradação do elemento ou zona e exigência temporal de reparação (Quadro 3.3).

Quadro 3.3 – Aspectos a ter em conta no exame de uma fenda (Gonçalves, 2004).

Aspecto a salientar	Observações
Direcção	- Analisar se a fissura é horizontal, vertical ou diagonal. - Analisar se é dentada ou variável e regular. - Verificar se existem fendas paralelas.
Extensão	- Ver tamanho. - Analisar se a fissura se estende ao longo do material ou no limite dele.
Largura	- Efectuar observações e registar para além da largura se esta afunila. - Anotar a hora, data, temperatura e humidade na altura em que é feita a observação.
Profundidade	- Analisar o nível de construção onde a fenda ocorre e se esta se estende a outro nível.
Alinhamento	- Anotar os diversos níveis de materiais de ambos os lados da fenda, dado que pode haver deslocamento de um dos lados em relação ao outro. Tal permite o conhecimento do tipo de força que motiva a fissura (intensidade e direcção).

Quadro 3.3 – Aspectos a ter em conta no exame de uma fenda (Gonçalves, 2004) (cont.).

Aspecto a salientar	Observações
Rugosidade da aresta	- Se esta é arredondada, rugosa, polida ou lascada.
Enchimento da fenda	- Observar se a fenda se encontra limpa ou com detritos (terra, insectos, líquenes) permitindo assim determinar a sua idade.
Efeito do tempo	- Não é imperativo que uma fenda seja reparada logo que detectada. Por vezes, é vantajoso observar o seu comportamento diagnosticando a sua causa.
Elementos estruturais adjacentes	- Diagnosticar os materiais próximos da fenda e respectiva condição, bem como qualquer factor no ambiente e nas proximidades da fenda que a possa ter causado, agravado ou acelerado.

No entanto, a simples observação pode ser complementada por um conjunto de observações adicionais, muito simples, não destrutivas ou reduzidamente intrusivas, que permitem retirar da visita à obra o máximo de informação útil para o posterior encaminhamento do assunto (Cóias, 2006).

Na generalidade das situações, a informação recolhida permitirá fazer uma primeira triagem; nos casos mais simples, a informação recolhida permitirá, eventualmente, chegar a um diagnóstico.

3.4.3. TÉCNICAS *IN SITU*

3.4.3.1. Classificação de algumas técnicas *in situ*

Os ensaios *in situ* incluem uma grande variedade de testes e técnicas associadas à determinação de diversas características, dificultando uma classificação coerente e global destes ensaios. As técnicas de ensaio *in situ* podem ser classificadas em termos de (Flores-Colen, et al., 2006):

- Grau de destruição que provocam (destrutivas, semi-destrutivas e não destrutivas);
- Existência ou não de solicitação artificial (passivas, também designadas de não invasivas, e activas, também designadas de invasivas);
- Princípios em que se baseiam (mecânicos, eléctricos, magnéticos, electromagnéticos, electroquímicos, ultra-sónicos, radioactivos, sensoriais, térmicos, químicos, electroquímicos, entre outros);
- Tipo de resultados obtidos (propriedades a avaliar):
- Tipo de tecnologia utilizada (baixa ou alta tecnologia);
- Objectivos principais (exemplo: resistência, durabilidade, geometria):
- Elementos a que se aplicam (exemplos: revestimento, suporte, ambos);
- Actividades em que intervêm (controlo da qualidade, inspecção de edifícios, verificação da aplicação de regulamentos, entre outros).

A escolha adequada das técnicas a utilizar é muito importante porque influencia sobremaneira os custos e prazos envolvidos, o tipo de equipamento a utilizar, a informação a recolher, o conhecimento necessário para a realização de cada técnica, o tipo de recursos humanos (número de pessoas

envolvidas e respectiva formação técnica) e actividades necessárias antes (exemplo: contabilização de meios de acesso temporários) e após o ensaio (exemplo: reparações para repor as condições iniciais que existam antes da realização dos testes) (Flores-Colen, et al., 2006).

Muitas destas técnicas que são objecto de análise neste trabalho são técnicas correntes de apoio à inspecção visual.

Os fluxogramas representados nas Fig.3.2 a 3.7 fazem uma caracterização de algumas técnicas classificadas nos princípios em que se baseiam, em termos de informação recolhida (parâmetro medidos ou avaliados) e das anomalias.

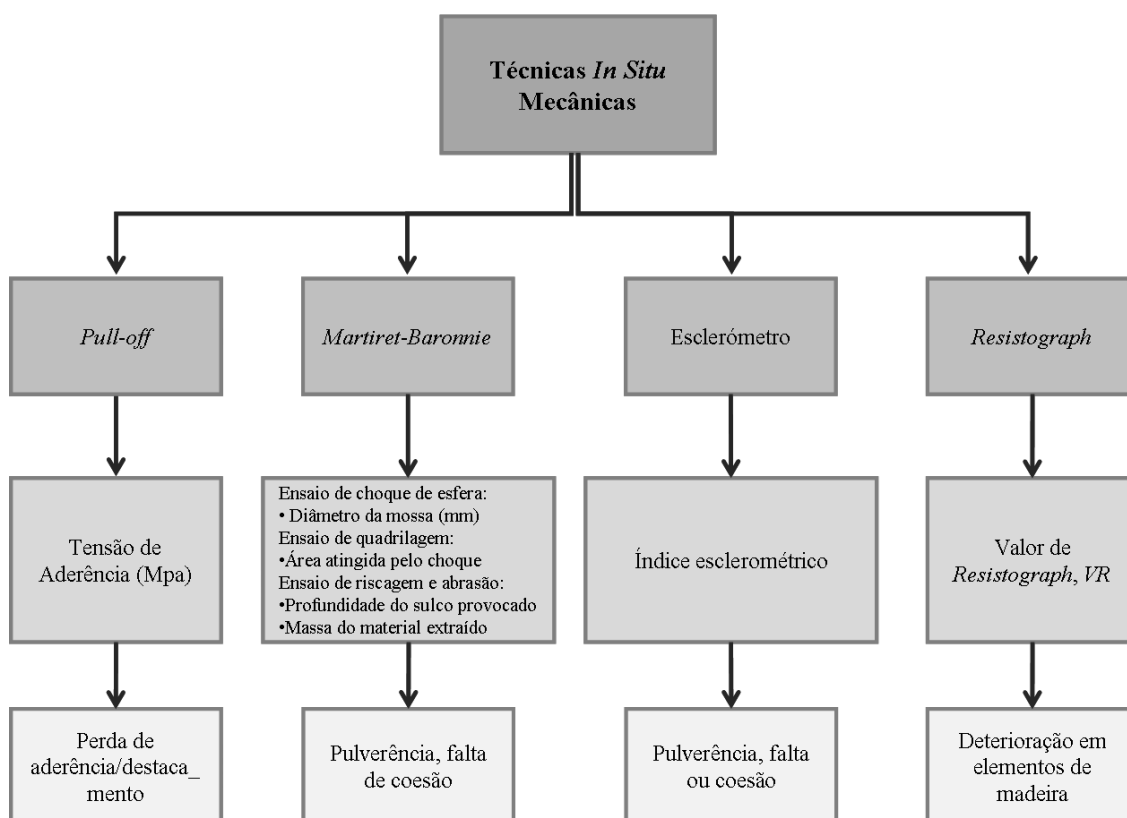


Fig.3.2 – Técnicas mecânicas – parâmetros medidos/avaliados e tipo de anomalias.

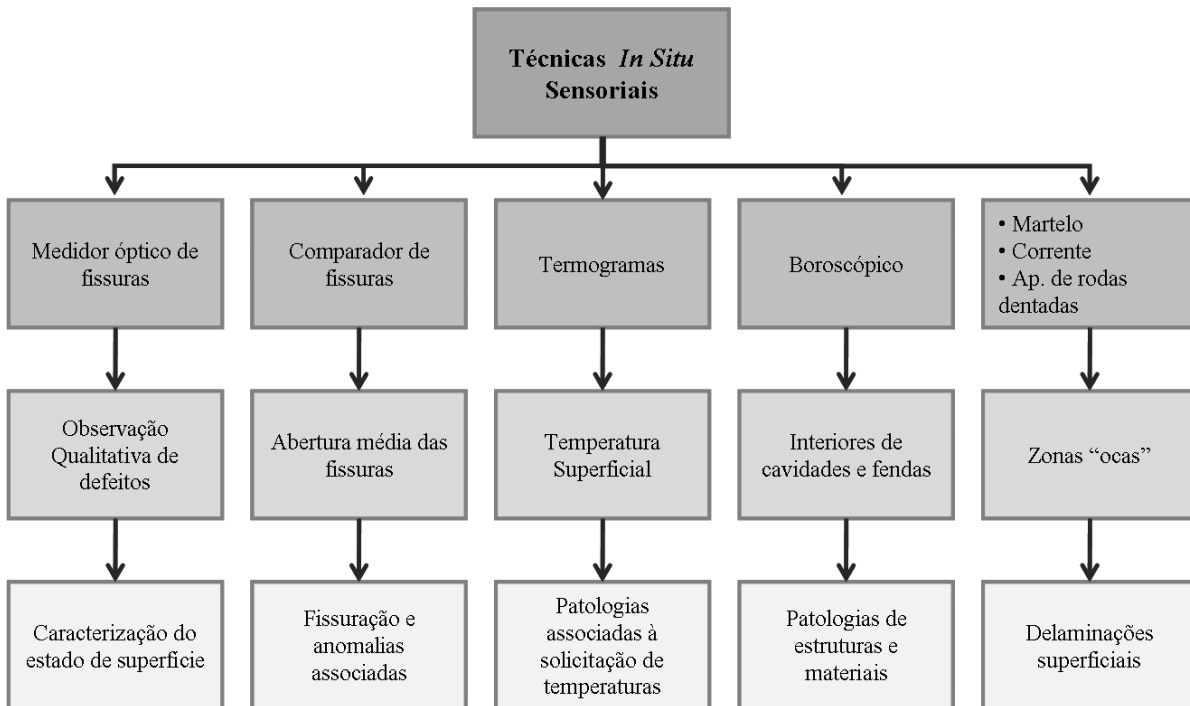


Fig.3.3 – Técnicas sensoriais – parâmetros medidos/avaliados e tipo de anomalias.

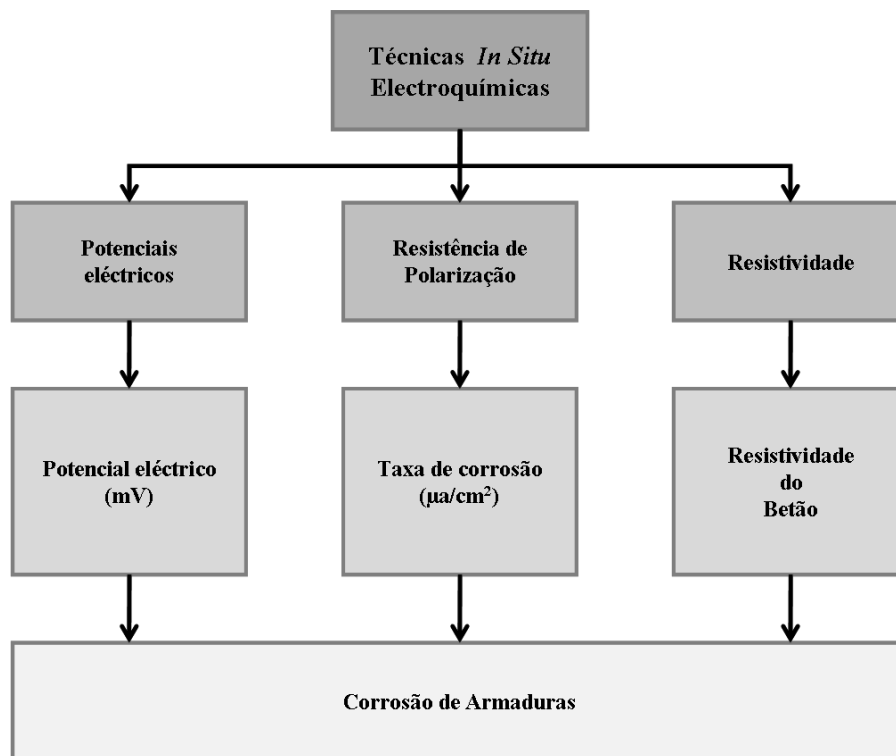


Fig.3.4 – Técnicas electroquímicas – parâmetros medidos/avaliados e tipo de anomalias.

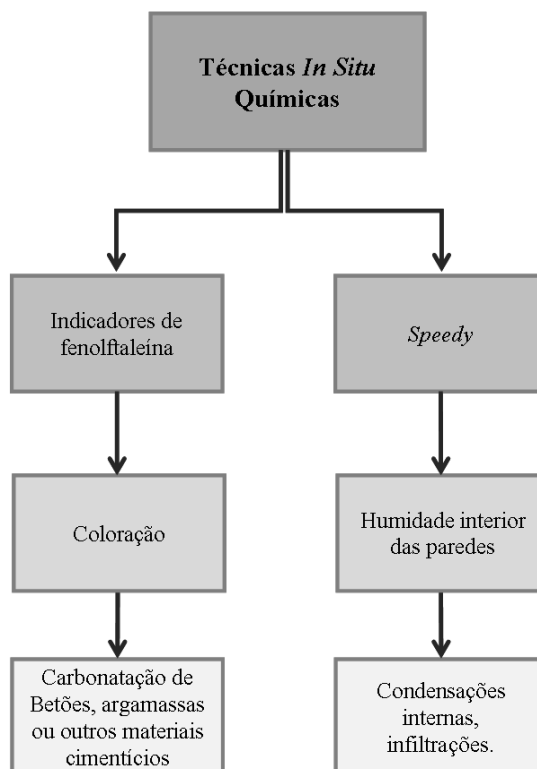


Fig.3.5 – Técnicas químicas – parâmetros medidos/avaliados e tipo de anomalias.

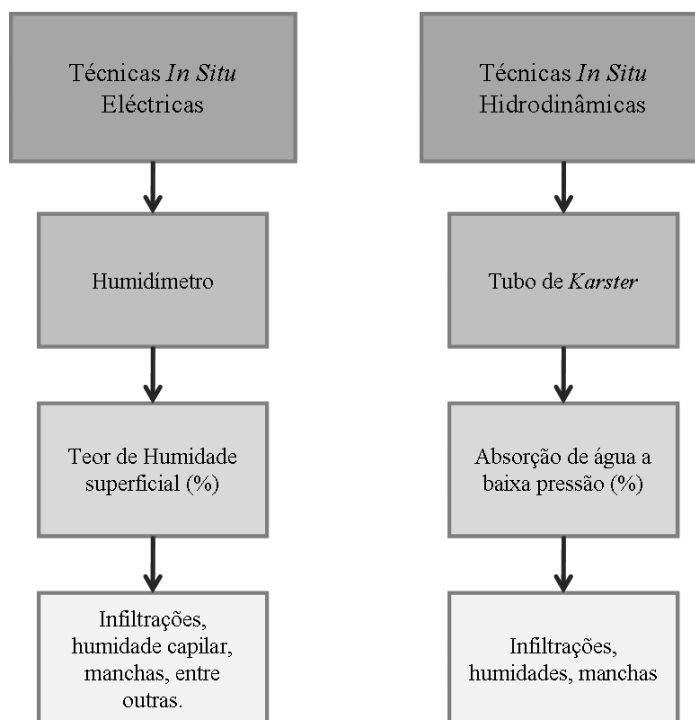


Fig.3.6 – Técnicas eléctricas e hidrodinâmicas – parâmetros medidos/avaliados e tipo de anomalias.

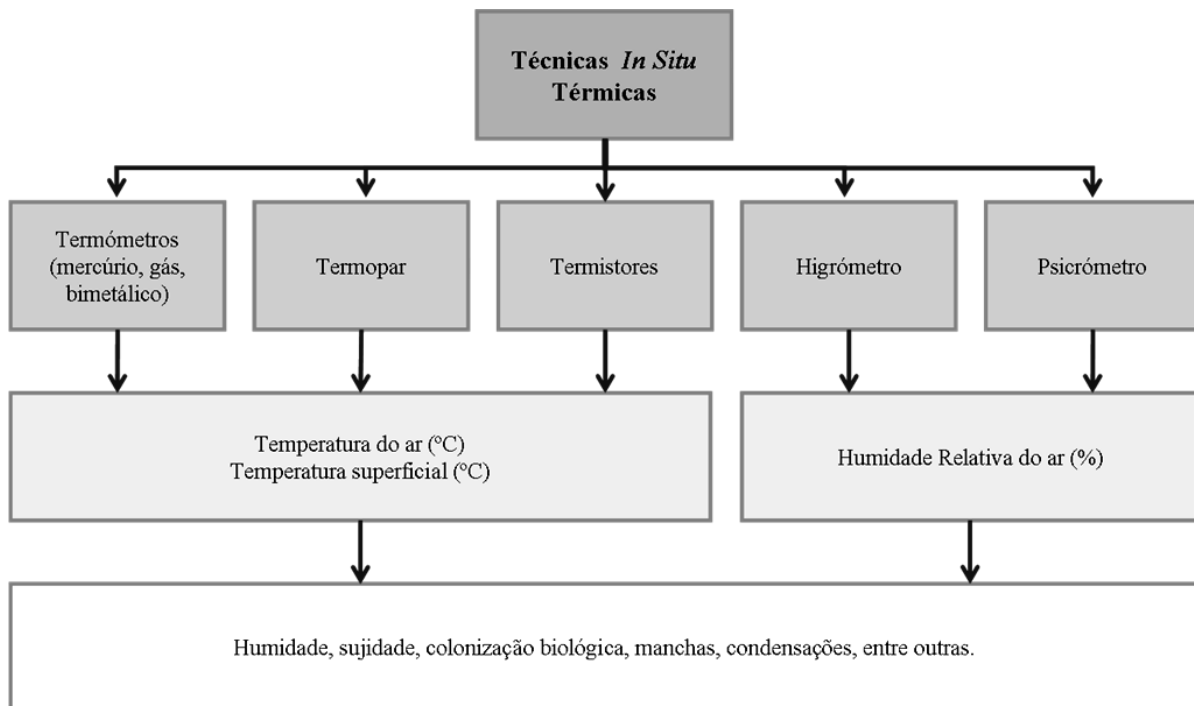


Fig.3.7 – Técnicas térmicas – parâmetros medidos/avaliados e tipo de anomalias.

De seguida faz-se uma breve descrição de alguns instrumentos e ensaios não ou minimamente destrutivos que se utilizam correntemente no diagnóstico *in situ* de patologias em edifícios. Não se pretende fazer uma descrição exaustiva de todos os métodos de ensaios referidos anteriormente, mas sim analisar os parâmetros medidos, princípio de funcionamento, vantagens, limitações e pontos críticos na utilização destes ensaios e instrumentos.

3.4.3.2. Ensaios de arrancamento por tracção (*Pull-off*)

A verificação da garantia da boa aderência na ligação dos materiais novos e velhos constitui uma dos principais aspectos para o sucesso dos trabalhos de reparação e/ou reforço das estruturas de betão (Cóias, 2006).

Este ensaio torna possível a determinação da força necessária para provocar o arrancamento por tracção de uma determinada área de revestimento, calculando-se a tensão que provoca a rotura.

Os dispositivos para a execução do ensaio são (LfcFEUP2):

- Aparelho de medida incluindo motoredutor e dinamómetro;
- Bateria de alimentação;
- Pastilhas metálicas cilíndricas (Ø 50 mm);
- Cola à base de resina epoxídica;
- Broca especial de 50 mm de diâmetro interior.



Fig.3.8 – Equipamento de ensaios de arrancamento

Tem como principais vantagens o fácil manuseamento, o custo médio, a fácil interpretação dos resultados, não necessita de energia *in situ* e permite a comparação dos resultados com valores de normas (Flores-Colen, et al.).

Este ensaio apresenta algumas limitações: realização faseada (preparação, ensaio, reparação), com uma duração mínima de 1 a 2 dias; técnica destrutiva que necessita de trabalhos de reparação; dependente dos meios de acesso aos locais de ensaio.

Normas: Ficha LNEC FE Pa36 – revestimentos de parede; Norma EN 10115-12 – argamassas de revestimento; Norma EN 1348 – cimentos-cola; MDT.D.3. do RILEM – adaptação *in-situ* para argamassas; MR.21 do RILEM – tijolos, argamassas e tijolos (Flores-Colen, et al.).

3.4.3.3. Aparelho de *Martinet-Baronnie*

Alguns ensaios mecânicos implicam a utilização do aparelho de *Martinet-Baronnie* e aplicam-se sobre os revestimentos das paredes:

- Ensaio de choque de esfera e quadrilagem (resistência superficial);
- Ensaio de penetração controlada;
- Ensaio de riscagem e abrasão (coesão).

O **ensaio de choque de esfera** consiste na aplicação de um choque de corpo duro de 3 joules, realizado com uma esfera de aço de cerca de 50mm de diâmetro; este ensaio dá informação sobre a deformabilidade do revestimento. A resistência ao choque é avaliada a partir do diâmetro da moesa e do tipo de degradação resultante (existência ou não de fendas e de perfuração) (Veiga, et al., 2004).

O **ensaio de quadrilagem** é semelhante ao ensaio de choque de esfera, excepto que o choque é realizado com um elemento cortante em lugar da esfera, dando assim informação sobre a coesão superficial do material e, eventualmente, sobre a aderência da camada superficial. A avaliação é feita com base na percentagem de área de argamassa destacada, em relação à área atingida pelo choque do elemento cortante (Veiga, et al., 2004).

O ensaio a que se deu a designação de **penetração controlada** consiste em provocar a penetração de um prego de aço guiado por acessório fixado ao aparelho *Martinet Baronnie* para garantir a perpendicularidade do choque. Após vários choques de energia constante é registada a penetração obtida na argamassa com cada choque efectuado. Permite avaliar a resistência de cada camada e pode ser útil para obter informação sobre a resistência mecânica das camadas internas, permitindo assim

uma avaliação do seu estado. Sempre que possível, realiza-se o ensaio de penetração com recurso a três pancadas, medindo-se a penetração em cada uma delas, para avaliar o estado da argamassa em profundidade (Magalhães, et al.).

Os **ensaios de riscagem e abrasão**, realizados também com o aparelho *Martinet-Baronnie*, são ensaios superficiais, particularmente úteis para camadas de acabamento de rebocos ou de estuques, ou para superfícies pintadas. No entanto, mostraram-se também adequados para avaliar a coesão superficial de rebocos e juntas espessas; verificou-se ainda a possibilidade de testar camadas mais profundas, cortando a camada superficial numa pequena zona (cerca de 20cm² para cada determinação). O **ensaio de riscagem** é realizado com um disco metálico que raspa a superfície ao longo de 15cm, com força constante, enquanto o **ensaio de abrasão**, adequado para superfícies mais friáveis, usa uma lixa. A avaliação de resultados destes ensaios entra em conta com a profundidade do sulco provocado e com a massa de material extraído na riscagem e na abrasão (Veiga, et al., 2004).

Os ensaios de choque de esfera e penetração controlada podem dar indicações bastante úteis sobre o estado e a resistência de argamassas antigas. Enquanto os ensaios de quadrilagem, riscagem e abrasão são mais adequados para acabamentos por barramento ou pintura e mostram-se pouco significativos para rebocos ou juntas. No entanto podem ser úteis em casos especiais com camadas de acabamento lisas e finas (Veiga, et al., 2004).

3.4.3.4. Termogramas

A termografia é um método de determinação e representação da temperatura superficial de um corpo, por medição da radiação infravermelha emitida pela sua superfície (LfcFEUP1).

A inspeção da qualidade térmica da envolvente de edifícios visa identificar e diagnosticar anomalias construtivas associadas à solicitação da temperatura, facilitando a formulação de ações correctivas ou de reabilitação (LfcFEUP1).

Através dos termogramas é possível (Pereira, et al., 2006):

- Detectar defeitos de isolamento;
- Detectar perdas de ar e de calor por janelas;
- Detectar humidades;
- Detectar problemas escondidos (por exemplo, possíveis fugas em canalizações inseridas nas paredes);
- Manutenção preventiva.

O termograma tem como principais vantagens ser semiportátil, obter resultados rápidos, exigir pequena preparação da peça e ser aplicável a materiais compostos (Cypriano, 2003).

Quanto às limitações exige habilidade para interpretação, é de custo elevado (Cypriano, 2003).

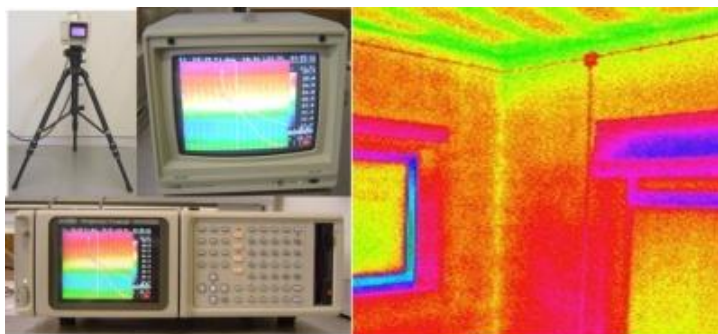


Fig.3.9 – Termogramas e imagem observada termograficamente

3.4.3.5. Testemunhos

Podem ser colocados sobre as fissuras “**testemunhos**”: testemunho rígido de gesso, cal e cimento, testemunho de vidro e testemunho de papel, que apenas permitem detectar, grosseiramente, eventuais acréscimos da abertura ou deslizamento da fissura, sem permitirem, contudo, quantificar a sua evolução.

No **testemunho rígido de gesso, cal e cimento** o gesso forma uma ligação rígida sobre a fissura que vai partir com pequenos deslocamentos relativos dos dois lados da fissura, permitindo, por vezes, observar a direcção e amplitude desse deslocamento. São para uso no interior e exterior (Silva, et al., 2003).

Nos **testemunhos de vidro** é colocada a placa de vidro de ambos os lados da fissura que parte com o seu deslocamento relativo. É muito frágil e difícil de colar ao suporte em toda a extensão e é também difícil avaliar a direcção e amplitude do movimento relativo a partir da fractura do vidro (Silva, et al., 2003).

Nos **testemunhos de papel** a fita de papel é colada dos dois lados da fissura que rasga ou enruga com os movimentos relativos. Só detecta grandes movimentos e é muito vulnerável à acção da humidade (Silva, et al., 2003).

A técnica dos testemunhos apesar de ser bastante simples, apresenta a desvantagem de não permitir quantificar a evolução no tempo da abertura da fenda ou da junta. Sendo necessário recorrer a fissurómetros ou extensómetros.

3.4.3.6. Comparador e medidor óptico de fissuras

O **comparador de fissuras** (Fig.3.10 esquerda) e o **medidor óptico de fissuras** (Fig.3.10 direita), permitem quantificar, respectivamente, com menor ou maior rigor a abertura das fissuras e fendas, podendo ser utilizados para complementar os dados recolhidos com o fissurómetro, que apenas permite medir o movimento das fissuras, ou seja, a variação da abertura (Cóias, 2006).

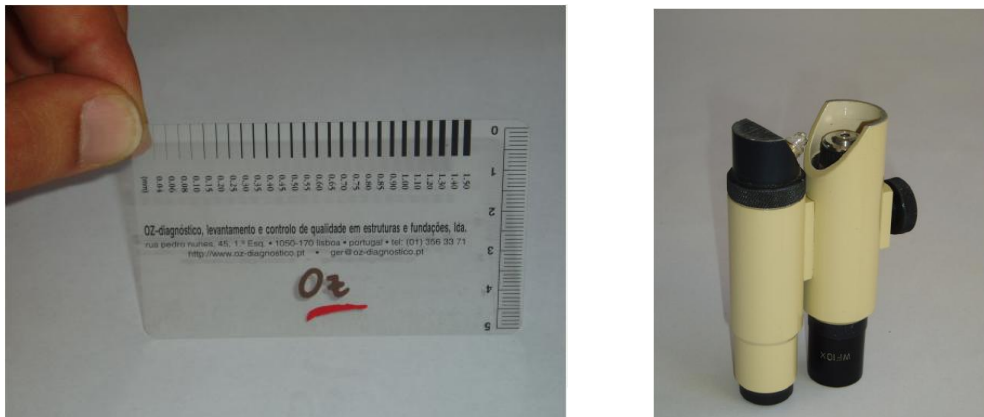


Fig.3.10 – Comparador de fissuras (fig. esquerda); Medidor Óptico (fig. direita)

O primeiro consiste num rectângulo de plástico transparente, com diferentes traços de espessuras conhecidas e que por comparação visual permite estimar a abertura das fissuras. O segundo é constituído por um conjunto óptico focável, cujo campo de visão pode ser iluminado por uma lâmpada alimentada por uma pilha. A lente graduada permite medições com uma exactidão de 0,02mm (Gonçalves, 2004).

3.4.3.7. Fissurómetro simples

O **fissurómetro simples** (Fig.3.11) é um pequeno instrumento destinado a medir, de forma expedita e económica, os movimentos relativos que se verificam num ponto numa fissura ou fenda existente numa parede, pavimento ou qualquer outro elemento estrutural numa construção (Cóias, 2006).

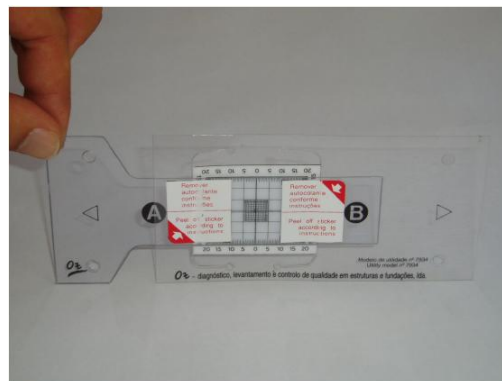


Fig.3.11. – Fissurómetro

O fissurómetro é constituído por duas partes, designadas por “A” e “B”, executadas em plástico flexível e transparente. A primeira, em forma de “T”, tem impresso dois traços de referência em esquadria. A segunda, de forma rectangular, tem impresso um reticulado graduado em 0,5mm e é dotada de duas ranhuras, nas quais a parte “A” vem introduzida, de modo que os traços de referência e o reticulado fiquem sobrepostos e centrados (Cóias, 2006).

3.4.3.8. Dilatômetro ou comparador digital, também conhecido por fissurômetro electrónico

Equipamento de precisão (até 0,002mm) que mede a evolução da distância entre dois testemunhos metálicos (base) colocados um de cada lado da fissura, distanciados de cerca de 200mm. A colocação de testemunhos e a aferição é feita com barra de *invar* apropriada (Silva, et al., 2003).

Tem limites máximos de variação de 2mm. Antes da deformação exceder esse valor, é necessário alterar a posição dos testemunhos, transportando os valores anteriores (Silva, et al., 2003).

3.4.3.9. Réguas graduadas ou corrediças ou extensómetros mecânicos (plástico, metal ou vidro) e extensómetros eléctricos

Os **extensómetros mecânicos** são constituídos por duas peças rígidas graduadas ou com simples traços de referência que correm uma sobre a outra quando se verificam movimentos relativos dos dois lados (Silva, et al., 2003).

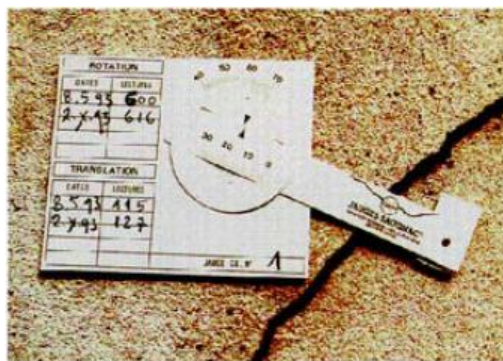


Fig.3.12 – Extensómetro mecânico

Os de plástico opaco têm variantes para medir deformações lineares no plano de parede com registo de máximo e mínimo, deformações perpendiculares ao plano da parede, evoluções de inclinações e deformações complexas no plano da parede (translação oblíqua e rotação) (Silva, et al., 2003).

Os extensómetros de metal ou vidro limitam-se, em geral, a graduações lineares de referência. Os mais versáteis – pela sua reduzida espessura, flexibilidade e resistência à humidade – são os de plástico. A precisão é variável, mas, muitas vezes, não ultrapassa 1mm (Silva, et al., 2003).

Os **extensómetros eléctricos** com configuração especial com filamentos sucessivamente quebráveis, permitem medir afastamentos de duas zonas distintas, em função da variação da resistência eléctrica do extensómetro. São de eficácia reduzida ou nula com redução da largura das fissuras, uma vez que são flexíveis. Obrigam à ligação a uma *data-logger* mas permitem o registo automático, periódico, dos deslocamentos (Silva, et al., 2003).

3.4.3.10. Paquímetro digital ou mecânico com base de 2 ou 3 pontos (parafusos)

Constituindo uma base com 2 ou 3 parafusos, fixados rigidamente à parede através de furo preenchido com resina *epoxi*, o paquímetro mede a evolução das distâncias entre eles (vertical e horizontal, no caso da base triangular, que deve ter um ângulo recto, com os lados vertical e horizontal ou rodados 45°) (Silva, et al., 2003).

O paquímetro tem maior precisão, atingindo sem dificuldade 0,01m, enquanto o mecânico se limita a 0,1mm (Silva, et al., 2003).



Fig.3.13 – Paquímetro digital

3.4.3.11. Observação boroscópica de cavidades e fendas – Boroscópio

O diagnóstico de patologias das estruturas e dos materiais, bem como o seu levantamento são, em muitos casos, facilitados pela possibilidade de inspecionar o interior de cavidades e fendas de pequenas dimensões existentes nesses materiais ou elementos estruturais (Cóias, 2006).

A boroscopia é uma técnica baseada na utilização dum instrumento óptico – o boroscópio – e constitui uma forma reduzidamente intrusiva de efectuar tais observações (Cóias, 2006).

A haste de observação é introduzida no orifício, observando-se visualmente o seu interior. Além da observação directa, a ocular permite, através de adaptadores apropriados, montar uma máquina fotográfica de 35mm ou uma câmara de vídeo, possibilitando o registo de imagens do campo observado (Cóias, 2006).

3.4.3.12. Esclerómetro de Schmidt

O esclerómetro (Fig.3.14) é um aparelho usado de forma simples e não destrutiva para a determinação da dureza superficial do betão. Permite obter *in situ* a resistência à compressão de elementos de betão (Cóias, 2006).

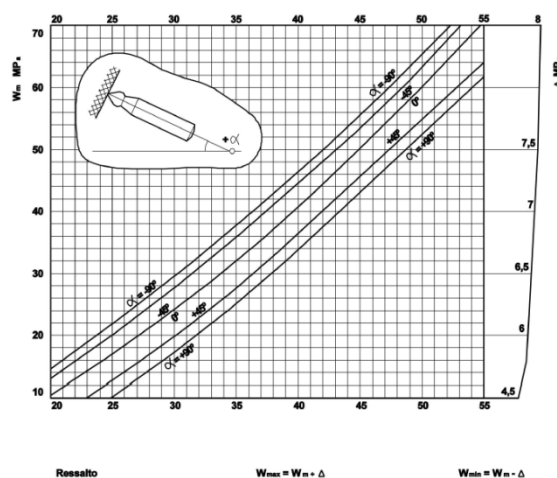


Fig.3.14 – Ensaio esclerométrico e ábaco de correlação

Após preparação da superfície a ensaiar, a cabeça do veio de compressão é colocada perpendicularmente à superfície a ensaiar, empurrando o corpo do esclerómetro contra ela, numa forma contínua, até a massa se soltar e se ouvir o impacto (Cóias, 2006).

O “índice esclerométrico” lido é depois relacionado com o ábaco colocado na parte lateral do esclerómetro (Fig.3.14), estimando-se a resistência à compressão do material ensaiado, relativamente a essa leitura (Cóias, 2006).

A limitação é que os valores são apenas indicativos do valor da resistência superficial à compressão e os pontos críticos são a escolha do local e do número de ensaios (Cóias, 2006).

3.4.3.13. Ensaio expedito para determinação da permeabilidade aparente do betão ao ar e à água

A penetração do ar e da água no betão podem contribuir para a sua alteração e para a corrosão das armaduras existentes no seu interior (Cóias, 2006).

A permeabilidade do betão ao ar ou à água pode ser estimada por vários métodos (Cóias, 2006):

- Método do anel de ensaio (permeabilidade à água sob pressão);
- Método de Autoclam (permeabilidade ao ar e à água e absorção de água)
- Método da agulha (utiliza o oxigénio como fluido);
- Método de Parrott (permeabilidade ao ar);
- Método de Figg (permeabilidade ao ar e à água).

No ensaio de permeabilidade aparente ao ar consiste na medição do tempo necessário para o ar penetrar numa pequena cavidade, previamente feita no betão, reduzindo a pressão de – 55 kPa para – 50 kPa. Este tempo é uma medida da permeabilidade aparente do betão ao ar (Cóias, 2006).

No ensaio de permeabilidade aparente à água utiliza-se a mesma cavidade, que é completamente preenchida com água, medindo-se o tempo total, em segundos, necessário para penetrar no betão um volume de 0,1 ml. Este tempo é uma medida da permeabilidade aparente do betão à água (Cóias, 2006).

3.4.3.14. Determinação *in situ* do teor de cloretos de betão

O método utilizado permite determinar o teor total, ou, mais precisamente, o teor solúvel em ácido, de cloretos existentes no betão (Cóias, 2006).

O equipamento utilizado (Fig.3.15) é composto por um mala com pequena balança, eléctrodo e reagentes (Cóias, 2006).

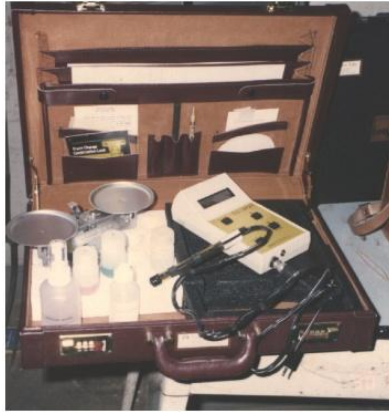


Fig.3.15 – Equipamento para determinação *in situ* do teor de cloretos de betão.

Uma amostra de pó de betão a ensaiar é dissolvida numa solução ácida normalizada. Os iões de cloreto reagem com o ácido numa reacção electroquímica (Cóias, 2006).

Um eléctrodo provido de um sensor de temperatura, depois de devidamente calibrado, é introduzido na solução, medindo a reacção electroquímica. Um aparelho expressamente concebido para o efeito converte automaticamente em percentagem de iões de cloreto a tensão gerada pela sua concentração, corrigindo simultaneamente a temperatura. Esta percentagem é obtida por leitura directa num mostrador de cristais líquidos (Cóias, 2006).

Os pontos críticos incluem a recolha do pó, para obtenção dos perfis de cloretos, a representatividade da amostra, a validade das soluções e a limpeza do eléctrodo (Cóias, 2006).

Este ensaio segue a NP ENV 206 (Cóias, 2006).

3.4.3.15. Indicador de fenolftaleína

O indicador de fenolftaleína determina a profundidade de carbonatação de betões, argamassas ou outros materiais cimentícios (Cóias, 2006).

A carbonatação traduz-se na diminuição gradual do valor do pH originada por diversos factores (Costa, et al., 2007).

O objectivo deste ensaio é avaliar a profundidade de carbonatação para aferir de forma expedita o risco de corrosão simples (Cóias, 2006).

Utilizando o indicador da fenolftaleína, é possível determinar *in situ* a profundidade da frente de carbonatação em superfícies recém expostas. Conhecendo a posição da frente de carbonatação em vários pontos numa estrutura, é possível avaliar a sua durabilidade e estimar a extensão das zonas a reparar (Cóias, 2006).

Utilizando um aspersor com a solução alcoólica de fenolftaleína, molham-se as superfícies internas do furo de ensaio e observa-se a sua coloração. A zona carbonatada apresenta-se incolor, e a não carbonatada deverá apresentar uma coloração rosada, sendo possível medir a profundidade da frente de carbonatação na transição de uma zona para a outra (Cóias, 2006).

Os pontos críticos são (Cóias, 2006):

- Limpeza dos furos de ensaio (essencial para a fiabilidade dos resultados);
- Tempo decorrido entre a exposição da zona de ensaio e a aplicação da fenolftaleína.

3.4.3.16. Técnica dos potenciais eléctricos

A presença de corrosão das armaduras pode ser detectada através da medição dos potenciais eléctricos da superfície do betão, relativamente a um eléctrodo de referência (Cóias, 2006).

Aplicando uma diferença de potencial entre um eléctrodo de referência e um terminal ligado à armadura na zona a medir, é possível medir o potencial eléctrico (em mV) existente no sistema sendo que os valores obtidos correspondem a uma das três gamas de leituras, que podem corresponder a zona com corrosão, zona em início de corrosão e zona sem corrosão (Maia).

Esta técnica permite localizar as áreas onde o betão armado precisa de ser reparado ou protegido, e, através da sua aplicação repetida, acompanhar o comportamento de estruturas novas, minimizando assim os seus custos de manutenção (Cóias, 2006).

A metodologia é a descrita na Norma ASTM C876-80.

No entanto esta técnica apresenta algumas limitações, dado que não indica a velocidade de corrosão, é necessária a ligação à armadura, os resultados requerem experiência a interpretar e é influenciado pelo teor de humidade, teor de sais, a temperatura, razão A/C e a influência de camada protectora ou decorativas (Lança).

3.4.3.17. Técnica da resistência de polarização

Utiliza-se a técnica da resistência de polarização para quantificar a taxa de corrosão das armaduras de elementos de betão armado (Cóias, 2006).

Esta técnica é utilizável em betões muito carbonatados ou com elevado teor de cloretos.

O equipamento é constituído por uma unidade central que controla o sistema, o sensor “A”, para a medição da taxa de corrosão e medição dos potenciais de meia célula, e o sensor “B”, para medição da resistividade, temperatura e humidade relativa (Cóias, 2006).

A limitação desta técnica não permite obter informação quanto à importância da corrosão. O ponto crítico é a existência de correntes vagabundas (Cóias, 2006).

3.4.3.18. Avaliação do risco de corrosão activa das armaduras através da medição da resistividade do betão

Este tipo de ensaios permite identificar áreas onde a corrosão está presente ou prestes a verificar-se, antes dos seus efeitos se tornarem visíveis (Cóias, 2006).

O equipamento utilizado é, basicamente, um conjunto de quatro eléctrodos em linha, do tipo Wenner, uma fonte de corrente alterna e circuitos electrónicos que permitem medir a resistividade (Cóias, 2006).

Aplica-se uma corrente entre as duas sondas externas (sondas de corrente), medindo-se uma voltagem entre as duas sondas internas (sondas de voltagem) (Cóias, 2006).

Tendo em vista estimar os níveis de corrente, torna-se necessário medir a resistividade do betão nas áreas com elevada probabilidade de corrosão (Cóias, 2006).

Esta técnica ainda apresenta outras limitações (Cóias, 2006):

- Dificil correlação com outras propriedades correntemente em estudo;
- Sensível a teor de humidade, teor de sais, temperatura, razão A/C.

3.4.3.19. Medidores de recobrimento

Os medidores de recobrimento permitem detectar a posição e a direcção das armaduras, as suas dimensões e recobrimento, em estruturas de betão armado e pré-esforçado, de forma não destrutiva (Cóias, 2006).

O medidor de recobrimento (Fig.3.16) é um aparelho portátil, alimentado por pilhas e composto, fundamentalmente, pela unidade de leitura (que tem incorporado um microprocessador), por dois detectores, um grande e outro pequeno, e dois espaçadores (Cóias, 2006).

O método de detecção de armaduras é auxiliado por um sistema áudio, variável com a distância de armaduras (Cóias, 2006).

Não conseguem obter leituras em zonas de com grande densidade de armaduras e são influenciáveis pela presença de outros elementos metálicos na área de ensaio (Cóias, 2006).



Fig.3.16 – Medidor de recobrimento.

3.4.3.20. Detecção de delaminações superficiais por percussão, arrastamento de correntes ou aparelhos de rodas dentadas

A delaminação superficial indica a existência de um processo de deterioração da estrutura e pode ser detectada por meio de percussão, arrastamento de correntes e passagens com um aparelho de rodas dentadas (Cóias, 2006).

A detecção pode ser conseguida tirando partido da diferente sonoridade emitida por estas zonas quando percutidas ou solicitadas acusticamente por processo idêntico, relativamente às zonas circundantes, não afectadas (Cóias, 2006).

A superfície dos elementos em estudo vai sendo percutida com um **martelo leve**. No caso de grandes extensões de pavimentos, utiliza-se uma **corrente** ou uma **esteira de correntes**, que vão sendo arrastadas, em geral, manualmente, sobre o pavimento, ou um **aparelho de rodas dentadas** com o qual se percorre a área a inspeccionar. Em qualquer caso, as zonas que “soarem a oco” são zonas delaminadas, e são marcadas, de modo a poderem ser facilmente identificadas (Cóias, 2006).

3.4.3.21. Resistograph

Este equipamento (Fig.3.17) avalia a integridade de elementos de madeira, sendo possível detectar podridões, vazios e defeitos interiores, não visíveis por inspecção visual (Lladró, et al., 2006).



Fig.3.17 – Resistograph

O *Resistograph* é constituído por uma broca de muito pequeno diâmetro, accionada electricamente e, por um sistema de controlo que permite medir e registar a potência exigida ao motor durante a furação.

O *Resistograph* fornece um perfil de variação radial da resistência à perfuração, o qual é alvo de um tratamento estatístico, de forma a permitir obter um valor médio, denominado de Valor de *Resistograph* (VR) (Júnior, 2006).

O *Resistograph* possui informação qualitativa de grande interesse, pois fornece um registo desenhado da variação de resistência à perfuração, à escala 1/1 (Lladró, et al., 2006).

Este equipamento tem como limitação a necessidade de realização de vários ensaios para a caracterização de uma única zona. Os pontos críticos são (Cóias, 2006):

- Representatividade da amostra;
- Selecção dos pontos de ensaio;
- Verificação periódica durante a sessão de ensaios do estado da agulha.

3.4.3.22. Laboratório compacto e espectro-fotómetro portáteis

O ensaio permite a caracterização rápida e expedita da água em contacto com construções, do ponto de vista da presença de sais potencialmente nocivos para essas construções, e a identificação das eflorescências salinas por vezes presentes nessas mesmas construções (Cóias, 2006).

O espectro-fotómetro dispõe dum microprocessador que permite apresentar as concentrações determinadas num mostrador electrónico (Cóias, 2006).

O laboratório portátil dispõe de reagentes para as seguintes determinações: alumínio, amónio, cádmio, chumbo, cianeto, cianeto/tiocianeto, cloreto, cloro, cobre, crómio, estanho, fenol, ferro, fosfato, hidrazina, magnésio, manganés, níquel, nitrato, nitrito, ouro, oxigénio, peróxido, prata, silício, sulfato, sulfito e zinco (Cóias, 2006).

Utiliza-se um conjunto de reagentes de elevada pureza analítica e sensibilidade, de modo a que se obtenham resultados reprodutíveis (Cóias, 2006).

As determinações são feitas por meio de um espectro-fotómetro dotado de quatro díodos emissores de luz: azul (480nm), verde (565nm), amarelo (585nm) e vermelho (635nm). O zero é acertado com cada amostra de água antes do tratamento, inserindo a amostra e premindo um botão (Cóias, 2006).

Os pontos críticos são (Cóias, 2006):

- Concentrações das amostras de água e sua temperatura;
- O prazo de validade dos reagentes.

3.4.3.23. Tubo de Karsten

Esta técnica permite avaliar a porosidade superficial duma alvenaria ou revestimento.

A superfície do bordo do tubo que irá ficar em contacto com a parede é coberta com mástique e pressionada contra a superfície. Após o endurecimento da mástique, o tubo é cheio de água até ao seu nível máximo. O abaixamento do nível da água é medido aos 5, 10, 15 minutos.

A medição da percolação através da parede e a subsequente avaliação em vários intervalos de tempo permitirá a avaliação da permeabilidade da alvenaria ou revestimento à água (Campanella, et al., 2003).

Esta técnica de ensaio é simples e expedita, dá uma ideia geral do comportamento da parede, desde que esta seja relativamente homogénea. No entanto, o método não permite distinguir entre a água absorvida pelo revestimento, pelas juntas ou pelos tijolos ou pedras.

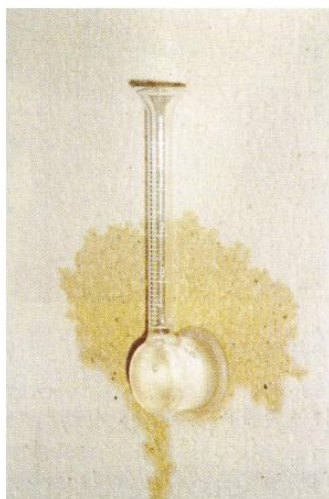


Fig.3.18 – Tubo de Karsten

3.4.3.24. Kit de ensaio – *Speedy*

Este equipamento permite medir a humidade interior das paredes (Cóias, 2006).

O equipamento consiste num depósito metálico com uma tampa dotada dum sistema de aperto, capaz de garantir uma vedação hermética, onde se dá a reacção entre a humidade presente na amostra recolhida e o carboneto de cálcio. Esta reacção dá origem à produção de acetileno. Devido à vedação hermética do depósito, a produção de gás traduz-se num aumento de pressão, que é medido por meio dum manómetro (Cóias, 2006).

O *kit* de ensaio dispõe duma balança de precisão, para medir a quantidade de material a ensaiar, e dos acessórios necessários à realização em obra deste tipo de ensaio. (Fig.3.19)

A principal vantagem destes equipamentos é o facto de possibilitarem a medição de teores de água *in situ* com rapidez e precisão aceitáveis, sem o recurso a trabalho de laboratório.

Os principais inconvenientes são o procedimento de ensaio, meticuloso e sujeito a erros (não esquecer que se trata de ensaios *in situ*), a eventual perigosidade resultante da presença do acetileno e a precisão por vezes insuficiente (Henriques, 2001).



Fig.3.19 – Kit de ensaio: *Speedy*

3.4.3.25. Humidímetros

Permitem medir de forma expedita a humidade superficial em paredes.

O humidímetro é um aparelho electrónico portátil, dotado de dois eléctrodos pontiagudos, que se vão posicionando sucessivamente sobre a superfície da parede, ao longo duma malha de referência previamente marcada (Cóias, 2006).

O comprimento dos eléctrodos deve ser adaptado a cada situação, para que as leituras não sejam influenciadas pelos revestimentos superficiais eventualmente existentes sobre as paredes.

Os resultados fornecidos por esta técnica têm validade em termos comparativos e não absolutos, podendo ser uma ferramenta bastante útil na detecção de zonas com elevado teor de humidade e na determinação das causas desse fenómeno. De uma forma geral, os valores obtidos permitem ainda estimar as variações a que os revestimentos estão sujeitos nas suas condições naturais (Magalhães, et al.).

A vantagem destes aparelhos é a sua facilidade, agilidade e rapidez de utilização (Henriques, 2001).



Fig.3.20 – Humidímetros

3.4.3.26. Higrómetros e psicrómetros

Estes equipamentos permitem medir as solicitações a que estão sujeitos os elementos construtivos (medições higrométricas ou humidade relativa) e estimar os riscos de ocorrência de determinadas patologias, como por exemplo condensações.

Os **higrómetros** funcionam com base nas variações sofridas por certos materiais sob a acção da humidade relativa, utilizando para o efeito um material sensível à humidade ligado a uma haste que fornece leituras directas. Os higrómetros podem ser diferentes quanto aos materiais sensíveis que utilizam, destacam-se:

- Higrómetros de papel (espiral de papel e de metal, a qual transmite as suas variações dimensionais a uma haste sobre o mostrador);
- Higrómetros de cabelo (mecha de cabelos ou de fibras sintéticas, cujos alongamentos são transmitidos a uma haste montada sobre um mostrador, ou susceptível de efectuar registos em papel, caso em que são designados por higrógrafos).

O registo dos dados pode ser diário, semanal ou mensal. Associado a um termómetro com lâmina bimetálica, pode fornecer também a temperatura do ar, transformando-se assim num **termo-higrógrafo**.

Este equipamento tem a vantagem de ser útil, prático, de pequenas dimensões e possibilita uma leitura directa. As principais limitações são a pouca fiabilidade, inércia relativamente elevada, eventual sensibilidade à poluição e necessidade de requererem calibrações frequentes.

O **psicrómetro** pode ser de roca, ventilação mecânica ou ventilação eléctrica. É composto de dois termómetros iguais, com um bolbo livre e seco (mede a temperatura do ar), o outro envolvido num pedaço de tecido que deve estar sempre molhado (mede a temperatura resultante da evaporação de água). Com uma ventilação ligeira acelera-se a evaporação do tecido provocando o arrefecimento do bolbo do termómetro molhado, enquanto o outro, seco, se conserva insensível ao movimento do ar. A diferença de temperatura entre os dois termómetros será tanto maior quanto mais forte é a evaporação da água, isto quanto mais seco for o ar. O intervalo térmico entre os dois termómetros permite calcular a humidade relativa do ar com muita precisão.

Com a ajuda da tabela psicométrica pode imediatamente estabelecer-se o teor higrométrico de ar. É possível incorporar no instrumento um computador electrónico capaz de fornecer, para além da humidade relativa, a temperatura do ar, a humidade absoluta e a temperatura de orvalho.

As principais vantagens são, geralmente precisos, práticos, funcionais, e não necessitam de calibrações frequentes. Os principais inconvenientes são o custo elevado (à excepção do psicrómetro de roca) e não são utilizáveis com temperaturas próximas aos 0°C, pois o bolbo gelaria.

3.4.3.27. Termómetros, termopares e termistores

Estes equipamentos medem a temperatura do ar. Estas determinações deverão ser efectuadas quer nos ambientes interiores quer nos exteriores. Poderão ser realizadas apenas na ocasião em que a visita ao local for realizada ou, preferencialmente, ao longo dum intervalo de tempo considerado significativo.

Os **termómetros** podem ser de mercúrio, de gás o bi-metálicos. Apesar de serem de fácil utilização, geralmente são de pouca precisão e podem necessitar de serem calibrados com alguma frequência.

O **termopar** é um dispositivo electrónico que se baseia na medição da diferença de potencial do eléctrico criada pela temperatura na junção de dois metais diferentes (a utilização dos termopares requer sempre o uso de instrumentos de leitura adequados, que podem ir desde os simples multímetros a aparelhos registadores com vários canais, em geral muito sofisticados). São precisos, têm a possibilidade de efectuarem medições localizadas e permitem a obtenção de registos automáticos das leituras. No entanto, requerem instrumentos de leitura adequados, os quais em geral são de custo elevado.

O **termistor** mede a temperatura através de um sensor constituído por um elemento que varia a sua resistência ao variar a temperatura. Conhecendo a resistência eléctrica poderá calcular-se a temperatura do ar. São muito fáceis de usar, precisos e têm a possibilidade de obtenção de registos automáticos das leituras. Mas requerem instrumentos de leitura adequados, de custo geralmente elevado.

Qualquer um destes instrumentos pode também medir a temperatura superficial dos elementos construtivos, desde que se estabeleça um contacto perfeito entre o elemento sensível e a estrutura, sem que o equipamento seja influenciado pela temperatura do ar. (obras de conservação e restauro arquitectónico)

Os **termómetros por raios infravermelhos** são instrumentos específicos para medir a temperatura superficial dos materiais. Se esses raios forem dirigidos por meio de um sistema óptico de forma a incidirem num termopar de alta amplificação, pode conhecer-se instantaneamente a temperatura do corpo (Campanella, et al., 2003).

3.4.3.28. A Importância da Realização de Técnicas de Ensaio *In Situ*

Os ensaios *in situ*, constituem um valiosíssimo meio auxiliar à inspecção visual, e permitem uma melhor caracterização de (Flores-Colen, et al., 2006):

- Mecanismos de degradação existentes nos materiais ou elementos construtivos (por exemplo, sujidade, eflorescências, humidade, fissuração);

- Variações das propriedades da componente ou elemento construtivo relacionadas directamente com o seu desempenho (por exemplo, resistência mecânica, coeficiente de absorção de água);
- Condições *in situ* (por exemplo, parâmetros ambientais);
- Tipo de materiais aplicados, em conjunto com ensaios laboratoriais, a partir de amostras *in situ* (por exemplo: caracterização dos constituintes da argamassa, teor de ligante).

Neste sentido, a sua realização permite reduzir a subjectividade das inspecções visuais (muito dependente da formação e experiência do técnico que faz a inspecção) e avaliar, com maior precisão, as efectivas necessidades de manutenção; permite ainda detectar pequenas alterações que podem estar associadas a sinais de pré-patologia (fenómenos de alteração anteriores ao aparecimento das anomalias não visíveis a olho nu) (Flores-Colen, et al., 2006).

Estes ensaios podem apresentar alguns condicionalismos como aumentar o tempo de inspecção e produzir resultados confusos e de difícil interpretação (em especial, quando a informação disponível sobre os materiais aplicados é nula ou escassa); possuem limitações, dependendo da técnica utilizada – por vezes, a pouca precisão da técnica utilizada permite apenas uma análise qualitativa. No actual estado do conhecimento, são poucas (e normalmente onerosas) as técnicas de ensaio *in situ* que permitem informação fiável. Porém, a utilização conjunta de várias técnicas de ensaio facilita a interpretação dos resultados e minimiza as limitações referidas (Flores-Colen, et al., 2006).

Pelas razões anteriores, estes ensaios, mesmo com algumas limitações, permitem detectar erros grosseiros no diagnóstico ou evitar, em certos casos, a realização de análises laboratoriais (que consomem tempo e aumentam os custos de inspecção), sendo sempre preferível utilizá-los em conjunto com a inspecção visual em vez de inspecção unicamente visual (Flores-Colen, et al., 2006).

3.4.4. TÉCNICAS DE ENSAIO LABORATORIAIS

Os ensaios laboratoriais sobre amostras recolhidas em obra complementam a informação obtida dos ensaios *in situ*.

No caso das intervenções em construção de betão armado, os ensaios laboratoriais incidem, sobretudo, na caracterização do betão, do ponto de vista das suas propriedades mecânicas e da sua durabilidade, e, menos frequentemente, na caracterização das propriedades mecânicas do aço das estruturas (Cóias, 2006).

No caso das intervenções do património arquitectónico, os ensaios laboratoriais a que se recorre neste domínio podem ser classificadas em (Cóias, 2006):

- Testes de envelhecimento;
- Análises mineralógicas e petrográficas;
- Análises químicas;
- Medições da estrutura porosa;
- Medições das propriedades mecânicas;
- Ensaios de absorção de água.

No caso da pedra, em vez de retirar amostras da obra em estudo, podem ser utilizadas amostras obtidas nas pedreiras originais de onde ela foi originalmente extraída.

No caso da madeira, a dendrocronologia é o método mais antigo de datação rigorosa de uma construção, para além das aproximações que se podem fazer a partir da localização, materiais utilizados, tipos de juntas das estruturas de madeira e pormenores estilísticos (Cóias, 2006).

De seguida, é apresentada uma lista de ensaios laboratoriais mais frequentes a que se pode recorrer para complementar a informação obtida através dos ensaios feitos da própria obra, Quadro 3.4 (Cóias, 2006).

Quadro 3.4 – Lista de ensaios laboratoriais (Cóias, 2006).

Designação do ensaio	Técnica	Aparelho utilizado	Utilização principal	Utilizações acessórias	Princípio utilizado	Descrição sumária
Aderência: avaliação						
Ensaio de provetes à tracção		Máquina de tracção	Caracterização de propriedades mecânicas de materiais de construção.			
Alterações superficiais do betão e da pedra: detecção, caracterização						
Absorção de uma gota de água	Taxa de absorção de uma gota de água		Estudo de alterações ou tratamentos de superfícies de pedra, em particular, de repelência			Após secagem em estufa, deixa-se cair sobre a amostra do material uma gota de água desmineralizada, comparando-se o tempo de absorção para amostras tratadas e não tratadas.
Análise dos sais solúveis	Cromatografia iónica		Determinação dos sais solúveis presentes em amostras. Estudo das alterações superficiais da pedra		Os iões em solução passam sobre uma coluna de resina à qual aderem	Utiliza-se no ensaio o pó recolhido do local. A cromatografia iónica analisa as concentrações de iões numa solução, por exemplo, sulfato, nitrato e cloreto.
Análise petrográfica de betões e argamassas	Petrografia	Eq. prod. lâminas delgadas, microscópio e acessórios	Estudo da microestrutura do betão e das argamassas (antigas). Avaliação da qualidade de um betão ou argamassa (composição, métodos de trabalho, etc). Detecção de reacções secundárias (alcali inerte)	Estudo da microestrutura de terra (adobe ou taipa)	Similar à petrografia e à mineralogia	Execução de lâminas delgadas, a partir de carotes ou amostras do material, para análise microscópica
Análise química elementar			Estudo da composição das argamassas			

Quadro 3.4 – Lista de ensaios laboratoriais (Cóias, 2006) (cont.).

Designação do ensaio	Técnica	Aparelho utilizado	Utilização principal	Utilizações acessórias	Princípio utilizado	Descrição sumária
Avaliação da alteração e conservação de superfícies de pedra	<i>Laser</i>	<i>Laser</i> microprobe	Determinação da profundidade de alteração e profundidade de penetração das medidas de conservação em superfícies de pedra		Análise do CO ₂ libertado pelos carbonatados presentes na pedra	O CO ₂ é libertado sob a acção do <i>laser</i> , dos carbonatados das pedras e analisado num espectrómetro de massa
Avaliação da porosidade de sólidos pelo peso hidrostático	Comparação das densidades aparente e real		Medição da porosidade total de sólidos. Avaliação do grau de deterioração de pedras. Avaliação dos efeitos de tratamentos de impregnação		Princípio de Arquimedes	Após secagem em estufa e pesagem, determinam-se. Após saturação, os pesos hidrostático e ao ar
Ensaio de absorção de água por imersão total	Absorção de água		Caracterização de materiais de construção porosos e avaliar o seu grau de deterioração	Monitorizar os efeitos de tratamentos de conservação		Após secagem em estufa, amostras do material são imersas em água desmineralizada, medindo-se, por pesagem, a absorção de água.
Espectrofotometria FTIR (Fourier Transform Infrared)	FTIR	Perkin Elmer Nicolet	Avaliação de alterações associadas com a utilização de consolidantes da pedra			
Microanálise elementar de raios X por dispersão de energia (AXDE)			Determinação da composição elementar, em conjunto com o microscópio electrónico de varrimento. Estudo da alteração superficial da pedra			
Microscopia (óptica, electrónica de varrimento, análise de imagens)			Estudos de degradação do betão (corrosão das armaduras, reacção alcali inerte, ataque dos sulfatos, ataque por agentes químicos diversos)			

Quadro 3.4 – Lista de ensaios laboratoriais (Cóias, 2006) (cont.).

Designação do ensaio	Técnica	Aparelho utilizado	Utilização principal	Utilizações acessórias	Princípio utilizado	Descrição sumária
Observação ao microscópio óptico	Microscopia	Microscópio óptico	Obtenção de informação textural de amostras de argamassas, etc.			O microscópio óptico permite ampliações até 1000 vezes, possibilitando o estudo da estrutura dos grãos com lâminas delgadas e a identificação de microcristais
Simulador de efeitos de poluição atmosférica	Simulação em laboratório	Simulador	Estudos dos efeitos da poluição atmosférica sobre a pedra		Reprodução duma situação real em laboratório	Amostras de pedra são colocadas em câmaras de simulação atmosférica, dotadas de sistemas de medição
Argamassas e rebocos						
Análise expedita de argamassas			Determinação expedita das proporções dos três componentes principais duma argamassa antiga (carbonato de cálcio, finos e areia)			Uma amostra da argamassa é submetida a vários ensaios e observações: pulverização, reacção com o ácido clorídrico, separação, filtragem e peneiração.
Análise mineralógica por difractometria de raios X	Raios X		Estudo da composição, por exemplo, de argamassas antigas	Estudo da microestrutura de terra (taipa e adobe)	Identificação das espécies minerais presentes	
Análise petrográfica de betões e argamassas	Petrografia	Eq. prod. lâminas delgadas, microscópio e acessórios	Estudo da microestrutura do betão e das argamassas (antigas). Avaliação da qualidade de um betão ou argamassa (composição, métodos de trabalho, etc). Detecção de reacções secundárias (alcali inerte)	Estudo da microestrutura de terra (adobe ou taipa)	Similar à petrografia e à mineralogia	Execução de lâminas delgadas, a partir de carotes ou amostras do material, para análise microscópica

Quadro 3.4 – Lista de ensaios laboratoriais (Cóias, 2006) (cont.).

Designação do ensaio	Técnica	Aparelho utilizado	Utilização principal	Utilizações acessórias	Princípio utilizado	Descrição sumária
Análise térmica (termogravimetria, análise térmica diferencial)	Análise térmica		Estudos de degradação do betão (corrosão das armaduras, reacção alcali inerte, ataque dos sulfatos, ataque por agentes químicos diversos). Estudo da composição de argamassas (p. ex., rebocos)		Perda ao fogo (água, CO ₂ , etc.)	Pesagem em contínuo duma amostra submetida a uma variação de temperatura linear, a fim de seguir as sucessivas variações de massa
Análise térmica da composição das argamassas	Análise térmica	Analizador térmico	Determinação da composição química de argamassas antigas		Determinação da curva termogravimétrica	Uma amostra do material a analisar, por exemplo, uma argamassa, vai sendo aquecida até aos 1000°C, determinando-se as temperaturas a que se dão as maiores perdas de peso. A partir desta curva é possível determinar a composição
Determinação da consistência e do tempo de presa de pastas e argamassas de cimento	Penetração	Aparelho de Vicat	Determinação da consistência e do tempo de presa das pastas, <i>grouts</i> , e argamassas de cimento e produtos similares. Determinação da falsa presa.		Medição da penetração dum veio ou de um cone no material, antes ou durante a presa	O aparelho dispõe duma escala graduada, indicador, veio e agulhas. O ensaio consiste em provocar a penetração, segundo a vertical, numa amostra do material
Determinação da distribuição de poros de mercúrio	Porosimetria de mercúrio	Porosímetro de mercúrio	Estudo da porosidade de argamassas, em particular, antigas. Estudo da porosidade da pedra. Avaliação dos efeitos de tratamento da pedra		Aplicação de mercúrio a uma pressão muito elevada (> 400 MPa)	Amostras do material a ensaiar, são secas a uma temperatura elevada e depois postas em contacto com mercúrio a uma pressão muito elevada, o que permite calcular a distribuição de poros

Quadro 3.4 – Lista de ensaios laboratoriais (Cóias, 2006) (cont.).

Designação do ensaio	Técnica	Aparelho utilizado	Utilização principal	Utilizações acessórias	Princípio utilizado	Descrição sumária
Espectrometria infravermelha			Identificação de produtos orgânicos com argamassas			
Estudo estratigráfico de rebocos antigos		Lupa microscópica	Caracterização da estrutura de rebocos antigos		Identificação visual das várias camadas que constituem um reboco	Impregnação de pequenas amostras em resina e observação à lupa microscópica
Medição da retenção de água			Medição da retenção de água dos rebocos		O poder de retenção de água é uma característica importante dos rebocos exteriores	(L) Mede-se a quantidade de água extraída sob o vazio, na unidade de tempo, numa pasta fresca que constitui um revestimento
Medição das variações de comprimento dum provete	Medição de pequenos deslocamentos	Retractómetro (CEBTP)	Medição da retracção de argamassas, gesso e betão		Medição de pequenos deslocamentos	Os provetes são realizados em moldes normalizados e são equipados de esperas de latão normalizados nas extremidades. A leitura é feita por comparador electrónico
Medição indirecta da porosidade por absorção de água	Absorção de água		Medição aproximada da porosidade de sólidos		Absorção de água	Comparando a massa de amostras antes e depois de saturadas com água é possível estimar a porosidade
Método de Jedrzejewska			Determinação do teor em carbonato de cálcio de argamassas antigas. Estudo da composição de argamassas antigas		Dissolução em ácido	A determinação é feita medindo o teor de dióxido de carbono libertado quando a amostra é dissolvida em ácido clorídrico

Quadro 3.4 – Lista de ensaios laboratoriais (Cóias, 2006) (cont.).

Designação do ensaio	Técnica	Aparelho utilizado	Utilização principal	Utilizações acessórias	Princípio utilizado	Descrição sumária
Observação com lupa binocular	Observação visual	Lupa binocular	Observação de amostras de argamassas, após extração, directamente ou após impregnação com resina e polimento. Análise estratigráfica das diferentes camadas de pintura num revestimento			
Tomografia de raios X computadorizada de amostras	Tomografia de raios X	Aparelho de tomografia de raios X	Avaliação da densidade tomográfica e da porosidade de pequenas amostras de alvenaria, tijolo, pedra ou argamassa. Análise de imagens			São cortadas lamelas com 1 mm de espessura do material a testar. São scannerizadas por um scanner de 137 keV e 220 mAs. São medidas as intensidades de densidade tomográfica em unidades de Hounsfield
Armaduras: detecção, identificação, verificação, recobrimento						
Análise tomográfica computadorizada por raios X ou \square			Localização e determinação do tamanho de varões e defeitos em elementos de betão			Um feixe colimado de raios X ou \square atravessa o elemento. A aquisição de dados envolve movimentos relativos de rotação e translação
Betão projectado						
Permeabilidade e aos cloretos por diferença potencial			Determinação expedita da permeabilidade de um betão aos cloretos		A penetração dos cloretos é acelerada pela diferença de potencial estabelecida	O ensaio é feito sobre uma carote do betão, provocando-se um fluxo acelerado de iões de cloro através do estabelecimento duma diferença de potencial
Construções de madeira						
	Dendrocronologia		Datação de elementos de madeira			

Quadro 3.4 – Lista de ensaios laboratoriais (Cóias, 2006) (cont.).

Designação do ensaio	Técnica	Aparelho utilizado	Utilização principal	Utilizações acessórias	Princípio utilizado	Descrição sumária
Tomografia de raios X de elementos de madeira			Detecção de variações de densidade no interior de peças de madeira			
Revestimentos: caracterização, medição da espessura						
Análise química elementar			Estudo da composição da argamassa.			
Análise térmica (termo-gravimetria, análise térmica diferencial)	Análise térmica		Estudos de degradação do betão (corrosão das armaduras, reacção alcali inerte, ataque dos sulfatos, ataque por agentes químicos diversos). Estudo da composição de argamassas (p. ex., rebocos)	Perda ao fogo (água, CO ₂ , etc.)		Pesagem em contínuo numa amostra submetida a uma variação de temperatura linear, a fim de seguir as sucessivas variações de massa
Avaliação do desempenho de revestimentos de protecção	Carbonatação acelerada		Avaliação do desempenho de revestimentos de protecção contra a carbonatação do betão	Carbonatação acelerada através de colocação numa amostra rica em CO ₂		Usam-se blocos de argamassa feitos com uma relação água/cimento de 1:1, para apresentarem grande permeabilidade. Depois de curados, os blocos são revestidos com o material a ensaiar. Os espécimes de controlo são conservados numa atmosfera sem CO ₂ ; os outros são expostos a uma atmosfera rica em CO ₂ para carbonatação acelerada, medindo-se a profundidade de carbonatação, utilizando uma solução de fenolftaleína.

Quadro 3.4 – Lista de ensaios laboratoriais (Cóias, 2006) (cont.).

Designação do ensaio	Técnica	Aparelho utilizado	Utilização principal	Utilizações acessórias	Princípio utilizado	Descrição sumária
Cromatografia em fase gasosa, pirólise e espectrometria de massa			Análise dos materiais de camadas pictóricas e de objectos de arte (ligantes, aditivos, agentes de protecção, etc.)		Conjugação de três técnicas de laboratório	
Determinação da durabilidade de revestimentos de protecção do betão por exposição a uma atmosfera artificial			Determinação da durabilidade de revestimentos de protecção do betão		Acção acelerada dos agentes de deterioração	Os provetes são expostos a atmosferas artificiais que permitem simular a acção acelerada dos agentes ambientais, estruturando-se o comportamento do revestimento
Determinação da permeabilidade e pelo método da imersão			Determinação da permeabilidade à água de revestimentos de protecção do betão		Imersão	Determina-se o aumento de massa de provetes após determinados períodos de imersão
Determinação da permeabilidade e à água pelo método da pressão hidrostática			Determinação da permeabilidade à água de revestimentos de protecção de betão		Penetração sob pressão	Determina-se o fluxo de penetração de água através da superfície, devido à pressão por ela exercida
Determinação da permeabilidade e aos cloretos de revestimentos de protecção do betão pelo método da célula de difusão			Determinação da permeabilidade aos cloretos de revestimentos de protecção do betão		Difusão (lei de Fick)	Impõe-se um gradiente de concentração de iões entre um e outro lado do provete e determina-se o coeficiente de difusão por aplicação da lei de Fick

Quadro 3.4 – Lista de ensaios laboratoriais (Cóias, 2006) (cont.).

Designação do ensaio	Técnica	Aparelho utilizado	Utilização principal	Utilizações acessórias	Princípio utilizado	Descrição sumária
Determinação da resistência à permeação do CO ₂ pelo método da carbonatação acelerada			Determinação da resistência à permeação do CO ₂ de materiais de protecção do betão		Carbonatação do hidróxido de cálcio	Provetes de betão pintados e não pintados são expostos, durante um certo intervalo de tempo num ambiente enriquecido em CO ₂ , avaliando-se, depois, a ocorrência de carbonatação
Determinação da resistência à permeação do CO ₂ pelo método da difusão			Determinação da resistência à permeação do CO ₂ de materiais de protecção do betão		1ª Lei da difusão de Fick	Determina-se a difusão de CO ₂ através duma determinada espessura de material, a partir do qual se pode determinar a espessura da camada do ar que possui a mesma resistência à difusão do CO ₂
Ensaio do vapor de iodo	Exposição ao valor de iodo		Avaliação da profundidade de penetração de produtos consolidantes da pedra		O vapor de iodo é absorvido pelas zonas da pedra com consolidante	Uma secção vertical duma atmosfera é exposta ao vapor de iodo, que é absorvido pelas zonas impregnadas de consolidante, escurecendo-as
Espectrofotometria FTIR (Fourier Transform Infrared)	FTIR	Perkin Elmer Nicolet	Avaliação de alterações associadas com a utilização de consolidantes da pedra			
Estudo estratigráfico de rebocos antigos		Lupa microscópica	Caracterização da estrutura de rebocos antigos		Identificação visual das várias camadas que constituem um reboco	Impregnação de pequenas amostras em resina e observação à lupa microscópica

Quadro 3.4 – Lista de ensaios laboratoriais (Cóias, 2006) (cont.).

Designação do ensaio	Técnica	Aparelho utilizado	Utilização principal	Utilizações acessórias	Princípio utilizado	Descrição sumária
Medição do ângulo de contacto	Microgota		Avaliação das propriedades hidrófugas de uma superfície	Avaliação da eficácia de hidrófugos	A superfície é hidrorrepelente, se o ângulo de contacto é $> 90^\circ$ e molhante se for $< 90^\circ$	Medição directa do ângulo de contacto através de uma lupa com micrómetro incorporado
Observação com lupa binocular	Observação visual	Lupa binocular	Observação de amostras de argamassas, após a extracção, directamente ou após impregnação com resina e polimento. Análise estratigráfica das diferentes camadas de pintura num revestimento			

4

POSSÍVEL APLICAÇÃO PRÁTICA. REFLEXÕES

4.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Neste capítulo serão recolhidas algumas patologias observadas em vários edifícios. Será feita a indicação das técnicas de diagnóstico mais adequadas para identificar a origem da patologia observada.

Não se pretende proceder à aplicação destas técnicas, mas sim propor técnicas de diagnóstico apropriadas.

A metodologia, assim como os equipamentos e ensaios a utilizar são os descritos no Capítulo 3.

Para a realização deste capítulo contou-se não só com a ajuda da informação recolhida no Capítulo 2 como da consulta do catálogo de fichas de patologias existente em Portugal, site do *Patorreb*.

Os edifícios em estudo apresentam alguma diversidade entre eles, no que respeita a materiais, técnicas construtivas, idade, acção de agentes de deterioração, entre outros, apresentando assim diferentes patologias que os caracterizam.

4.2. HABITAÇÃO 1

4.2.1. RECOLHA DE INFORMAÇÃO

A habitação é unifamiliar, foi construída na década de 80 e situa-se na cidade de Valpaços.

A região de Valpaços é caracterizado por um clima em que os Invernos são rigorosos e os Verões são quentes e secos, situando-se na transição entre a Terra Fria e a Terra Quente, beneficiando assim de dois climas totalmente diferentes. Os níveis de precipitação são elevados no Inverno e existe a ocorrência significativa de orvalho e geada e muito menos frequente queda de neve.

Quanto à exposição atmosférica, por se encontrar num meio rural considera-se uma atmosfera pouco poluída e fora do ambiente marinho.

O telhado sofreu recentemente remodelações, foi substituído por telha cerâmica e foi colocado isolamento térmico no desvão pois antes não o possuía.

Apesar de não se ter acesso às peças escritas e desenhadas (memórias descritivas e justificativas, desenho de arquitectura e pormenor), a descrição relativamente à constituição dos elementos

construtivos tem como base a informação recolhida durante a visita à habitação e a informação obtida pelo dono da habitação.

4.2.2.INSPECÇÃO VISUAL

A habitação é constituída por dois pisos, o piso inferior é composto por duas paredes de granito que se encontram em contacto com o terreno.

A habitação encontra-se rodeada de grande vegetação e arvoredo, e está implantada em solo rochoso.

A casa tem sistema de aquecimento central, permitindo que a temperatura interior seja mantida no Inverno entre 20 a 22°C. O piso inferior por não ser frequentemente utilizado é raramente aquecido.

O único dispositivo de extracção na habitação é o exaustor da cozinha que não funciona em regime permanente. A ventilação é portanto feita por aberturas de janelas, que por hábito não é tão frequente no Inverno.

O estado geral da habitação encontra-se bem cuidado e apresenta poucos problemas.

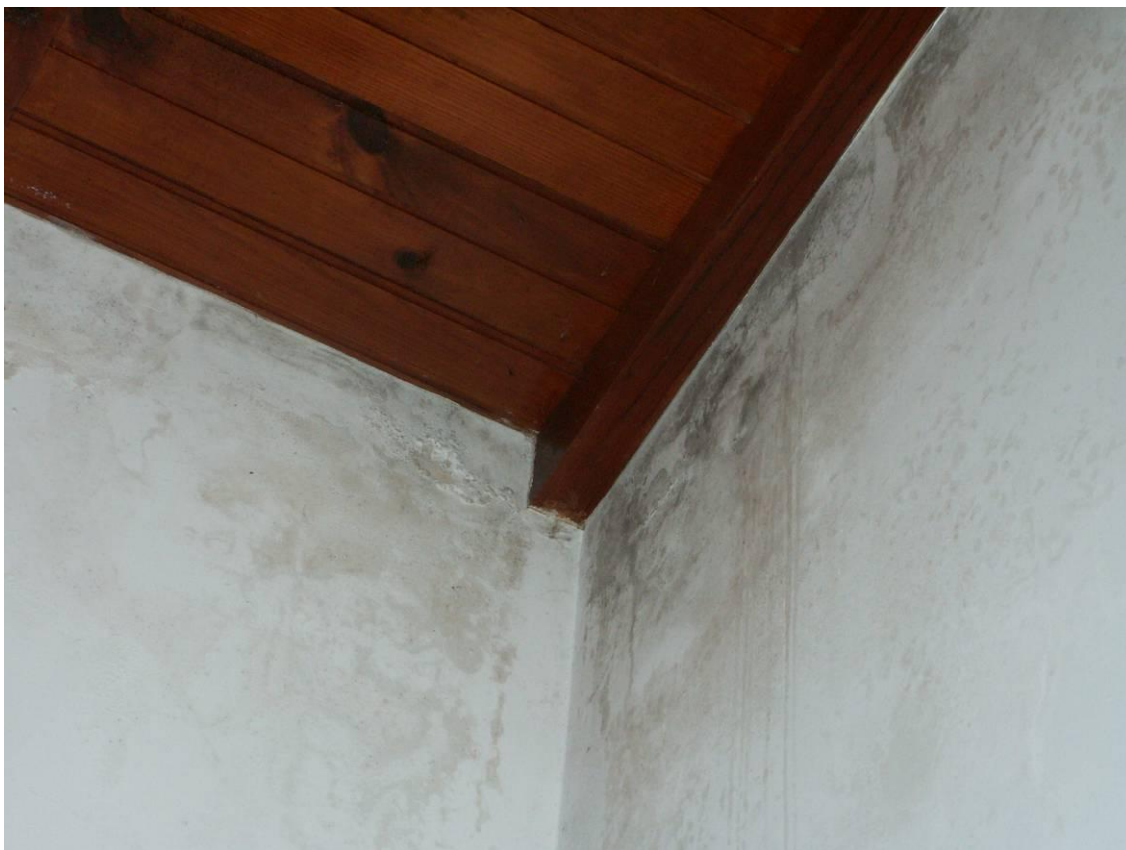
As paredes exteriores são duplas constituídas por tijolo e caixa-de-ar sem isolamento térmico, revestidos por reboco tradicional à base de cal e areia, e tinta plástica. É neste elemento, principalmente no interior que se encontram a maior parte das anomalias.

Os pavimentos também não possuem isolamento térmico, e são revestidos de soalho de madeira.

A casa de banho apenas possui uma janela de dimensões reduzidas que permite a sua ventilação. O tecto deste compartimento é inclinado e entre o desvão e o telhado não existe espaço de ar.

De seguida descreve-se com maior aprofundamento as anomalias observadas na habitação e através dos possíveis resultados das técnicas traçar um possível diagnóstico.

4.2.3. PATOLOGIA 1



4.2.3.1. Descrição da patologia

A superfície interior da parede da sala da habitação apresenta manchas de bolor, principalmente junto à ligação parede exterior/tecto, localizada no piso inferior.

4.2.3.2. Técnicas de ensaio e parâmetros medidos/avaliados

Quadro 4.1 - Técnicas de ensaio e parâmetros avaliados/medidos aplicados à Patologia 1 da Habitação 1

Humidímetro	Humidade superficial da parede (teor de água em %)
Termómetro, termopar ou termistor	Temperatura do ar interior
Higrómetros	Humidade relativa da ambiência interior

4.2.3.3. Possíveis resultados e respectivo diagnóstico

As medições da humidade superficial da parede efectuadas com o Humidímetro permitem concluir se a parede apresenta ou não sinais de humificação. No caso de apresentar o problema pode estar relacionado com infiltrações provenientes do exterior (precipitação).

Também pode estar relacionado com condensações superficiais, uma vez que a parede é exterior e não apresenta isolamento térmico, e o local é fracamente ventilado e não aquecido.

Para constatar o fenómeno de condensações superficiais, devem-se registar os valores da temperatura e humidade relativa do ar.

4.2.4.PATOLOGIA 2



4.2.4.1. Descrição da patologia

O revestimento da parede interior apresenta-se deteriorado, verifica-se o desenvolvimento de “bolhas” e descolamento do revestimento. Esta parede separa o corredor da casa de banho, e apesar de não se encontrar nenhum aparelho sanitário junta dela é provável que no seu interior se encontre tubos de canalização.

4.2.4.2. Técnicas de ensaio e parâmetros medidos/avaliados

Quadro 4.2 - Técnicas de ensaio e parâmetros avaliados/medidos aplicados à Patologia 2 da Habitação 1

Humidímetro	Humidade superficial da parede (teor de água em %)
Laboratório compacto e espectro-fotómetro portáteis	Identificação de sais

4.2.4.3. Possíveis resultados e respectivo diagnóstico

O humidímetro mede a humidade superficial permitindo detectar zonas da parede com elevado teor de humidade. Se for o caso podemos relacionar o teor de humidade encontrado com alguma fuga da canalização (causa acidental).

Os sais solúveis presentes no reboco quando em contacto com a água, dissolvem-se e são transportados para a superfície onde cristalizarão quando a humidade do ar baixa, sob a forma de eflorescências e criptoflorescências e alveolização, perda de coesão ou pulverização, fenómenos que são observados na superfície da parede.

A presença de sais pode ser detectada pelo laboratório compacto e espectro-fotómetro portáteis.

É provável que os sais sejam detectáveis, e que juntamente com a água sejam responsáveis pela degradação da superfície da parede.

4.2.5. PATOLOGIA 3



4.2.5.1. Descrição da patologia

O tecto da casa de banho, sob desvão não ventilado da cobertura inclinada apresenta manchas de bolor.

4.2.5.2. Técnicas de ensaio e parâmetros medidos/avaliados

Quadro 4.3 - Técnicas de ensaio e parâmetros avaliados/medidos aplicados à Patologia 3 da Habitação 1

	Ventilação
Inspecção visual	Aquecimento
	Isolamento térmico
Humidímetro	Humidade superficial da parede (teor de água em %)
Termómetro, termopar ou termistor	Temperatura do ar interior
Higrómetros	Humidade relativa da ambiência interior

4.2.5.3. Possíveis resultados e respectivo diagnóstico

Da inspecção visual verifica-se que:

- Só recentemente é que foi colocado isolamento no desvão, mas a patologia surgiu antes da sua existência;
- A casa de banho não tem dispositivo de extracção de ar, possui apenas uma janela de pequenas dimensões que raramente está aberta;
- A instalação tem aquecimento e encontra-se aquecida regularmente;
- Há grande produção de vapor de água durante os banhos.

A medição da temperatura e humidade relativa do ar deve ser feita num intervalo de tempo considerado significativo.

É provável que as manchas de bolor tivessem surgido devido ao fenómeno de condensações superficiais ocorridas no tecto resultante principalmente da grande produção de vapor de água no interior do compartimento, ausência de isolamento, ventilação insuficiente e aquecimento insuficiente.

4.2.6.PATOLOGIA 4



4.2.6.1. Descrição da patologia

A face interior da parede exterior em contacto com o terreno apresenta manchas de humidade e eflorescências.

4.2.6.2. Técnicas de ensaio e parâmetros medidos/avaliados

Quadro 4.4 - Técnicas de ensaio e parâmetros avaliados/medidos aplicados à Patologia 4 da Habitação 1

	Ventilação
Inspecção visual	Aquecimento
	Isolamento térmico
Humidímetro	Humidade superficial da parede (teor de água em %)
Termómetro, termopar ou termistor	Temperatura do ar interior
Higrómetros	Humidade relativa da ambiência interior

4.2.6.3. Possíveis resultados e respectivo diagnóstico

Através da observação visual, constatou-se que a parede era simples e constituída por pedra, mais concretamente granito com juntas em argamassa à base de cimento.

As manchas de água são detectáveis por inspecção visual. O humidímetro pode confirmar a presença de água nas zonas da parede onde não são detectadas visualmente.

As manchas de humidade observadas na superfície interior da parede podem ter surgido devido a fenómenos de ascensão capilar e migração da humidade proveniente do terreno ou a fenómenos de condensação superficial.

Mediu-se o teor de humidade superficial das paredes, a humidade relativa e a temperatura do ar interior, para assim constatar a presença de condensações superficiais.

As eflorescências devem-se à dissolução dos sais presentes no granito com a água que cristalizam à superfície quando a humidade do ar baixa.

É provável que as condições higrométricas no local não permitam a evaporação da água presente nas paredes. Temperatura e ventilação reduzidas e humidade relativa elevada.

4.3.HABITAÇÃO 2

4.3.1.RECOLHA DE INFORMAÇÃO

A habitação em estudo é unifamiliar situa-se numa aldeia do concelho de Chaves, foi construída na década de 50 e encontra-se rodeada por outras casas.

A região onde se encontra a habitação é caracterizada por um clima em que os Invernos são rigorosos e os Verões são quentes e secos, situando-se na transição entre a Terra Fria e a Terra Quente, beneficiando assim de dois climas muito diferentes. Os níveis de precipitação são elevados no Inverno e existe a ocorrência significativa de orvalho e geada e ainda queda de neve mas muito menos frequente.

Apesar de não se ter acesso às peças escritas e desenhadas (memórias descritivas e justificativas, desenho de arquitectura e pormenor), foi possível obter alguma informação sobre a habitação pelos seus moradores.

Pela informação obtida pelos moradores sabe-se que a habitação sofreu duas intervenções desde a sua existência. Uma delas foi a substituição do telhado inclinado de telhas cerâmicas e a pintura há mais de dez anos. Mais recentemente, há cerca de 2 anos algumas das janelas de madeira foram substituídas por janelas com caixilharia de alumínio e vidro duplo.

4.3.2.INSPECÇÃO VISUAL

A habitação tem dois pisos em que o R/C é não habitável. O piso superior habitável é constituído por cozinha, sala de jantar, quartos, casa de banho e varanda. Os quartos estão isolados dos restantes compartimentos, e apenas a varanda exterior é o único meio de ligação entre eles.

A habitação, no geral, apresenta-se degradada. As anomalias mais significativas para o estudo observam-se nos quartos.

As paredes exteriores são simples constituídas por pedras em granito assentes com argamassa, caídas pelo exterior e rebocas de argamassa à base de cimento pelo lado interior.

O pavimento é de madeira e apoiado sobre vigas de madeira.

Esta habitação não dispõe de qualquer tipo de aquecimento nem dispositivo de ventilação, mas verifica-se que as janelas e a porta de entrada favorecem a entrada do ar e da chuva.

De seguida descreve-se com maior aprofundamento as anomalias observadas na habitação e através dos resultados das técnicas *in situ* traçar um possível diagnóstico.

4.3.3.PATOLOGIA 1



4.3.3.1. Descrição da patologia

O revestimento da fachada da habitação encontra-se degradado e com manchas associadas a colonização biológica (musgos, líquenes) junto à base das paredes em contacto com o pavimento exterior do contorno da habitação.

4.3.3.2. Técnicas de ensaio e parâmetros medidos/avaliados

Quadro 4.5 - Técnicas de ensaio e parâmetros avaliados/medidos aplicados à Patologia 1 da Habitação 2

Humidímetro	Humidade superficial da parede (teor de água em %)
-------------	--

4.3.3.3. Possíveis resultados e respectivo diagnóstico

A presença das colonizações biológicas encontra-se associada à frequente humedificação dos elementos em pedra e ausência de manutenção. O efeito do produto da composição microbiana dos detritos orgânicos é o húmus, que dá origem ao ácido húmico que, acelera a decomposição das rochas.

A presença de humidade é responsável não só pela degradação do revestimento como pela presença de colonização biológica.

A humidade presente nas fachadas pode-se dever ou ao fenómeno de humidade ascensional ou à água da chuva que escorre e é absorvida pela fachada e se acumula na sua base.

Através do humidímetro pode-se avaliar a altura a que a parede se encontra com elevado teor de humidade e mediante os resultados obtidos indicar se a causa se deve a fenómenos de humidade ascensional ou de precipitação, ou a ambos.

4.3.4.PATOLOGIA 2



4.3.4.1. Descrição da patologia

A parede exterior da habitação apresenta manchas de bolor na face interior e uma fissura vertical na união das paredes.

4.3.4.2. Técnicas de ensaio e parâmetros medidos/avaliados

Quadro 4.6 - Técnicas de ensaio e parâmetros avaliados/medidos aplicados à Patologia 2 da Habitação 2

Humidímetro	Humidade superficial da parede (teor de água em %)
Termómetro, termopar ou termistor	Temperatura do ar interior
Higrómetros	Humidade relativa da ambiência interior
Inspeção visual	Observação das fissuras e suas características Distinção entre fissura originada pelo próprio elemento fissurado e fissura originada por acção de elementos confinantes.
Equipamentos auxiliares à inspeção visual	Características das fissuras tais como largura, profundidade, efeito do tempo, entre outros.

4.3.4.3. Possíveis resultados e respectivo diagnóstico

Com o humidímetro podemos detectar a humidade superficial na parede. Se for o caso e medindo as condições higrométricas da ambiência interior (temperatura e humidade relativa do ar) podemos concluir que as manchas de bolor se devem a condensações superficiais.

Relativamente à fissura deve-se primeiro caracterizar o tipo de fissuração de acordo com a sua localização, extensão, profundidade, largura, estado de degradação, efeito no tempo e elementos estruturais adjacentes. Estas características podem ser obtidas por inspeção visual ou por equipamentos auxiliares como os testemunhos, comparador e medidor óptico de fissuras, fissurómetro simples, fissurómetro eléctrico, paquímetro e extensómetro mecânico ou eléctrico.

A partir das características obtidas das fissuras, por evolução no tempo, avalia-se se estas se devem a variações de temperatura, retracção térmica, retracção hidráulica, retracção por secagem ou deformação da estrutura.

4.3.5.PATOLOGIA 3



4.3.5.1. Descrição da patologia

O revestimento em madeira do contorno dos vãos da habitação apresenta-se bastante degradado e humedecido.

4.3.5.2. Técnicas de ensaio e parâmetros medidos/avaliados

Quadro 4.7 - Técnicas de ensaio e parâmetros avaliados/medidos aplicados à Patologia 3 da Habitação 2

Inspeção Visual	Estado de degradação, fendas, deformações
Humidímetro	Humidade superficial da parede (teor de água em %)

4.3.5.3. Possíveis resultados e respectivo diagnóstico

A presença de água na madeira pode ser detectada através do humidímetro, que mede o teor de água superficial.

A origem da humidade encontrada na madeira deve-se a infiltrações do exterior, pois as caixilharias existentes anteriormente apresentavam-se também degradadas deixando entrar a água de precipitação.

O revestimento em madeira poderá estar sob a acção não só da água, como do vento e do sol que contribuem para o desenvolvimento de fungos, bactérias e insectos causadores da degradação e podridão da madeira.

4.3.6.PATOLOGIA 4



4.3.6.1. Descrição da patologia

A parede exterior junto à janela apresenta o revestimento degradado e destacado.

4.3.6.2. Técnicas de ensaio e parâmetros medidos/avaliados

Quadro 4.8 - Técnicas de ensaio e parâmetros avaliados/medidos aplicados à Patologia 4 da Habitação 2

Inspeção Visual	Deterioração da parede
Humidímetro	Humidade superficial da parede (teor de água em %)

4.3.6.3. Possíveis resultados e respectivo diagnóstico

O humidímetro permite detectar a humidade superficial da parede.

É provável que se detecte água nessa zona da parede e que esta seja responsável pela degradação e destacamento do revestimento. Por sua vez a água que se encontra na parede tem origem em infiltrações devido a fraca permeabilidade da caixilharia da janela.

4.3.7.PATOLOGIA 5



4.3.7.1. Descrição da patologia

O pavimento da madeira da habitação encontra-se degradado e com fendas.

4.3.7.2. Técnicas de ensaio e parâmetros medidos/avaliados

Quadro 4.9 - Técnicas de ensaio e parâmetros avaliados/medidos aplicados à Patologia 5 da Habitação 2

Inspecção Visual	Degradação da madeira, nós e fendas
<i>Resistograph</i>	Avaliação da resistência à perfuração
Martelo	Zonas “ocas” (resistência e estado da madeira)

4.3.7.3. Possíveis resultados e respectivo diagnóstico

A degradação do pavimento de madeira deve-se fundamentalmente à falta de protecção contra os agentes de degradação como os fungos, bactérias e insectos, ao desgaste pelo uso e variações de temperatura e humidade.

O martelo permite-nos obter de forma expedita a existência de danos na madeira e o *Resistograph* permite detectar defeitos localizados, fendas, zonas de degradação biológica, vazios existente que não são visíveis por inspecção visual.

4.4.HABITAÇÃO 3

4.4.1.RECOLHA DE INFORMAÇÃO

Não foi possível qualquer tipo de informação em relação às peças escritas e desenhadas (memórias descritivas e justificativas, desenho de arquitectura e pormenor), nem pelos moradores.

O clima do Porto é húmido mas temperado, com algum arrefecimento nocturno. No Inverno, a pluviosidade é alta, mas raramente há formação de gelo ou queda de neve, a temperatura só muito raramente é inferior a 0 °C. No Verão, as temperaturas sobem e os meses mais quentes do ano são Junho, Julho e Agosto, durante os quais as temperaturas variam entre os 20 °C e os 35 °C. Nos meses intermédios assiste-se a períodos de instabilidade, é frequente manhãs de nevoeiro darem lugar a tardes solarengas, ou chuviscos alternados com momentos de sol forte.

4.4.2.INSPECÇÃO VISUAL

O edifício situa-se na cidade do Porto e é constituído por dez pisos divididos em comércio, escritórios e habitação. O corpo correspondente à habitação é recuado relativamente ao piso de escritórios e à galeria comercial do R/Chão.

No 1º piso localizam-se os escritórios, existindo ainda um piso enterrado para estacionamento e arrumos.

Apenas se referem as patologias observadas numa fachada da envolvente exterior do edifício, pois não foi possível visitar o interior e as restantes já se encontravam em fase de reabilitação.

Admite-se que a fachada seja constituída por parede dupla em alvenaria de tijolo vazado, rebocada e revestida com ladrilhos cerâmicos pelo exterior.

Os vãos envidraçados são constituídos por caixilharias em alumínio com estores exteriores nas habitações, e sem protecção exterior nos escritórios e galeria comercial.

As guardas das varandas são constituídas por elementos metálicos.

De seguida descreve-se com maior aprofundamento as anomalias observadas na habitação e através dos possíveis resultados das técnicas traçar um possível diagnóstico.

4.4.3.PATOLOGIA 1



4.4.3.1. Descrição da patologia

O revestimento em ladrilhos cerâmicos da fachada de um edifício de habitação apresenta-se descolado, tendo-se observado aleatoriamente o empolamento e o destacamento dos ladrilhos em vários pontos da fachada e conseqüentemente a degradação do betão.

4.4.3.2. Técnicas de ensaio e parâmetros medidos/avaliados

Quadro 4.10 - Técnicas de ensaio e parâmetros avaliados/medidos aplicados à Patologia 1 da Habitação 3

Ensaio de arrancamento por tracção (<i>pull-off</i>)	Tensão de aderência (MPa)
Ensaio de determinação de cloretos no betão	Determinação do teor de cloretos
Indicador de fenolftaleína	Indicação de carbonatação

4.4.3.3. Possíveis resultados e respectivo diagnóstico

Para medir a aderência dos ladrilhos/produto de colagem procedeu-se à realização de ensaios de arrancamento por tracção. Para valores de tensão de rotura menores que 0,5 MPa considera-se fraco desempenho do revestimento.

Se for o caso, deve-se a vários factores:

- Uso de colagem inadequado;
- Deficiente aplicação;
- Perda de propriedades mecânicas ao longo do tempo;
- Ausência de juntas de fraccionamento;
- Incorrecto dimensionamento das juntas de assentamento.

O revestimento também pode estar sujeito a deformações de carácter higrotérmico devido às variações dimensionais, quer pela acção da temperatura, quer pela expansão irreversível resultante da acção da humidade.

Quanto ao betão, uma vez “desprotegido” e sob a acção dos agentes de degradação (chuva, vento, poluição atmosférica) apresenta-se degradado.

Podem realizar-se ensaios para caracterização do estado de conservação do betão, que consistem na determinação da profundidade de carbonatação e na avaliação do teor em cloretos e sulfatos totais do betão.

Para a determinação de cloretos, coloca-se uma amostra de pó de betão extraído e dissolve-se numa solução ácida. Coloca-se o eléctrodo na solução e lê-se o teor de cloretos. O teor mínimo de cloretos, segundo a norma NP ENV 206, para betão armado é de 0,4% de cloretos por massa de cimento.

Quanto à verificação de carbonatação do betão, faz-se reagir o betão com o indicador químico de fenolftaleína, e observa-se a coloração obtida. Se esta for incolor o betão apresenta-se carbonatado (pH <9) e se apresentar uma coloração rosada não carbonatado.

4.4.4.PATOLOGIA 2



4.4.4.1. Descrição da patologia

O revestimento da fachada exterior apresenta sujidade.

4.4.4.2. Técnicas de ensaio e parâmetros medidos/avaliados

Quadro 4.11 - Técnicas de ensaio e parâmetros avaliados/medidos aplicados à Patologia 2 da Habitação 3

Inspeção Visual

Degradação do revestimento

4.4.4.3. Possíveis resultados e respectivo diagnóstico

Trata-se de uma área que permanece húmida durante bastante tempo que propicia a aderência das poeiras existentes no ar.

4.4.5.PATOLOGIA 3



4.4.5.1. Descrição da patologia

A fachada apresenta manchas de bolor, eflorescências e ferrugem.

4.4.5.2. Técnicas de ensaio e parâmetros medidos/avaliados

Quadro 4.12 - Técnicas de ensaio e parâmetros avaliados/medidos aplicados à Patologia 3 da Habitação 3

Inspeção Visual	Identificação de fissuras
	Descolamento ou não do revestimento

4.4.5.3. Possíveis resultados e respectivo diagnóstico

Estas manchas poderão ser provocadas pela água de precipitação, que se vai infiltrando pelas fissuras provocando o descolamento do revestimento.

As manchas de ferrugem provêm dos elementos metálicos em contacto com a água que escorrem ao longo da fachada dando origem ao fenómeno observado.

As argamassas das juntas e colagem dos ladrilhos cerâmicos contêm cal que se dissolve com a água, e ao transportar para a superfície, no processo de secagem e em contacto com o dióxido de carbono origina a formação de carbonato de cálcio apresentando o aspecto de manchas brancas como as que observamos.

4.4.6.PATOLOGIA 4



4.4.6.1. Descrição da patologia

O betão da fachada apresenta-se degradado, sendo visíveis destacamentos pontuais e armaduras expostas.

4.4.6.2. Técnicas de ensaio e parâmetros medidos/avaliados

Quadro 4.10 - Técnicas de ensaio e parâmetros avaliados/medidos aplicados à Patologia 4 da Habitação 3

Ensaio de determinação de cloretos no betão	Determinação do teor de cloretos
Indicador de fenolftaleína	Indicação de carbonatação

4.4.6.3. Possíveis resultados e respectivo diagnóstico

O estado de degradação do betão deve-se à acção dos agentes de deterioração como a água de precipitação, vento, poluição atmosférica, entre outros.

Para caracterização do estado de conservação do betão realizam-se ensaios que consistem na determinação da profundidade de carbonatação e na avaliação do teor em cloretos e sulfatos totais do betão.

Para a determinação de cloretos, coloca-se uma amostra de pó de betão extraído e dissolve-se numa solução ácida. Coloca-se o eléctrodo na solução e lê-se o teor de cloretos. O teor mínimo de cloretos, segundo a norma NP ENV 206, para betão armado é de 0,4% de cloretos por massa de cimento.

Quanto à verificação de carbonatação do betão, faz-se reagir o betão com o indicador químico de fenolftaleína, e observa-se a coloração obtida. Se esta for incolor o betão apresenta-se carbonatado ($\text{pH} < 9$) e se apresentar uma coloração rosada não carbonatado.

Para avaliar a corrosão das armaduras, podem-se recorrer as técnicas dos potenciais eléctricos, da resistência de polarização e resistividade do betão.

A técnica dos potenciais eléctricos permite medir o nível de potencial, em mV, que se relaciona com o risco de corrosão activa, como podemos ver no Quadro 4.15.

Quadro 4.15 – Risco de corrosão

Nível Potencial (mV)	Risco de corrosão activa
-260 a -410	Até 95%
-110 a -260	Incerto
>-110	Até 5%

Os resultados obtidos da técnica da resistência de polarização são a taxa de corrosão, I_{corr} , ou seja a quantidade de corrosão verificada por unidade de superfície e referido a um intervalo de tempo, o potencial de corrosão E_{corr} , a resistência eléctrica do betão, a resistividade e a humidade relativa ambiente. Os valores de referência que permitem avaliar o nível de corrosão estão apresentados nos seguintes quadros (4.16 e 4.17).

Quadro 4.16 - Nível de corrosão avaliado pela taxa de corrosão

Taxa de corrosão ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	Nível de Corrosão
<0.1	Desprezável
0.5	Baixo
0.5- 1	Moderado
> 1	elevado

Quadro 4.17 – Nível de corrosão avaliado pela resistividade

Resistividade ($\text{k}\Omega.\text{cm}$)	Nível de Corrosão
>100 – 200	As taxas de corrosão serão muito baixas, mesmo em betão carbonatado ou contaminados com cloretos
10 – 100	Taxas de corrosão baixas e altas.
>10	A resistividade não é um parâmetro relevante para a taxa de corrosão.

A técnica da resistividade do betão permite determinar a sua resistividade, em $k\Omega.cm$. Para resistividades superiores a $12 k\Omega.cm$ o nível de corrosão é baixo e para resistividades inferiores a $5 k\Omega.cm$ o nível de corrosão é elevado.

5

CONCLUSÃO

5.1. CONCLUSÕES

O conhecimento das diversas patologias e causas nas diversas partes do edifício e materiais é importante no estudo de um diagnóstico. A recolha e síntese de informação sobre técnicas de diagnóstico disponíveis poderão ser úteis para o estudo das patologias em edifícios.

Na reflexão sobre a aplicação prática estudaram-se três edifícios que apresentavam entre si características que os diferenciavam quer nos materiais, idade, altura, número de piso, tipologia (uni ou multifamiliar), agentes de deterioração, ausência ou não de aquecimento e ventilação, entre outras. Permitindo, assim, observar diferentes patologias e para cada uma delas sugeriram-se diferentes técnicas de diagnóstico possíveis para detectar a causa do problema.

Por outro lado, apesar destas diferenças observamos que a patologia associada à humidade estava presente nos três edifícios.

O edifício 1 apresentava maioritariamente patologias associadas à acção da água quer sob a forma de condensações superficiais pela insuficiente ventilação e aquecimento quer por infiltrações da água proveniente do solo.

As patologias observadas no edifício 2 relacionam-se com o estado de degradação e envelhecimento dos materiais, pelo facto de o edifício ser muito mais antigo e sujeito a reduzida intervenção, constatou-se que muitos materiais nunca foram substituídos. Quanto à possibilidade de ocorrer condensações superficiais é mínima pois apesar de não possuir qualquer tipo de aquecimento, a produção de vapor de água é mínima e a fraca permeabilidade ao ar das caixilharias permite a sua entrada.

O edifício 3 é o que difere mais comparativamente com os outros, não só do local em que se encontra, como nos materiais que a constituem e também a localização das patologias observadas. Só foi possível observar patologias no exterior do edifício. Por isso, as patologias presentes devem-se principalmente à acção dos agentes de deterioração (água, vento, poluição atmosférica, variação de temperatura, entre outros).

Verificou-se que a técnica que se revelou mais necessária foi o da utilização de um humidímetro, pois as patologias mais observadas estão associadas à presença de água. Este equipamento permite de forma rápida detectar o teor de humidade superficial dos elementos que possuem patologias associadas à água.

Nem todas as técnicas de diagnóstico apontadas no Capítulo 3 foram sugeridas na reflexão por não se adequarem às patologias observadas.

O recurso à inspecção visual é sem dúvida essencial não só para detectar as diferentes patologias existentes no edifício, como em casos mais simples para chegar a um diagnóstico. E também é útil na escolha de técnicas a usar, perante uma dada patologia.

As técnicas que foram alvo de estudo foram as técnicas *in situ* pois permitem essencialmente obter os resultados imediatos e de forma rápida, são de custo reduzido e não provocam estragos ou quando muito danos pouco significativos. Recorrem-se a ensaios laboratoriais para complementar os resultados obtidos pelos ensaios *in situ* e quando estes últimos não são suficientes para traçar o possível diagnóstico.

De uma maneira geral os resultados obtidos pelas diferentes técnicas são fiáveis se a sua utilização for bem realizada, se o operador for competente e experiente, se for elaborada uma análise correcta dos resultados.

Verificou-se que podiam existir patologias associadas a mais que uma causa que podem ocorrer em simultâneo ou em sequência com acumulação de efeitos no tempo. Ou então que a mesma causa pode provocar diferentes patologias.

É importante e imprescindível o diagnóstico na reabilitação, pois só conhecendo a causa ou as causas das patologias é que podemos intervir da maneira mais correcta e eficaz na eliminação da patologia.

5.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Sendo importante o uso das técnicas de diagnóstico para determinar as causas das patologias essenciais a uma correcta intervenção/reabilitação, considera-se necessário no futuro:

- Elaborar catálogos, que contenham informação útil, das diferentes técnicas de diagnóstico aplicadas a determinadas patologias.
- Execução sistemática de diagnósticos de patologias a fim de testar e avaliar as diferentes técnicas. Estudo experimental.

BIBLIOGRAFIA

- Amorim, F. (2009). *Patologias das Construções com madeira - Sugestões de Intervenção*. 3º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios. PATORREB2009. Porto, FEUP.
- Appleton, J. (2002). *Estudos de Diagnóstico em Edifícios. Da Experiência à Ciência. A Intervenção no Património. Práticas de Conservação e Reabilitação*. Porto, FEUP.
- Cabredo, Luis V. (2009). *Patología de la Construcción o una "Obra en Três Actos"*. 3º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios, PATORREB2009. Porto, FEUP.
- Cabrita, R., Aguiar, J. (1998). *Monografia Portuguesa sobre Inovação e Reabilitação de Edifícios, ITE 17*. Lisboa, LNEC.
- Campanella, C., Mateus, J. (2003). *Obras de Conservação e Restauro Arquitectónico*. Lisboa, Câmara Municipal de Lisboa.
- Cóias, V. (2004). *Guia Prático para a Conservação de Imóveis*. Lisboa, Dom Quixote.
- Cóias, V. (2006). *Inspecções e Ensaios na Reabilitação de Edifícios*. Lisboa, IST PRESS.
- Costa, A., Paupério, E., Dias, T. (2007). *Elementos Estruturais. Relatório de Inspecção e Diagnóstico*. http://afloret.files.wordpress.com/2008/07/relatorio_de_inspecao_antonio_carneiro_feup.pdf. 5 de Janeiro de 2010.
- Cruz, H., Aguiar, J. (2009) *Patologias em Pavimentos e Coberturas de Edifícios*. 3º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios. Porto, FEUP.
- Cypriano, D. (2003). <http://www.scribd.com/doc/20757818/Inspecao>. 3 de Novembro de 2009.
- Flores-Colen, I., Brito, J., Freitas, V. (2006). *Técnicas de Ensaio In-Situ para Apoio à Manutenção Predictiva de Rebocos de Fachada*. 2º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios. Porto, FEUP.
- Freitas, V., Sousa, M. *Reabilitação de Edifícios - Do Diagnóstico à Conclusão da Obra [Apontamentos]*.
- Freitas V., Torres, M., Guimarães, A. (2008) *Humidade Ascensional*. Porto, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Goicoechea, M^a., Monjín, V. (2006). *Intervención en Patología de la Eficación. Actuaciones en un Diagnóstico. Informes*. 2º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios. PATORREB2006. - Porto, FEUP.
- Gonçalves, C. (2004). *Anomalias Não Estruturais em Edifícios Correntes. Desenvolvimento de um Sistema de Apoio à Inspecção, Registo e Classificação*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Coimbra.
- Henriques, F. (2001). *Humidade em Paredes*. Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- Júnior, Jerónimo B. (2006). *Avaliação não Destrutiva da Capacidade Resistente de Estruturas de Madeira de Edifícios Antigos*. Dissertação de Mestrado, FEUP.
- Laboratório Física das Construções. <http://paginas.fe.up.pt/~lfc-scc/ensaio10.html>. 5 de Janeiro de 2010.

- Lança, P. *Conservação e Reabilitação da Construção*. http://www.estig.ipbeja.pt/~pdnl/Subpaginas/Conservacao%20de%20edificios_files/Documentos/Aulas/BA/BA%20-%20NDT_web.pdf. 13 de Dezembro de 2009.
- Lanzinha, J., Gomes, J., Freitas, V. (2002). *Aplicação de Método de Diagnóstico e Intervenção a um Conjunto de Habitações Rurais*. XXX IAHS World Congress on Housing. Coimbra.
- Leitão, D., Almeida, M. (2004). *Metodologia para a Implementação de Check Lists em Intervenções de Reabilitação*. Guimarães, Universidade do Minho. Departamento de Engenharia Civil.
- Lladró, R., Barra, R., Botelho, J., Faria, A. (2006). *Avaliação da Capacidade Resistente de Estruturas de Madeira com Recurso a Ensaio In-Situ*. 2º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios. Porto, FEUP.
- Luso, E., Lourenço, P., Almeida, M. *Centro Histórico de Bragança: Caracterização do Edifício, Aspectos Arquitectónicos e Anomalias*. <http://www.engenhariacivil.com/centro-historico-de-braganca-caracterizacao-do-edificio-aspectos-arquitectonicos-e-anomalias>. 20 de Dezembro de 2009.
- Magalhães, A., Veiga, M^a, Costa, D. *Caracterização do Estado de Conservação de Revestimentos de Paredes Antigas através de Ensaio "In Situ". Dois Casos de Estudo*. <http://www.icvbc.cnr.it/drilling/publications/DOC%204%20VI%20SBTA.pdf>. 4 de Janeiro de 2010.
- Maia, J. *Inspecções e Diagnóstico. Tecnologias para a manutenção e reabilitação de estruturas*. Oeiras, ISQ - Instituto de Soldadura e Qualidade.
- Neto, N., Brito, J. (2009). *Análise de Anomalias e Técnicas de Reparação em 128 Casos de Revestimentos em Pedra Natural (RPN): Principais Conclusões*. 3º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios. Porto, FEUP.
- Paiva, J., Aguiar, J., Pinho, A. (2006). *Guia Técnico de Reabilitação Habitacional*. Lisboa.
- Pereira, S., Paiva, A. (2006). *Avaliação e Certificação do Comportamento Térmico de uma Habitação*. 2º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios. PATORREB2006. Porto, FEUP.
- Rosa, C., Martins, J. (2005). *Reabilitação da Envolvente Vertical Opaca de Edifícios*. <http://www2.ufp.pt/~jguerra/PDF/Reabilitacao/Reabilitacao%20da%20envolvente%20vertical%20opaca.pdf>. 13 de Dezembro de 2009.
- Santos, S. Pompeu (2003). *A Reabilitação Estrutural do Património Construído*. Lisboa, LNEC.
- Silva, J., Abrantes, V. (2003) *Observação, Registo, Controlo e Diagnóstico de Fissuração em Paredes não Estruturais de Alvenaria*. 1º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios. Porto, FEUP.
- Veiga, M., Malanho, S. (2009) *Revestimentos de Pedra Natural - Metodologia de Diagnóstico e Reparação de Anomalias*. 3º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios. Porto, FEUP.
- Veiga, M^a, Aguiar, J., Silva, A., Carvalho, F. (2004). *Conservação e Renovação de Revestimentos de Paredes de Edifícios Antigos*. Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- http://www.oz-diagnostico.pt/_pt/brochuras/OH.pdf. 16 de Novembro de 2009
- <http://www.stb.pt/servicos.php?lingua=pt>. 21 de Dezembro de 2009
- www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/144/artigo128861-1.asp. 2 de Janeiro de 2010
- <http://paginas.fe.up.pt/~lfc-scc/ensaio08.html>. 5 de Janeiro de 2010