

# **Catálogo de técnicas de diagnóstico em elementos estruturais de edifícios correntes em betão armado**

**Sérgio Filipe Ramos Correia**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

## **Engenharia Civil**

Orientadora: Prof. Doutora Inês dos Santos Flores Barbosa Colen

### **Júri**

Presidente: Professor Doutor Luís Manuel Coelho Guerreiro

Orientadora: Professora Doutora Inês dos Santos Flores Barbosa Colen

Vogais: Professor Doutor João Pedro Ramôa Ribeiro Correia

Tenente-Coronel de Engenharia João Carlos Martins Rei

**Dezembro de 2014**



## **AGRADECIMENTOS**

A elaboração desta dissertação é fruto de muito esforço durante um período, que se veio a demonstrar, bastante decisivo e atribulado da minha vida. A sua realização não seria possível sem a contribuição, direta e indireta, de diversas pessoas e entidades, às quais pretendo deixar os meus sinceros agradecimentos.

Em primeiro lugar, agradeço à minha orientadora científica, a Professora Inês Flores-Colen, pela sua disponibilidade no decorrer da elaboração deste trabalho, especialmente na conclusão do mesmo, que foi um período de mais exigência. Por toda a compreensão e preocupação, por todo o tempo disponibilizado para a correção e orientação de todo o trabalho, o meu muito obrigado.

Gostaria também de manifestar a minha grande consideração e gratidão, ao Senhor Tenente-Coronel Raul Gomes e ao Senhor Tenente-Coronel João Rei, Diretores do curso de Engenharia Militar da Academia Militar. Por todo o apoio incondicional, conselhos e por toda a camaradagem para comigo.

Quero também aqui manifestar a minha profunda gratidão e apreço pelos meus colegas e camaradas do curso de Engenharia Militar da Academia Militar. Um agradecimento muito especial ao Pedro Lopes, Carlos Bom, Marina Balinha, João Cabrito, Jorge Santos e David Rodrigues. Por todo o apoio demonstrado, toda a força, espírito de corpo, camaradagem e solidariedade que tiveram na conclusão deste trabalho.

Quero agradecer também a todos os meus amigos, em especial ao José Almeida, por toda a compreensão e amizade, e especialmente por todo o apoio e confiança nos momentos mais difíceis.

Um agradecimento muito especial também à minha família, à minha mãe, ao meu pai e ao meu irmão. Por toda a paciência, tolerância e força durante a elaboração deste trabalho. Por todo o apoio que me deram e que me permitiu chegar a esta fase da minha vida. Sem eles nada teria sido possível.

Para finalizar, gostaria de manifestar o meu carinho e a maior gratidão à minha namorada, Elsa Fonseca, por todos os momentos difíceis e complicados em que me apoiou, por todo o, carinho, preocupação e amor incondicional que demonstrou no decorrer da conclusão desta dissertação.



## RESUMO

Hoje em dia, tanto do ponto de vista económico como em termos de sustentabilidade ambiental, é consensual, prolongar a vida útil dos edifícios, tanto quanto a sua degradação física natural (envelhecimento) o permitir. Assim sendo, a manutenção e reabilitação dessas infraestruturas ganha uma importância ainda maior num contexto de análise de ciclo de vida. É também do conhecimento geral, que os edifícios e as suas infraestruturas, com o passar do tempo, falta de manutenção, ou por causas naturais ou acidentais, se vão degradando com o aparecimento de anomalias. Desta forma, o diagnóstico das anomalias que afetam edifícios correntes, assume um papel de grande importância, nomeadamente quando se tratam de anomalias em elementos estruturais. Estas anomalias podem por em causa a segurança estrutural de um edifício e o seu devido funcionamento, e, por isso mesmo, é importante dotar os profissionais técnicos no ramo da Engenharia Civil, de ferramentas próprias, adequadas e eficazes que consigam dar um contributo para o diagnóstico eficiente deste tipo de anomalias. Assim, é essencial, que os técnicos que se dediquem a este tipo de diagnóstico, possam ter um conhecimento mais aprofundado e sistematizado, acerca das várias técnicas e ensaios existentes para diagnosticar casos que o necessitem.

No decorrer da elaboração desta dissertação, constatou-se a grande lacuna na sistematização, de toda a informação existente, relativa ao diagnóstico de anomalias em edifícios, às técnicas atualmente existentes e a procedimentos de ensaio. Desta forma, urge a necessidade de compilar, organizar e sistematizar toda a informação existente e relevante para um adequado diagnóstico de edifícios.

A presente dissertação pretende, assim, dar um contributo na área da construção, para o problema da falta de informação existente sobre técnicas de diagnóstico em elementos estruturais de edifícios correntes. Para isso, este trabalho propõe um modelo de fichas de técnicas de diagnóstico, que sistematiza a informação técnica transversal às várias técnicas de diagnóstico e ensaios existentes. Desta forma, é possível a elaboração de um catálogo, com vista à identificação, sistematização e divulgação das técnicas de diagnóstico aplicáveis a edifícios a reabilitar, com especial incidência naquelas cuja aplicação remete para elementos estruturais de edifícios. O trabalho elaborado resulta na conceção de um catálogo, que enquadra 17 fichas individuais para técnicas de diagnóstico para elementos estruturais de edifícios correntes.

**PALAVRAS-CHAVE:** Reabilitação, edifícios correntes, diagnóstico de anomalias, técnicas inspeção, elementos estruturais.



## **ABSTRACT**

Nowadays, from both economic and sustainability point of view, it is consensual to extend buildings' lifespan as long as their natural physical degradation allows to. Therefore, those infrastructure maintenance and rehabilitation grow even more value regarding its life cycle analysis. It is also generally known that both buildings and their infrastructure due to the advancing age, lack of maintenance or natural and accidental causes, will degrade with the appearance of consequent anomalies. Thus, the diagnosis of anomalies affecting current buildings, takes a role of great importance, particularly when treating structural element's anomalies. These kind of anomalies may jeopardize the structural safety of a building and its efficient operation, and, therefore, it is important to provide technical professionals in the field of Civil Engineering, specific, appropriate and effective tools which could contribute to the efficient diagnosis of such anomalies. It is thus essential that technicians who are engaged in this type of diagnosis may have a deeper and systematized knowledge about the various existing techniques and tests to diagnose relevant cases.

During the elaboration of this dissertation, was found an lack of systematization of all existing information on the diagnosis of anomalies in buildings, the currently existing techniques and test procedures. Thus, there is an urgent need to compile, organize and systematize existing information regarding a proper diagnosis of buildings

This dissertation aims thereby, to give a contribution in the field of construction, to the lack of information on diagnostic techniques in structural elements of current buildings. Aiming at this objective, this paper proposes a model of diagnostic data sheets, which organizes the cross technical information to the various diagnostic techniques and existing tests. Consequently, it is possible to draw up a catalog in order to identify, organize and disseminate diagnostic techniques for buildings to be renovated, focusing on those whose application refers to structural elements of buildings. The elaborated work results in designing a catalog, which fits 17 individual records for diagnostic techniques for structural elements of current buildings.

**KEYWORDS:** rehabilitation, current buildings, anomalies diagnosis, inspection techniques, structural elements.



# ÍNDICE

AGRADECIMENTOS .....	III
RESUMO .....	V
ABSTRACT .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XI
ÍNDICE DE QUADROS .....	XIII
1 INTRODUÇÃO .....	1
1.1 ENQUADRAMENTO .....	1
1.2 OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO .....	2
1.3 ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO .....	2
2 DIAGNÓSTICO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE EDIFÍCIOS CORRENTES .....	5
2.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	5
2.2 EDIFÍCIOS CORRENTES .....	6
2.3 ANOMALIAS EM EDIFÍCIOS CORRENTES .....	9
2.4 ANOMALIAS ESTRUTURAIS .....	10
2.4.1 Fendilhação .....	11
2.4.2 Deformações excessivas .....	14
2.4.3 Corrosão de armaduras .....	14
2.5 DIAGNÓSTICO DE ANOMALIAS .....	16
2.5.1 Metodologia de um diagnóstico .....	17
2.6 TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO .....	20
2.6.1 Técnicas de diagnóstico em elementos estruturais .....	22
3 MODELO DE FICHA DE TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO .....	33
3.1 OBJETIVOS DO CAPÍTULO .....	33
3.2 ESTRUTURA DA PROPOSTA DE FICHA .....	33
3.3 ELEMENTOS DO MODELO DE FICHA .....	37
3.3.1 Referência .....	37
3.3.2 Grau de destruição .....	37
3.3.3 Elemento estrutural/ não estrutural .....	38
3.3.4 Elementos estruturais em que pode ser aplicada .....	38
3.3.5 Local de ensaio .....	38
3.3.6 Princípio de funcionamento .....	38
3.3.7 Custo .....	38
3.3.8 Dificuldade .....	39
3.3.9 Documentos normativos .....	39
3.4 ELABORAÇÃO DA FICHA DE DIAGNÓSTICO 02 TPRE – ENSAIO TERMOGRÁFICO .....	39
4 ELABORAÇÃO DO CATÁLOGO DE TÉCNICAS .....	43

4.1	OBJETIVOS DO CAPÍTULO .....	43
4.2	ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO DO CATÁLOGO .....	43
4.2.1	Apresentação do catálogo de técnicas de diagnóstico .....	48
5	CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS .....	83
5.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	85
5.2	CONCLUSÕES FINAIS .....	85
5.3	DESENVOLVIMENTOS FUTUROS .....	87
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	89
	REFERENCIAS WEBGRÁFICAS .....	95
	ANEXO .....	II
A.1	Referências bibliográficas do catálogo .....	IV

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Pórtico em betão armado .....	7
Figura 2.2 Edifício corrente .....	7
Figura 2.3 Avanço do processo de carbonatação.....	15
Figura 2.4 Boroscópio .....	22
Figura 2.5 Fissurómetro .....	22
Figura 2.7 Alongâmetro .....	23
Figura 2.8 Esclerómetro de Schmidt.....	23
Figura 2.9 Extração de carotes .....	24
Figura 2.10 Ensaios de carga estáticos .....	24
Figura 2.11 Ensaio de ultrassons.....	25
Figura 2.12 Método do impacto-eco.....	25
Figura 2.13 Resistência de polarização .....	26
Figura 2.14 Carote de betão carbonatado .....	27
Figura 2.15 Técnica de medição dos potenciais elétricos .....	27
Figura 2.16 Aparelho com eléctrodo para medir o teor de cloretos .....	28
Figura 2.17 Medição da resistividade do betão .....	28
Figura 2.18 Câmara termográfica .....	29
Figura 2.19 Pacómetro .....	30
Figura 2.20 Inclinómetro .....	30
Figura 2.21 Metodo de Figg .....	31
Figura 3.1 Proposta de modelo de ficha de técnicas de diagnóstico (frente).....	35
Figura 3.2 Proposta de modelo de ficha de técnicas de diagnóstico (verso) .....	36
Figura 3.3- Exemplo do campo de referência para o ensaio termográfico .....	37
Figura 4.1 Ilustração esquemática dos elementos construtivos estruturais do edifício corrente.....	49



## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 Evolução da regulamentação estrutural em Portugal. ....	7
Quadro 2.2 Causas que suscitam o aparecimento de anomalias em elementos estruturais .....	10
Quadro 2.3 Representação das diversas causas possíveis de fissurações em betão armado .....	12
Quadro 2.4 Caracterização de vários tipos de fendilhação em elementos de betão armado .....	12
Quadro 2.5 Técnicas de perceção sensorial.....	22
Quadro 2.6 Técnicas de ação mecânica .....	23
Quadro 2.7 Técnicas de propagação de ondas elásticas .....	25
Quadro 2.8 Técnicas de reações químicas e eletroquímicas .....	26
Quadro 2.9 Técnicas de propagação de radiação eletromagnética .....	29
Quadro 2.10 Técnicas de efeitos elétricos e magnéticos .....	30
Quadro 2.11 Técnicas hidrodinâmicas .....	31
Quadro 4.1 Índice do catálogo de fichas de diagnóstico de elementos estruturais de edifícios correntes.....	48



# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 ENQUADRAMENTO

É hoje em dia consensual que, quer do ponto de vista económico quer em termos de sustentabilidade ambiental, exista a necessidade de prolongar a vida útil dos edifícios tanto quanto a sua degradação física natural (envelhecimento) o permitir. Assim sendo, a manutenção e reabilitação dessas infraestruturas ganha uma importância ainda maior num sentido de análise de ciclo de vida. Neste contexto, a capacidade de acompanhar através de inspeções que retratem com algum rigor o quadro patológico dos edifícios e perspetivem a sua evolução é fundamental para o diagnóstico das anomalias. Assim sendo, é necessário uma abordagem sistémica ao problema, com o desenvolvimento de um conjunto de ferramentas técnicas de trabalho (um sistema classificativo das anomalias e suas causas, e, de fichas normalizadas de técnicas de diagnóstico), devidamente validadas. Estas ferramentas devem ser desenvolvidas sectorialmente, isto é, por elementos de construção tipo e ser posteriormente integradas num sistema global de inspeção e diagnóstico de edifícios (Brito *et al.*, 2009).

Torna-se assim necessário, para uma melhor caracterização e discriminação de anomalias e suas técnicas de diagnóstico, fazer uma separação entre edifícios antigos e correntes, sendo que esta dissertação irá incidir apenas na temática dos edifícios correntes.

O conceito de “edifício corrente” acaba por não estar tipificado no léxico dos estudiosos da problemática de edifícios. Na realidade, na tipologia de edifícios correntes assiste-se à quase ausência de inovação construtiva repetindo-se à exaustão uma tecnologia construtiva baseada num sistema estrutural porticado em betão armado, complementado por panos de alvenaria sem funções estruturais (Rodrigues *et al.*, 2007).

As anomalias estruturais dizem respeito aos fenómenos que afetam o comportamento da estrutura resistente do edifício, embora muitas vezes seja difícil separar a estrutura do resto do mesmo, no que se refere ao seu comportamento, já que, na maioria dos casos, as anomalias estruturais afetam elementos não estruturais, introduzindo danos (por exemplo as paredes de alvenaria de tijolo). Assim, podem-se verificar situações em que uma determinada causa atuando num determinado elemento estrutural origina danos em elementos não estruturais e por isso é importante o diagnóstico avaliar a origem da causa e os seus efeitos (Costa, 2006).

Perante a ocorrência de uma anomalia estrutural, o estabelecimento de um diagnóstico é uma tarefa indispensável na procura de uma solução que conduza à eliminação dessa patologia. Com vista à reabilitação dos elementos construtivos a analisar torna-se necessário avaliar o tipo e nível de deterioração e a sua causa e as suas consequências, tentando se possível e com base nestas informações evitar a progressão das anomalias. Muitas vezes isto não se verifica e o carácter de urgência face às anomalias existentes leva a que se parta para uma intervenção desajustada, uma

vez que ocultam sintomas e podem até agravar os problemas. Esta avaliação é feita com recurso a um vasto conjunto de técnicas de diagnóstico de anomalias que são uma ferramenta fundamental na escolha das soluções a utilizar por parte dos técnicos de engenharia e de arquitetura (Costa, 2006).

Como referido, torna-se então de extrema importância a execução de um diagnóstico correto e criterioso, para que deste modo se possa analisar as causas das anomalias e propor adequadas técnicas de reparação. Deste modo, e devido à dispersão de informação existente relativamente as técnicas de diagnóstico, torna-se assim essencial, para a obtenção de um diagnóstico mais fiável, a sistematização e regulamentação desta informação.

Numa tentativa de melhorar o processo de sistematização das várias técnicas, seria útil, elaborar e propor uma ficha modelo relativa a uma dada técnica de diagnóstico, que contenha as várias características relativas ao seu uso, incluindo os seus princípios de funcionamento e áreas de aplicação, de maneira a ser possível analisar comparativamente as várias técnicas de diagnóstico existentes.

## **1.2 OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO**

Com a dissertação pretende-se numa primeira fase, através de uma pesquisa bibliográfica criteriosa, elaborar o estado de arte relativo as técnicas de diagnóstico já existentes que sejam aplicáveis a elementos estruturais de edifícios correntes de betão armado, procurando assim recolher o máximo de informação relativo a cada técnica. Com a informação obtida procurar-se-á estabelecer uma correlação entre os vários parâmetros, características e campos de aplicação de cada técnica para que assim, possa ser compilada toda a informação necessária para que seja possível a elaboração de uma ficha comparativa entre cada técnica de diagnóstico. Esta ficha deverá conter todos os campos necessários à compreensão do utilizador, relativamente ao modo de funcionamento da técnica respetiva, bem como características inerentes à sua aplicabilidade. Pretende-se assim no final da elaboração desta dissertação, a proposta de um modelo de catálogo normalizado de fichas de técnicas de diagnóstico relativas a elementos estruturais de edifícios correntes que seja de fácil consulta e de interpretação e que estabeleça uma análise transversal entre cada técnica com base em determinados parâmetros para um bom entendimento das mesmas.

## **1.3 ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO**

A presente dissertação é organizada pelos seguintes capítulos:

O primeiro capítulo destinar-se-á a uma introdução geral ao tema abordando a importância das técnicas de diagnóstico e da sua sistematização.

O segundo capítulo da dissertação abordará o conceito de edifício corrente, bem como a sua caracterização e descrição, caracterização das suas anomalias e dos seus elementos estruturais, e técnicas para diagnosticar as mesmas.

No terceiro capítulo, através da informação recolhida pela pesquisa bibliográfica realizada, apresenta-se a análise técnica e ponderada ao material existente relativo a cada técnica. Esta análise, procura distinguir padrões comuns entre cada uma das técnicas e desta forma propor uma ficha de diagnóstico modelo com campos comparativos caracterizando cada campo e explicitando importância de este constar numa ficha de diagnóstico modelo.

No quarto capítulo será então aplicada efetivamente a ficha modelo proposta a várias técnicas de diagnóstico existentes tentando preencher em cada ficha os elementos abrangidos por cada campo anteriormente descrito no capítulo três.

Por último, o quinto capítulo destinar-se-á a realizar algumas conclusões acerca do modelo adotado e da sua importância, sendo o sexto capítulo destinado as referências bibliográficas e por último, anexos.



## **2 DIAGNÓSTICO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE EDIFÍCIOS CORRENTES**

### **2.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS**

A crescente consciencialização e a cada vez mais existência concreta de preocupantes níveis de degradação das habitações justificam a urgente necessidade de recuperar e revitalizar o parque habitacional nacional. Esta recuperação deverá passar, pela aplicação de medidas gerais, ao nível dos edifícios e das áreas envolventes, que permitam responder às atuais exigências de habitabilidade, contribuindo para a existência de um habitat com melhor qualidade de vida, sustentável, requalificado e valorizado (Flores-Colen *et al.*, 2003).

Neste contexto, a capacidade de acompanhar através de inspeções que retratem com algum rigor o quadro patológico dos edifícios e perspetivem a sua evolução é fundamental para o diagnóstico das situações. Entre outros fatores, a objetividade da informação recolhida durante estas inspeções é uma condição indispensável à tomada de decisões. Assim sendo, é necessário uma abordagem sistémica ao problema, para que se possa desenvolver um conjunto de ferramentas técnicas de trabalho, tais como fichas normalizadas de anomalias, de técnicas de diagnóstico e de técnicas de reabilitação. Estas ferramentas devem ser desenvolvidas sectorialmente, isto é, por elementos de construção tipo e ser posteriormente integradas num sistema global de inspeção e diagnóstico de edifícios (Brito, 2009).

Surgem, deste modo, classificações especializadas com base na tecnologia e na tipologia das construções, nos materiais, entre outros. Assim, justifica-se a consideração separada dos edifícios antigos e dos edifícios correntes, cada uma com materiais, tecnologias e tipologias próprias (Cóias, 2006).

Assim sendo, o presente capítulo tem como principais objetivos, apresentar o conceito de edifício corrente e a sua íntima relação como o betão armado, a tipificação dos elementos estruturais que compõem estas edificações, bem como as anomalias mais frequentes que os afetam. Em igualdade de circunstâncias, ir-se-á identificar as causas associadas ao aparecimento das situações anómalas, tendo em conta sua tipologia (origem humana e não humana). Por fim, será abordado também a metodologia de um diagnóstico, e algumas técnicas e ensaios que permitem a realização do respetivo diagnóstico em elementos estruturais de edifícios correntes.

## 2.2 EDIFÍCIOS CORRENTES

Para uma melhor sistematização do tratamento e análise dos níveis de degradação dos edifícios, é importante que haja efetivamente uma separação entre edifícios antigos e edifícios correntes. Sendo necessária esta separação consoante os padrões construtivos, tem-se vindo a verificar ao longo do tempo que, o conceito de edifício corrente ainda se encontra um pouco indefinido no léxico da engenharia, isto porque diversos autores têm vindo a apresentar datas que possam marcar essa distinção, algo divergentes.

Em relação ao conceito de “edifício corrente”, o mesmo não se encontra explícito nas análises que os vários estudiosos da problemática de edifícios têm vindo a elaborar. De fato, o espaço de tempo que possibilita identificar um edifício com “corrente” corresponde a um período que vai para além do intervalo de tempo que se associa a edifícios “novos” e fica aquém do que se pode atribuir a um edifício “velho”. Sendo o tempo de serviço do edificado considerado recente de 25 anos, isto leva a que nos dias que correm, corresponde à construção edificada no início dos anos 70, correspondendo estes edifícios a cerca de  $\frac{1}{4}$  do parque total edificado em Portugal ou seja cerca de dois milhões e meio de edifícios (Rodrigues *et al.*, 2007)

Já Córias (2006) defende que, a partir dos anos 30 do século passado, o predomínio do betão armado encontrava-se consolidado na construção de elementos horizontais, uniformizando deste modo a construção ao longo de todo o território, passando a reger-se pelos mesmos processos e materiais. Assim de uma forma simples, divide os edifícios existentes em dois grandes grupos do ponto de vista construtivo e estrutural:

- **Edifícios Correntes:** Ano de construção superior a 1945
- **Edifícios Antigos:** Ano de construção inferior a 1945

A semelhança do anterior, Rodrigues, *et al.*, (2007) também refere que se assiste à quase ausência de inovação construtiva repetindo-se à exaustão uma tecnologia construtiva baseada num sistema estrutural porticado em betão armado (ver Figura 2.1), complementado por panos de alvenaria sem funções estruturais.

Por volta de 1960, o sistema construtivo usado passou a ser então, a estrutura em pórtico de betão armado, sendo as lajes aligeiradas ou maciças em betão armado e as vigas e os pilares que constituíam pórticos, numa ou duas direções, dando apoio às lajes e transmitindo as cargas às fundações que normalmente eram constituídas por sapatas isoladas em betão armado (Costa, 2012 citando Sampaio *et al.*, 1992).



**Figura 2.1 Pórtico em betão armado [W1]**



**Figura 2.2 Edifício corrente [W2]**

O Núcleo de Engenharia Sísmica e Dinâmica de Estruturas (NESDE) do Departamento de Estruturas do LNEC ainda acrescenta nas suas publicações webgráficas [W3] que os edifícios correntes em betão armado dizem respeito a edifícios com o ano de construção superior a 1960. Isto deve-se à época em causa ser caracterizada por uma acentuada dispersão na variedade dos edifícios construídos, tanto em altura, porte, implantação, como em termos de soluções estruturais (ver Figura 2.2). Estes edifícios já correspondem pois, à génese e implementação dos regulamentos ao nível do betão armado e da construção (ver Quadro 2.1 e 2.2). Devido ao aumento da altura dos edifícios correntes relativamente aos edifícios antigos, aumenta também as exigências de resistência face a ações sísmicas, por conseguinte começam a aparecer elementos verticais de maior rigidez, como por exemplo as caixas de escadas e de elevadores. Do ponto de vista estrutural, pode-se ainda verificar nos edifícios relativos a época em causa, a presença de associações de pórticos e paredes resistentes numa ou em duas direções, originando as chamadas estruturas mistas.

**Quadro 2.1 Evolução da regulamentação estrutural em Portugal (adaptado de Pipa, 2006).**

Regulamentos/Normas	Observações
<b>RBA-35</b> Regulamento de betão armado	Sintetiza o estado do conhecimento no domínio do betão armado.
<b>RSEP-61/71</b> Regulamento de Solicitações em Edifícios e Pontes	Reúne num documento único as disposições sobre as solicitações a considerar no dimensionamento das estruturas de edifícios e pontes.
<b>EBA-67/76</b> Regulamento de Estruturas de Betão Armado	Contém regras gerais a aplicar no projeto e construção de estruturas de betão armado, e em especial a edifícios. É introduzido o conceito de verificação da segurança em relação a estados limites, em substituição do critério tradicional, baseado em de tensões de segurança.

**Quadro 2.1** *Evolução da regulamentação estrutural em Portugal (adaptado de Pipa, 2006). Continuação.*

Regulamentos/Normas	Observações
<b>RSA-83</b> Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes	Atualiza a regulamentação portuguesa relativa a estruturas de edifícios e pontes, harmonizando-a com as modernas tendências internacionais.
<b>REBAP-85</b> Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-esforçado	Revoga o REBA-67, compatibilizando o projeto de estruturas de betão com a filosofia de segurança consignada pelo RSA- 83.
<b>Eurocódigos:</b> Foram publicadas entre 1998 e 2002, 17 Normas Portuguesas (NP).	Os Eurocódigos Estruturais são documentos de referência, destinando-se a comprovar a conformidade dos edifícios e das obras de engenharia civil com requisitos essenciais estabelecidos na DPC, designadamente resistência mecânica e estabilidade e segurança em caso de incêndio.

É notável, também, o aparecimento de várias formas de pavimentos desde as lajes maciças, às pré-fabricadas por vigotas ou nervuradas, todas elas numa ou em ambas as direções. No que diz respeito ao contacto com o exterior, o edificado considerado recente apresenta algumas diferenças relativamente aos edifícios considerados antigos, sendo que os primeiros apresentam aberturas maiores para janelas, e muitos pisos ao nível do rés-do-chão praticamente sem alvenaria. As paredes exteriores, em geral continuam a ser de alvenaria de tijolo, duplas, embora em alguns casos já se vejam paredes de pré fabricação pesada presa à estrutura principal. A renovação urbana é caracterizada fortemente pelo aparecimento de edifícios de escritório ou mistos e nas novas áreas urbanas por edifícios predominantemente destinados a habitação. Por fim, o NESDE ainda refere que a construção dos últimos 20 anos assume aspetos bem diferenciados em toda a sua linha arquitetónica, com edifícios altos e vários pisos abaixo do solo em zonas de renovação do parque ou em novas áreas urbanas [W3].

Assim, deste modo e tendo em conta todos os fatores abordados por vários autores já referidos, é possível admitir que, o conceito de edifício corrente, aplica-se aos edifícios nos quais se fez uso quase exclusivo do betão armado, deixando para trás no tempo, o uso estrutural da madeira e das paredes de alvenaria de pedra. Deste modo, a presente dissertação irá abordar apenas edifícios que façam uso de uma estrutura de betão armado considerando assim esta tipologia construtiva como edifícios correntes.

## 2.3 ANOMALIAS EM EDIFÍCIOS CORRENTES

Durante a execução de qualquer obra, ou durante a vida útil da mesma, é frequente observarem-se fenómenos anómalos que podem condicionar o desempenho estético ou funcional dos materiais constituintes (Garcia, 2006). Na realidade, essas mesmas anomalias podem ter implicações na funcionalidade do edifício ou na segurança estrutural (Ribeiro *et al.*, 2003).

De um ponto de vista geral, o processo de deterioração de um edifício, caracteriza-se pelas causas para a degradação (que podem ser o envelhecimento natural ou erros associados às diferentes fases do processo construtivo que originam defeitos), pelos agentes exteriores de degradação e pelos sintomas deste processo (anomalias), os quais podem progredir até à rotura (funcional e/ou física), afetando o desempenho (Flores-Colen, 2008).

Em circunstâncias mais complexas, considera-se que uma ocorrência anómala resulta de um conjunto de manifestações associadas a uma determinada cadeia de relações causa-efeito que lhe está subjacente (Sousa, 2004). É o caso por exemplo de anomalias relacionadas com a segurança estrutural, em que em casos extremos nos quais se dá o colapso da estrutura, a conjugação de efeitos adversos é de uma tão grande complexidade, que por vezes se torna difícil a identificação e hierarquização desses fatores adversos que dão origem as várias anomalias.

Deste modo, perante anomalias estruturais, a execução de um diagnóstico criterioso torna-se fundamental na procura de uma solução que conduza a eliminação de anomalias. (Aguiar *et al.*, 2006)

As anomalias estruturais dizem respeito aos fenómenos patológicos que afetam a componente estrutural resistente de um edifício, sendo que por vezes, quando se trata do seu comportamento, torna-se difícil fazer a separação da estrutura do resto do mesmo pois muitas das anomalias estruturais afetam elementos não estruturais causando danos nestes e ainda chegam a existir mesmo elementos não estruturais que desempenham funções estruturais (por exemplo as paredes de alvenaria de tijolo). Assim, existem situações em que uma anomalia estrutural, originada por algum fator adverso ou por um conjunto destes, pode provocar danos em elementos não estruturais, sendo que neste caso a execução de uma análise e diagnóstico exaustivo se torna fundamental para conseguir avaliar a origem das anomalias em questão e as suas repercussões. Um diagnóstico correto é essencial para uma identificação precisa das causas das anomalias e uma análise e avaliação rigorosa da situação patológica real é condição indispensável para a resolução do problema em causa (Costa, 2006).

Relativamente à classificação das causas/origens das anomalias da construção de edifícios, poder-se-á dividir, segundo causas de anomalias com origem humanas e causas de anomalias não humanas. Segundo Aguiar *et al.* (2006), o fator humano pode ser dos mais importantes, mesmo o

primordial, no aparecimento e no desenvolvimento de anomalias na construção. Como tal, as ocorrências anómalas provindas de erros humanos são caracterizados pela sua imensa diversidade, encontrando-se inseridas nas três fases do processo de construção de um dado empreendimento.

As causas para a manifestação de anomalias poderão ter várias origens, como por exemplo ações naturais, desastres naturais, e desastres devido a causas humanas imprevisíveis. Relativamente às ações naturais, poderão ser caracterizadas como causas correntes, vulgares, onde o seu grau de incidência depende das condições a que os edificados se encontram sujeitos. Como tal, as ações naturais poderão ser divididas em três distintos grupos (Físicas, Químicas e Biológicas).

As anomalias poderão também ser causadas por desastres naturais, que são ações que têm origem em causas naturais (sismo, ciclone, avalanche, trovoadas, erupção vulcânica, tsunami, etc.) mas com um maior grau de intensidade (comparativamente às ações naturais). Estes tipos de acontecimentos são caracterizados pela sua rara ocorrência, contudo quando se manifestam as suas respetivas consequências e efeitos são bastante graves.

Por fim os desastres imprevisíveis, de origem humana, encontram-se associados à responsabilidade humana (fogo, explosão, choque, inundação, etc.), ocorrendo a hipótese de diminuir os riscos de acontecimento associado, através da implementação de medidas cautelares.

## 2.4 ANOMALIAS ESTRUTURAIS

As ocorrências anómalas de carácter estrutural poderão estar associadas a eventuais alterações das condições de utilização, à deterioração e à inadequação de materiais aplicados, assim como à deficiente conceção e à desajustada utilização de técnicas construtivas (ver Quadro 2.3).

**Quadro 2.2 Causas que suscitam o aparecimento de anomalias em elementos estruturais (adaptado de Aguiar et al., 2006)**

<b>Causas das anomalias em elementos estruturais</b>		
<b>Erros ou insuficiências originais</b>	<b>Alterações estruturais e das condições de utilização</b>	<b>Alterações nos materiais</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deficiente conceção ou dimensionamento;</li> <li>• Escolha inadequada de materiais</li> <li>• Erros de execução em obra</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alteração da estrutura;</li> <li>• Agravamento das cargas permanentes em paredes e pilares, com ou sem introdução de excentricidades de carregamento;</li> <li>• Agravamento das sobrecargas de utilização;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deterioração dos materiais, ao longo dos tempos.</li> </ul>

**Quadro 2.2 Causas que suscitam o aparecimento de anomalias em elementos estruturais (continuação)**

<b>Causas das anomalias em elementos estruturais</b>		
<b>Erros ou insuficiências originais</b>	<b>Alterações estruturais e das condições de utilização</b>	<b>Alterações nos materiais</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Assentamentos diferenciais das fundações das paredes e pilares;</li> <li>• Efeito das variações da temperatura ambiente;</li> <li>• Sismos, raios, escorregamentos de talude</li> <li>• Vibrações induzidas na estrutura pela utilização de explosivos na envolvente do edifício.</li> </ul>	

No que diz respeito às anomalias em estruturas de betão armado, Cóias (2006) afirma que estas encontram-se normalmente relacionadas com problemas de insuficiência de construção ou conceção, alterações estruturais e deterioração. O autor também acrescenta que, a existência de anomalias em edifícios de betão armado, é verificada normalmente em situação de serviço através do aparecimento de fissuras ou fendilhações com diversas orientações, deformações excessivas, esmagamentos localizados no betão ou pela corrosão das armaduras ou desagregação nas superfícies devido a ataques químicos ou físicos.

Segundo Aguiar *et al.* (2006), as situações anómalas em estruturas de betão armado manifestam-se, essencialmente na fase de utilização, pela ocorrência de:

- Fendilhação com diversa orientação;
- Deformações excessivas, normalmente em pavimentos;
- Corrosão das armaduras ou desagregação nas superfícies por ataque químico ou físico.

#### **2.4.1 Fendilhação**

As fendilhações em estruturas de betão armado encontram-se associadas a fenómenos ocorridos na fase anterior e/ou posterior do endurecimento das mesmas (ver Quadro 2.4).

As fendas de retração decorrem do facto de, numa determinada peça ou zona, a retração ser impedida de se processar livremente, devido a restrições internas associadas ao próprio betão armado ou externas pela ligação a outros elementos, em contraste com as fendas de origem térmica que são associadas à livre dilatação (ou contração) dos elementos estruturais por variação de temperatura (Aguiar *et al.*, 2006). Esta última tipologia de fendilhação caracteriza-se por possuir uma

incidência superior em locais mais expostos ao ambiente exterior como também em zonas com grande exposição solar.

A fendilhação que resulta de esforços aplicados em elementos de betão armado apresenta, em regra, configurações associáveis ao funcionamento estrutural, sendo por essa razão possível identificar o tipo de esforço que a origina. A norma NP EN 1992-1-1:2004, estipula que, em ambientes pouco a moderadamente agressivos, a largura admissível para as fissuras varia entre 0,2 e 0,4 mm.

**Quadro 2.3 Representação das diversas causas possíveis de fissurações em betão armado (Cóias, 2006)**


<b>Tipos de fissuras no betão armado</b>					
<b>Antes do endurecimento</b>		<b>Depois do endurecimento</b>			
<b>Movimentos durante a construção</b>	<b>Efeito plástico</b>	<b>Efeito estrutural</b>	<b>Efeito térmico</b>	<b>Efeito químico</b>	<b>Efeito físico</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Movimento do terreno</li> <li>• Movimento dos moldes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Retração plástica</li> <li>• Assentamento plástico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deformações impostas</li> <li>• Cargas de projeto</li> <li>• Fluência</li> <li>• Sobrecarga acidental</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contração térmica</li> <li>• Variações sazonais</li> <li>• Ciclos gelo-degelo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Carbonatação do cimento</li> <li>• Reação alcali-agregado</li> <li>• Corrosão de armaduras</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fissuração mapeada</li> <li>• Retração de secagem</li> <li>• Agregados retrateis</li> </ul>

Um outro exemplo de fendilhação em elementos de betão armado é a fissuração devida à corrosão do aço. Tal circunstância é agravada, na maioria das vezes, por recobrimentos bastante reduzidos (principalmente nas armaduras transversais). O efeito da corrosão do aço, que consiste, essencialmente, na alteração do ferro em óxido de ferro (ferrugem) implica uma expansão das armaduras (aumento de volume cerca de 8 a 10 vezes), originando tensões muito importantes no betão em torno dos varões, o que provoca a fendilhação do betão que o envolve (Aguiar *et al.*, 2006). No Quadro 2.5 poder-se-á observar as principais características e causas associadas aos diversos tipos de fendilhação em elementos de betão armado.

**Quadro 2.4 Caracterização de vários tipos de fendilhação em elementos de betão armado (Aguiar *et al.*, 2006; Cóias, 2006)**

<b>Identificação</b>		<b>Causas prováveis/ Observações</b>
<b>Fendas de retração</b>	<b>Por assentamento plástico</b>	Ocorre devido à migração do ar e da água para a superfície do betão
	<b>Por retração plástica</b>	Ocorre quando a velocidade de secagem de água na superfície é superior à velocidade com que a água se difunde no interior do betão

**Quadro 2.4 Caracterização de vários tipos de fendilhação em elementos de betão armado (continuação6)**

Identificação	Causas prováveis/ Observações
<b>Fendas de origem térmica</b>	Surgimento da anomalia a curto prazo, dias ou semanas após a concretização do elemento estrutural.
<b>Fendilhação por corrosão de armaduras</b>	Anomalias com distribuição definida (posição dos varões), associada à cor acastanhada. Primeiramente surgem nos cantos dos elementos estruturais, aumentando progressivamente a fendilhação longitudinal.
<b>Fendilhação por reações químicas</b>	Fendas sem orientação preferencial e com um aspeto rendilhado
<b>Fendilhação de esforço transverso</b>	Fissuração inclinada em relação ao eixo da peça, ocorrendo em faces laterais e a meia altura dos elementos, junto aos apoios e em locais próximos da aplicação de cargas concentradas.
<b>Fendilhação por flexão pura</b>	A direção das fissuras é perpendicular às armaduras. 
<b>Fendilhação de tração pura</b>	Fendas com desenvolvimento paralelo às cargas, apresentando-se com um espaçamento regular. Surgimento em locais com elevadas cargas concentradas. 
<b>Fendilhação por torção</b>	Fissuração inclinada em relação ao eixo da peça, ocorrendo na totalidade das faces dos elementos, apresentando um padrão helicoidal. 
<b>Fendilhação por corte</b>	Ocorre devido à aplicação de forças horizontais, relacionadas com elementos inclinados (coberturas). 
<b>Perda de aderência</b>	As fissuras formam-se nas zonas de amarração das armaduras. 

## 2.4.2 Deformações excessivas

Os elementos de betão armado mais sujeitos a deformações excessivas são as lajes, encontrando-se estas anomalias associadas ao funcionamento por flexão. Contudo, na maioria das circunstâncias, os efeitos secundários destas anomalias surgem em elementos não estruturais, que possuem capacidade de deformação inferior, como é o caso, por exemplo, das paredes de alvenaria de tijolo. Como tal, as fissurações, provenientes de deformações excessivas em elementos de betão armado, poderão ocorrer na base das paredes, sobretudo nas zonas próximas do meio vão dos pavimentos, ou ainda, dada a entrada em carga da alvenaria, na própria parede, dispostas a 45° com orientações contrárias entre os extremos apoiados (Aguiar *et al.*, 2006). Porém, os panos parciais ou com aberturas (sem preenchimento de malha estrutural), também poderão evidenciar fendilhação, embora seja caracterizada pela complexidade e condicionada pelos locais de concentração de tensões (cantos de aberturas).

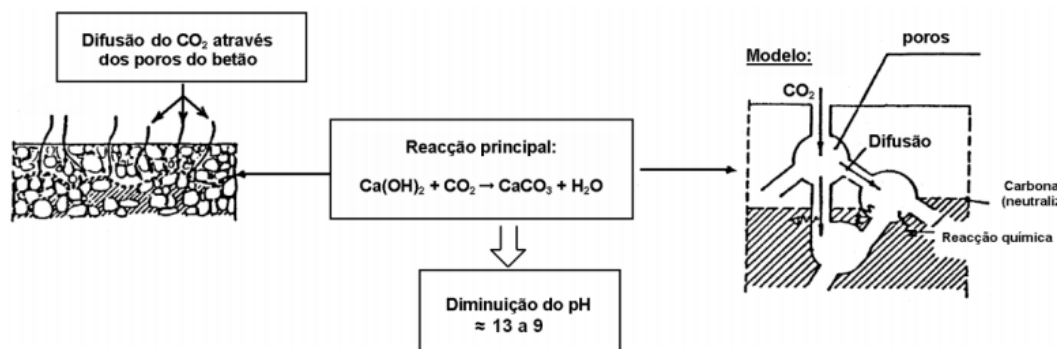
## 2.4.3 Corrosão de armaduras

A corrosão das armaduras é pois um dos defeitos mais frequentes das construções de betão armado, resultando da carbonatação de CO<sub>2</sub> com o conseqüente abaixamento de pH do betão, do seu efeito protetor e da presença de cloretos do 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. Ainda assim, a taxa de carbonatação é uma variável que depende de vários fatores, especialmente 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).

Também Lourenço (2003) afirma que a principal causa da deterioração das estruturas de betão armado é a corrosão das armaduras devido à carbonatação da camada de recobrimento e/ou à contaminação do betão por cloretos. A corrosão das armaduras tem um papel fundamental na durabilidade das estruturas de betão armado, pois além de provocar a sua deterioração pode também por em causa a integridade estrutural do edifício. Alguns dos fatores que podem contribuir para a corrosão das armaduras nas estruturas de betão armado dizem respeito à redução do pH resultante da carbonatação do betão; contaminação do betão por cloretos; técnicas de construção inadequadas, etc. A corrosão podem ser o resultado de um desses fatores ou a combinação de vários. A contaminação do betão por cloretos foi identificada como uma das maiores causas de deterioração das estruturas de betão armado em todo o mundo.

Cóias (2006), também refere que um dos mecanismos mais correntes que causa a deterioração do betão armado é a carbonatação, a qual é caracterizada pela penetração do dióxido de carbono presente na atmosfera nos poros do betão, reagindo com o hidróxido de cálcio, formando assim carbonato de cálcio e água. Conseqüentemente, este mecanismo reduz a alcalinidade do betão. Num

betão considerado homogêneo, a carbonatação progride na frente paralela da superfície chegando mesmo a ultrapassar o limite do recobrimento das armaduras. Deste modo, o aço despassiva, devido ao decaimento no nível de alcalinidade, permitindo desta forma que se dê início à corrosão das armaduras pondo assim em causa a resistência do betão e da própria estrutura.



**Figura 2.3 Avanço do processo de carbonatação. (Simas, 2007)**

Por sua vez, a corrosão de armaduras provocada por ataque de cloretos é um processo significativamente mais gravoso que a corrosão provocada pela carbonatação do betão, uma vez que ocorre com velocidades consideravelmente superiores (Amaro, 2011 citando Nsambu, 2007). Segundo Appleton *et al.* (1999), chega mesmo a existir uma relação equivalente entre o período de vida útil da estrutura de betão armado e o período de iniciação do processo de corrosão de cloretos, devendo-se, essencialmente à velocidade extremamente elevada de corrosão.

Segundo Appleton *et al.* (1999), a qualidade do betão, as condições de exposição, assim como o tempo de exposição dos elementos de betão, influenciam a evolução dos valores do coeficiente de difusão de cloretos. De facto, as estruturas de betão armado localizadas em meios próximos de ambientes marítimos encontram-se em situações mais oportunas de sofrer corrosão de armaduras provindo do ataque de cloretos. Porém, os iões cloreto poderão encontrar-se no ligante aplicado no betão armado, devido à utilização de areias inadequadas no mesmo. No entanto, a medida de recobrimento e o estado de conservação superficial dos elementos construtivos de betão armado, influenciam a progressão da penetração dos cloretos nos elementos em questão. No que diz respeito à medida de recobrimento, este agente não dificulta a penetração dos cloretos no betão armado, apenas prolonga o período inicial de entrada dos cloretos no betão,

Em contrapartida, a existência de abertura de fendas na superfície do betão tem particular influência no ingresso dos mesmos, numa perspetiva a curto prazo, tendendo para diminuir ao longo do tempo (Amaro, 2011). Segundo a NP EN 1992-1-1:2004, em circunstâncias de fissuras com largura entre os 0,20 a 0,40 mm, a influência é bastante reduzida, a curto prazo, no que diz respeito ao aumento de velocidade de propagação da corrosão das armaduras.

## 2.5 DIAGNÓSTICO DE ANOMALIAS

Segundo Freitas *et al.* (2003), a correta intervenção de uma anomalia numa estrutura, com vista à sua eliminação ou estabilização, depende do diagnóstico realizado à mesma. Assim, quando um edifício apresenta um conjunto significativo de anomalias, antes de se poder iniciar os trabalhos de intervenção/reparação é necessário que exista um estudo de diagnóstico que dará lugar à primeira fase do processo de reabilitação.

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).

A investigação levada a cabo na realização de um diagnóstico deve ser feita de um modo profundo e ordenado tendo em conta que para cada caso é necessário elaborar uma metodologia diferente. 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 correta e dos fatores prováveis que podem influir na origem das incompatibilidades. Para além disso, deverá ter também uma visão global das construções juntamente com um sentido muito apurado de observação, devendo utilizar todos os seus sentidos, visão, audição, olfato e tato, para assim puder interpretar o que observa à vista desarmada ou mesmo quando recorre a variados instrumentos utilizados. O investigador deverá também possuir engenho para criar técnicas e procedimentos que no processo de investigação não destruam dados (elementos) que poderão ter valor (Goicoechea *et al.*, 2006).

Para uma correta intervenção de reabilitação, a realização de um diagnóstico torna-se uma tarefa imperativa a realizar antes de qualquer ação de projeto ou mesmo construtiva.

Diagnosticar num elemento construído, não é mais do que detetar e determinar uma falha, que ocorra num determinado local. Esta ação 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, 2007).

Nos dias que correm, já existe por parte do meio técnico, uma aceitação geral da importância de análises e diagnósticos destinados à deteção de anomalias em elementos de construção, possibilitando desta forma a escolha de uma solução melhor. Na realização de um diagnóstico, Cabrita *et al.* (1988) afirma ser exigida uma vasta e rigorosa recolha de informação, bem como uma longa e sólida experiência profissional das entidades envolvidas, o que vem reforçar a ideia já referida anteriormente de que uma identificação correta das causas e a avaliação rigorosa da situação real é uma condição indispensável para a resolução de anomalias em edifícios.

Torna-se também importante que no decorrer deste tipo de análises se evite a tomada de posições extremas, excessivamente otimistas ou pessimistas. Uma avaliação muito otimista 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*, 1988).

Um diagnóstico normalmente só tem a sua validade certificada quando, após eliminadas as causas apontadas se verifique efetivamente 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 correção de um diagnóstico deva ser apreciada com uma adequada perspetiva temporal (Rosa *et al*, 2005).

O estudo do diagnóstico permite assim ao dono de obra conhecer 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).

Torna-se então necessário a realização de um registo criterioso de todas as anomalias, das suas causas e de possíveis soluções de intervenção e mesmo do seu comportamento posteriormente à intervenção. Este registo poderá ser utilizado para criar bases de dados próprias de cada projetista para posterior utilização, contribuindo assim para a compatibilidade de soluções tecnológicas, construtivas e formais que garantam a qualidade presente e futura do edifício. Assim, os projetistas podem-se socorrer dos seus próprios registos, utilizando-os como ferramenta de auxílio para se poder estabelecer uma solução de intervenção mais eficaz, analisando várias intervenções anteriores e comparando-as com situações análogas registadas em bases de dados que começam agora a ser criadas (por exemplo o PATORREB). Desta forma, é ainda possível levantar hipóteses sobre as causas na origem de determinadas anomalias, em elementos construtivos onde há dificuldade de acesso, que resultam de fenómenos físicos complexos e outros que poderão constituir soluções plausíveis a adotar (Freitas *et al.*, 2003).

### **2.5.1 Metodologia de um diagnóstico**

Tendo em conta que o estudo do diagnóstico é uma tarefa essencial a um processo de intervenção, torna-se importante que a mesma seja realizada de um modo exigente, exaustivo e com alguma delicadeza, uma vez que o panorama de anomalias de um edifício apresenta uma grande diversidade de problemas que facilmente atingem uma dimensão que impõe por um lado um conhecimento generalizado mas por outro, um conhecimento especializado, de tudo o que é a própria essência da construção. Deste modo, o estudo de diagnóstico é, por um lado, trabalho para um técnico generalista, com sólida formação em áreas tão diversas como geotecnia, estruturas, alvenarias, revestimentos, isolamentos e acabamentos, instalações técnicas, mas 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.

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

- Via empírica – Realizada com base na experiência do especialista que procede ao estudo. É centrado na resolução do problema a partir de outros casos resolvidos com sucesso e com o conhecimento integral dos processos construtivos e entendimento do seu comportamento e relação com a envolvente;
- 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, Appleton (2002), atende à 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. Percebe-se então a atração pela terceira via referida, em que se tempera, no seu melhor, a experiência com a ciência.

Tendo em conta que cada caso é um caso particular pode-se, de uma forma geral, adotar a seguinte metodologia (Freitas *et al.* 2003):

1. Análise da informação escrita e desenhada que deve ser fornecida pelo dono de obra, nomeadamente, desenhos gerais e de pormenor, condições técnicas especiais e “história” de eventuais intervenções. Infelizmente, nem sempre o projetista dispõe destes elementos e, muitas vezes, não há mesmo qualquer elemento desenhado disponível, sendo necessário recorrer às entidades licenciadoras para obter cópias dos desenhos do projeto de licenciamento.
2. Realização de um inquérito aos condóminos com o objetivo de obter um levantamento da degradação no interior dos fogos, selecionar os fogos mais degradados a visitar e, simultaneamente, perceber quais as expectativas dos utilizadores. Trata-se de inquéritos simples que não exigem conhecimentos técnicos para o seu preenchimento, bastando responder com uma cruz às questões elementares colocadas.
3. Visita ao interior do edifício, em particular dos fogos mais degradados, para efetuar o levantamento exaustivo das anomalias. Em relação ao exterior, é fundamental a realização

de múltiplas visitas para observação do estado de degradação e comportamento da envolvente.

4. Realização do levantamento fotográfico do edifício e das suas patologias, sendo de grande importância quando existe informação desenhada disponível.
5. Em muitos casos, é importante efetuar medidas *in situ* ou em laboratório, nomeadamente:
  - Determinação da permeabilidade ao vapor de água;
  - Determinação da permeabilidade líquida;
  - Determinação da condutibilidade térmica;
  - Estudos de termografia;
  - Ensaio de arrancamento por tração;
  - Ensaio mecânico sobre elementos construtivos
  - Análise de variação dimensional face à temperatura e à humidade;
  - Medição de fissuras;
  - Análise do movimento de fissuras;
  - Medição da temperatura e da humidade dos materiais de construção.
6. Em certos edifícios é ainda importante efetuar um conjunto de sondagens na envolvente exterior, que permitam caracterizar a composição de determinados elementos construtivos, salientando-se:
  - Topos de laje, para verificação do apoio das alvenarias e tratamento das pontes térmicas;
  - Ligação da caixilharia com a fachada;
  - Ligação da cobertura e fachada com a platibanda;
  - Coberturas planas;
  - Revestimento de fachadas.

Deste modo, é possível observar que o estudo de diagnóstico é complexo e requer um conjunto vasto de elementos. Quando concluído deverá ser elaborado um parecer, por parte do projetista, cuja estrutura deverá ser a seguinte:

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

Paiva *et al.* (2007) salienta que nem todos os estudos incluem o conjunto das ações atrás referidas (umas por não haver necessidade, outras por impossibilidade de realização) e nem todas as ações são realizadas com o mesmo grau de exigência em todos os estudos. O diagnóstico tem sido muitas vezes entendido como sendo a procura e a explicação das causas das anomalias em edifícios, 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, 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 corretiva (Paiva *et al.*, 2007).

## 2.6 TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO

Quando se procede à inspeção de um edifício, é importante que sejam verificadas, classificadas e registadas todas as anomalias detetadas em todas as partes do edifício. Assim para que a inspeção do mesmo seja realizada de uma forma criteriosa, é conveniente que existam diversas fases no desenvolvimento de um diagnóstico das anomalias para um correto estudo das mesmas (Carrió *et al.*, 2003).

Deste modo, é possível destacar as seguintes fases:

- **Exame preliminar** – Baseado num estudo breve do edifício e do seu meio envolvente, inclui uma inspeção visual feita a olho nu ou com o auxílio de instrumentos óticos ou de películas especiais que potenciem a capacidade visual, e também um estudo da documentação existente como já foi referido anteriormente. Neste exame preliminar deverão estabelecer-se hipóteses e recomendações para a realização de um exame mais aprofundado a realizar posteriormente (Santos, 2003; Córias, 2006).
- **Exame pormenorizado e diagnóstico** - Esta fase do diagnóstico pressupõe observações mais aprofundadas no local recorrendo a técnicas de ensaio através de aparelhos apropriados ao efeito. Hoje em dia, as técnicas existentes são geralmente classificadas como destrutivas, ligeiramente destrutivas ou não destrutivas. No entanto, no que respeita à construção, os métodos de ensaio devem ser preferencialmente não destrutivos de modo a minimizar os danos no edifício. Ainda assim por vezes, torna-se necessário recorrer a muitos ensaios que envolvem danos mais ou menos importantes para os edifícios (Santos, 2003; Córias, 2006).

Também é possível agrupar as técnicas de ensaios em ensaios *in situ* e ensaios laboratoriais. Estes últimos são realizados sobre amostras dos componentes da construção ou dos materiais recolhidos, e são muitas vezes um complemento importante e indispensável, dos ensaios *in situ* (Santos, 2003).

As técnicas de ensaio *in situ* existentes são classificadas em destrutivas, ligeiramente destrutivas ou não destrutivas (Ferreira, 2010 citando Santos, 2003). Os ensaios não destrutivos são geralmente definidos como não sendo prejudiciais para o desempenho do elemento ou membro ensaiado e quando aplicados ao betão consideram-se incluídos os métodos que causam danos superficiais perfeitamente localizados (Nepomuceno, 1999), em que os últimos poderão ser designados por ensaios parcialmente destrutivos ou semi-destrutivos. Por fim, tal como designados, a realização de ensaios *in situ* não destrutivos, não provocam qualquer tipo de dano às estruturas analisadas. Na sua generalidade, os ensaios *in situ* para além de serem caracterizados pela inexistência ou reduzida vertente destrutiva, permitem uma classificação qualitativa ou quantitativa indireta das características mais significativas, ao invés dos ensaios de laboratório, que por sua vez são sempre algo destrutivos (realizados sobre amostras, como é o exemplo das carotes) mas permitem obter resultados quantitativos diretos (Ferreira, 2010 citando Veiga *et al.*, 2004).

No que respeita a esta dissertação, irão ser abordadas apenas técnicas de diagnóstico passíveis de serem realizadas apenas em elementos estruturais de edifícios correntes, deixando assim de parte todas as restantes técnicas que se focam apenas em elementos construtivos. É importante também referir, que estas mesmas técnicas que de seguida irão ser abordadas são relativas apenas a ensaios *in situ*, tendo em conta que todos os ensaios em laboratório são realizados, como já foi referido, sobre amostras dos materiais constituintes da estrutura, e assim sendo, não realizados diretamente sobre elementos estruturais, pelo que também não serão abordados.

Tendo em conta que a realização de ensaios *in situ* é associada, em diversas ocasiões, ao tema principal de desenvolvimento de distintos trabalhos, sucede-se o excesso de diversidade de informação obtida, dificultando a organização de uma possível classificação destes tipos de ensaios de diagnóstico.

Como tal, as técnicas de ensaio *in situ* podem ser classificadas em termos de (adaptado de Ferreira, 2010 citando Flores-Colen *et al.*, 2006):

- Grau de destruição que provocam (destrutivas, semi-destrutivas e não destrutivas);
- Princípios em que se baseiam (mecânicos, elétricos, magnéticos, eletromagnéticos, eletroquímicos, ultra - sónicos, radioativos, sensoriais, térmicos, químicos, eletroquímicos, entre outros);
- Tipo de resultados obtidos (propriedades a avaliar);
- Objetivos principais (exemplo: resistência, durabilidade, geometria);
- Elementos a que se aplicam (exemplos: elementos estruturais ou não estruturais);
- Atividades em que intervêm (controlo da qualidade, inspeção de edifícios, verificação da aplicação de regulamentos, entre outros).



Como tal, optou-se no presente trabalho, em organizar as diversas técnicas de diagnóstico *in situ*, tendo em conta a classificação por princípios em que se baseiam, como o fazem muitos autores, entre eles, Cóias (2006).

## 2.6.1 Técnicas de diagnóstico em elementos estruturais


### 2.6.1.1 Técnicas de percepção sensorial

As técnicas de diagnóstico respeitante a este grupo, são técnicas simples que recorrem a meios pouco tecnológicos, onde o operador utiliza os próprios sentidos para a avaliar as situações em análise, como a inspeção visual, podendo recorrer por vezes a aparelhos que os amplifiquem. As técnicas de percepção sensorial são inerentemente não destrutivas desde que não envolvam a abertura de fendas ou orifícios nos elementos do edifício em causa.

**Quadro 2.5 Técnicas de percepção sensorial. (Cóias, 2006; Padrão, 2004; Padrão, 2010)**

Técnicas de diagnóstico	Descrição	Objetivos	Vantagens/Desvantagens
<p><b>Observação boroscópica de fendas</b></p>  <p><b>Figura 2.4 Boroscópio [W4]</b></p>	<p>Esta é uma técnica não destrutiva, que se realiza <i>in situ</i>, ainda assim caso não seja possível visualizar a zona em análise, também é possível realizar furos em pontos de observação definidos, permitindo a introdução do boroscópio possibilitando o visionamento do interior do elemento.</p>	<p>Observação de cavidades e fendas, possibilitando assim observar o seu interior.</p>	<p><b>Vantagens:</b> Portabilidade, resultados imediatos, não necessita de grandes exigências de preparação dos elementos a analisar.</p> <p><b>Desvantagens:</b> Não permite obter informações quantitativas da estrutura, geralmente apenas para anomalias maiores, pode ser mal interpretado em fendas e ranhuras.</p>
<p><b>Monitorização da abertura de fendas e fissuras com o fissurómetro</b></p>  <p><b>Figura 2.5 Fissurómetro (Johnson, 2002)</b></p>	<p>O fissurómetro 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. É um ensaio de monitorização que se realiza <i>in situ</i> e é não destrutivo.</p>	<p>Este ensaio, é de monitorização e serve para medir fissuras.</p>	<p><b>Vantagens:</b> Ensaio sem grande complexidade de realização, equipamento de baixo custo, reduzida exigência técnica.</p> <p><b>Desvantagens:</b> Tempo de observação muito longo, escalas do instrumento, fissura em locais de difícil acesso para efetuar leitura</p>

Quadro 2.5 Técnicas de percepção sensorial. (continuação)

Técnicas de diagnóstico	Descrição	Objetivos	Vantagens/Desvantagens
<p><b>Medição de deslocamentos em juntas e fissuras com alongômetro</b></p>  <p><i>a)</i></p> <p><b>Figura 2.6</b> Alongômetro [W17]</p>	<p>Este ensaio, é não destrutivo e recorre a um instrumento que é capaz de medir as distâncias entre os pontos definidos por cada par de bases circulares metálicas com diâmetro de 5 mm. Realiza-se <i>in situ</i>.</p>	<p>O alongômetro é um dispositivo mecânico que se utiliza para medir com precisão pequenos deslocamentos de juntas e fissuras.</p>	<p><b>Vantagens:</b> Amovível, de bases de leitura fixas rigidamente à estrutura, leitura de forma direta</p> <p><b>Desvantagens:</b> Ensaio moroso que necessita de constante monitorização</p>

### 2.6.1.2 Técnicas de ação mecânica

Este grupo de técnicas envolve a aplicação de uma ação mecânica ao elemento da construção em estudo, o qual pode ser tanto um elemento construtivo como elemento estrutural. Esta ação mecânica pode ser executada através de dispositivos mecânicos, elétricos, hidráulicos ou eletromecânicos, ou mesmo pela remoção de partes do elemento. Os ensaios pertencentes a este grupo poderão ter um carácter não destrutivo, reduzidamente destrutivo ou moderadamente destrutivo. (Cóias, 2006)

Quadro 2.6 Técnicas de ação mecânica (Cóias, 2006; Gonçalves, 2010; Sampaio, 2010; Amaral, 2013; Evangelista, 2002).

Técnicas de diagnóstico	Descrição	Objetivos	Vantagens/Desvantagens
<p><b>Ensaio esclerométrico – Esclerómetro de Schmidt</b></p>  <p><b>Figura 2.7</b> Esclerómetro de Schmidt [W5]</p>	<p>O Esclerómetro é um aparelho que permite avaliar <i>in situ</i>, de forma simples e não destrutiva, a dureza superficial do betão, correlacionando com a resistência à compressão do mesmo, determinado em ensaios com provetes cilíndricos.</p>	<p>Este ensaio utiliza o Esclerómetro de Schmidt que mede a dureza superficial do betão a partir do recuo de uma massa incidente após o choque com a superfície a ensaiar. Este recuo é então convertido num valor de resistência à compressão através de ábacos.</p>	<p><b>Vantagens:</b> Facilidade de transporte; simplicidade de execução; rapidez de execução; danos causados na superfície são praticamente nulos.</p> <p><b>Desvantagens:</b> Resultados representativos em profundidades limitadas; necessidade de se realizarem ensaios complementares; resultados dependentes da boa calibração do aparelho.</p>

Quadro 2.6 Técnicas de ação mecânica (continuação).

Técnicas de diagnóstico	Descrição	Objetivos	Vantagens/ Desvantagens
<p><b>Extração de carotes de betão para determinação das características de resistência</b></p>  <p><b>Figura 2.8 Extração de carotes [W6]</b></p>	<p>A extração de carotes, é a forma habitual de recolha de amostras para determinar as características de resistência de betões já aplicados em obra. É um ensaio <i>in situ</i> e destrutivo, que se realiza em elementos estruturais.</p>	<p>Servem para proceder a ensaios de rutura à compressão.</p>	<p><b>Vantagens:</b> Avaliação das propriedades mecânicas e das características de resistência do betão; permite inspeção visual do betão da estrutura.</p> <p><b>Desvantagens:</b> Elevado custo; a componente estrutural do edifício limita a extensão e o número de amostras a retirar; necessidade de reparação posterior, impacto na segurança da estrutural.</p>
<p><b>Execução de ensaios de carga estáticos de curta duração em estruturas</b></p>  <p><b>Figura 2.9 Ensaios de carga estáticos [W7]</b></p>	<p>Os ensaios de carga estáticos de curta duração, em estruturas, substituem os ensaios <i>in situ</i>, quando estes não são adequados para determinar a resistência de uma estrutura. Este tipo de ensaio é não destrutivo, e é destinado a elementos estruturais.</p>	<p>O objetivo deste teste, é avaliar a forma como as componentes de um sistema estrutural reagem à medida que se vão incrementando, gradualmente as cargas.</p>	<p><b>Vantagens:</b> Consegue-se acompanhar a evolução das deformações e realizar o ensaio com a necessária segurança.</p> <p><b>Desvantagens:</b> Ensaio moroso, custo elevado.</p>

### 2.6.1.3 Técnicas de propagação de ondas elásticas

Neste tipo de técnicas de diagnóstico, os ensaios baseiam-se na deteção, medição ou análise das vibrações provocadas nas construções ou elementos construtivos, avaliando a forma de propagação das ondas elásticas. (Cóias, 2006)

**Quadro 2.7 Técnicas de propagação de ondas elásticas (Cóias, 2006; Padrão, 2004; Santos, 2012; Gonçalves, 2012; Ribeiro, 2013)**

Técnicas de diagnóstico	Descrição	Objetivos	Vantagens/Desvantagens
<p><b>Ensaio de ultrassons em betão</b></p>  <p><b>Figura 2.10 Ensaio de ultrassons [W8]</b></p>	<p>O ensaio de ultrassons em betão é utilizado para caracterizar <i>in situ</i> elementos estruturais, de forma não destrutiva, através de sons de baixa frequência, de maior energia e menor atenuação que os emitidos por alta frequência.</p>	<p>A informação obtida através do método dos ultrassons pode ser utilizada para obter</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Delaminação/ heterogeneidades: deteção, caracterização.</li> <li>• Fissuras e juntas: deteção, medição e monitorização.</li> <li>• Observação de anomalias.</li> <li>• Propriedades mecânicas: avaliação</li> </ul>	<p><b>Vantagens:</b> Ensaio simples; equipamento portátil e de fácil utilização.</p> <p><b>Desvantagens:</b> Resultados podem ser influenciados por grande número de fatores, e por esse facto torna-se difícil <i>situ</i> em estruturas; pouco conclusivo em elementos muito heterogéneos.</p>
<p><b>Avaliação da integridade de elementos estruturais pelo método do impacto-eco</b></p>  <p><b>Figura 2.11 Método do impacto-eco [W9]</b></p>	<p>É um ensaio não destrutivo, que se realiza <i>in situ</i>. O método consiste em emitir um impacto mecânico sobre a superfície e pulsos são projetados ao longo do material. As ondas refletidas por uma falha interna são captadas por um recetor posicionado na mesma superfície do impacto.</p>	<p>O impacto-eco é usado para determinar e localizar fissuras, delaminações, vazios, nichos em estruturas de betão. Também permite localizar vazios diretamente abaixo de pavimentos de betão.</p>	<p><b>Vantagens:</b> Só necessita o acesso a uma das superfícies da estrutura a ensaiar; está disponível equipamento comercial; capacidade de localização de uma grande variedade de defeitos; não necessita de materiais de acoplamento</p> <p><b>Desvantagens:</b> É necessário um operador com experiência. A instrumentação atual limita os elementos alvos de teste a menos de 2 metros de espessura</p>

#### 2.6.1.4 Técnicas de deteção e análise de vibrações

Os ensaios relativos a este grupo são baseados na monitorização e análise das vibrações de estruturas sujeitas a ações dinâmicas. Possibilitam desta forma, obter dados sobre as características, desempenho e presença de eventuais anomalias nas construções em análise (Cóias 2006). O estudo, de uma maneira geral, pode ser realizado de duas formas:

- Análise de dados da resposta dinâmica da construção a solicitações dinâmicas impostas pela envolvente, como a passagem de viaturas automóveis ou


metropolitano, a operação de equipamentos mecânicos aplicados na estrutura (ar-condicionado, extratores de ar, etc.), realização de obras nas proximidades, entre outras.

- Aplicação de solicitações dinâmicas à construção, produzindo níveis de vibração forçada sem afetar a sua integridade e, dessa forma, analisar a resposta.



### 2.6.1.5 Técnicas de reações químicas e eletroquímicas

Este grupo de ensaios engloba técnicas de diagnóstico de duas naturezas diferentes. As técnicas de natureza química têm como objetivo o estudo das reações químicas que ocorrem nos materiais em estudo, no caso desta dissertação o betão armado, enquanto na outra tipologia de ensaios observam-se fenómenos de natureza eletroquímica que ocorre em elementos da construção, espontaneamente ou em resultado de perturbações introduzidas. No que diz respeito às técnicas de natureza química, são utilizados determinados reagentes que ao entrarem em contacto com determinados materiais possibilitam a identificação ou caracterização dos mesmos ou o seu estado de equilíbrio químico (Cóias, 2006)

**Quadro 2.8 Técnicas de reações químicas e eletroquímicas (Cóias, 2006; Padrão, 2004; Ferreira, 2010; Buono, 2006; Simas, 2007; Gonçalves, 1996; Oliveira, 2008)**

Técnicas de diagnóstico	Descrição	Objetivos	Vantagens/Desvantagens
<p><b>Resistência de polarização - avaliação da taxa de corrosão de armaduras</b></p>  <p><b>Figura 2.12 Resistência de polarização [W10]</b></p>	<p>Em linhas gerais, a metodologia consiste na aplicação de uma reduzida corrente elétrica nos varões e na medição da variação do potencial em relação a um eléctrodo de referência. É um ensaio não destrutivo, que se realiza <i>in situ</i> nas armaduras dos elementos estruturais.</p>	<p>A técnica de resistência de polarização é utilizada para quantificação da taxa de corrosão das armaduras em elementos de betão armado.</p> <p>Aplicável em betões muito carbonatados ou com elevado teor de cloretos, permitindo acompanhar, por monitorização, a evolução do estado da estrutura e avaliar o seu desempenho futuro</p>	<p><b>Vantagens:</b> Possibilita a caracterização do comportamento da corrosão, o acompanhamento da evolução do processo através da velocidade de corrosão, Informa sobre a tendência para a passivação.</p> <p><b>Desvantagens:</b> Apenas os varões mais próximos do emissor de sinal elétrico são polarizados, não permite avaliar a importância da corrosão, influência de correntes não controláveis no local de ensaio, requer técnicos especializados na aplicação do aparelho ao elemento estrutural.</p>

Quadro 2.8 Técnicas de reações químicas e eletroquímicas (continuação)

Técnicas de diagnóstico	Descrição	Objetivos	Vantagens/ Desvantagens
<p>Avaliação da profundidade de carbonatação – Fenolftaleína</p>  <p><i>Figura 2.13 Carote de betão carbonatado [W11]</i></p>	<p>A carbonatação provoca uma redução da alcalinidade, havendo assim redução generalizada do pH, o que torna as armaduras suscetíveis quando atinge valores de pH inferiores a 10,5. Por este facto, utiliza-se uma solução de fenolftaleína neste ensaio, pois adquire coloração típica para valores de pH acima de 8.</p>	<p>Avaliar o estado de carbonatação de elementos de betão armado</p>	<p><b>Vantagens:</b> Baixo Custo; precisão relativamente boa, rapidez de execução.</p> <p><b>Desvantagens:</b> Parcialmente destrutivo, havendo necessidade de reparo após o ensaio, necessita de rapidez desde o momento de extração até se vaporizar a superfície em análise, fornece apenas resultados qualitativos.</p>
<p>Técnica de medição dos potenciais elétricos – deteção da corrosão ativa das armaduras</p>  <p><i>Figura 2.14 Técnica de medição dos potenciais elétricos (Amaral, 2010).</i></p>	<p>Através de medidores de resistividade elétrica (medição dos potenciais elétricos da superfície do betão, relativamente a um eletrodo de referência), 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.</p>	<p>Este tipo de ensaios permite identificar as áreas onde a corrosão está presente ou prestes a verificar-se, antes de os seus efeitos se tornarem visíveis</p>	<p><b>Vantagens:</b> Apresenta rapidez e facilidade de execução, possibilita a delimitação de áreas comprometidas,</p> <p><b>Desvantagens:</b> Ensaio influenciado pelo teor de humidade, teor de sais, temperatura, razão água/cimento, ou seja, grande quantidade de variáveis que interferem na técnica.</p>


Quadro 2.8 Técnicas de reações químicas e eletroquímicas (continuação)

Técnicas de diagnóstico	Descrição	Objetivos	Vantagens/ Desvantagens
<p><b>Determinação do teor de cloretos do betão</b></p>  <p><b>Figura 2.15</b> Aparelho com eléctrodo para medir o teor de cloretos [W12].</p>	<p>É um ensaio, semi-destrutivo que se pode realizar <i>in situ</i> ou em laboratório. As amostras utilizadas neste ensaio são geralmente em forma de pó, retirado do betão, que é posteriormente dissolvidas numa solução ácida normalizada. Depois, utilizando um eléctrodo provido de um sensor de temperatura e um aparelho expressamente concebido para este tipo de ensaios, é possível converter automaticamente a tensão gerada na reação química em percentagem de iões cloreto</p>	<p>O objetivo deste tipo de ensaios é determinar a concentração de cloretos no interior do betão a diferentes profundidades.</p>	<p><b>Vantagens:</b> Custo reduzido e simples. Método pouco destrutivo. Possibilidade de ser executado em campanhas de amostragem extensivas.</p> <p><b>Desvantagens:</b> Necessita de pessoal especializado</p>
<p><b>Medição da resistividade do betão - avaliação do risco de corrosão ativa das armaduras</b></p>  <p><b>Figura 2.16</b> Medição da resistividade do betão [W13].</p>	<p>O método da resistividade elétrica consiste na introdução de uma pequena corrente elétrica na superfície do betão, que é medida no terminal recetor localizado a uma distância finita da fonte. A diferença de potencial é medida entre dois pontos.</p>	<p>Este ensaio serve para medir a resistividade do betão, que é um parâmetro importante para a avaliação da corrosão das armaduras de estruturas de betão armado.</p>	<p><b>Vantagens:</b> Possibilidades de determinar as áreas onde existe corrosão ou onde esta está prestes a ocorrer e apresenta rapidez de leituras.</p> <p><b>Desvantagens:</b> Difícil correlação com outras propriedades correntemente em estudo, sensível ao teor de humidade, teor de sais, temperatura, razão A/C, a interpretação dos resultados requer experiência,</p>

### 2.6.1.6 Técnicas de propagação de radiação eletromagnética

Estas técnicas baseiam-se na medição da variação da radiação à superfície de um elemento. Estes tipos de ensaios regem-se pelo princípio que toda a superfície emite energia sob a forma de energia eletromagnética.

*Quadro 2.9 Técnicas de propagação de radiação eletromagnética (Cóias, 2006; Amaral, 2013; Abreu, 2013; Sousa, 2010.)*

Técnicas de diagnóstico	Descrição	Objetivos	Vantagens/Desvantagens
<p><b>Ensaio termográfico</b></p>  <p><b>Figura 2.17 Câmara termográfica [W14]</b></p>	<p>Técnica não destrutiva, que recorre a utilização de câmaras termográficas para determinar a temperatura à superfície de um elemento de betão <i>in situ</i>, detetando irregularidades na envolvente de um edifício.</p>	<p>Permite detetar fendas, descontinuidades ocultas, heterogeneidades de paredes ou elementos estruturais, erros de construção relativos a pontes térmicas que estejam na origem de infiltrações, fugas de água e/ou calor e ainda identificar o traçado das tubagens e as dimensões de elementos estruturais embebidos em paredes</p>	<p><b>Vantagens:</b> Abrange áreas grandes, Inspeção rápida, resultados fáceis de interpretar.</p> <p><b>Desvantagens:</b> Equipamento caro, necessita de condições climáticas adequadas, variações nos resultados do ensaio consoante condições ambientais, é necessário treino individual.</p>

### 2.6.1.7 Técnicas de efeitos elétricos e magnéticos

Nos ensaios deste grupo tira-se partido das alterações provocadas localmente em campos magnéticos por determinadas componentes da construção ou dos seus elementos. Os ensaios deste grupo, são inerentemente não destrutivos (Cóias, 2006).


**Quadro 2.10 Técnicas de efeitos elétricos e magnéticos (Cóias, 2006; Marques, 2007; Alves, 2009, Amaral, 2013; Gouveia, 2010; Abreu, 2013; Padrão, 2004).**

Técnicas de diagnóstico	Descrição	Objetivos	Vantagens/Desvantagens
<p><b>Deteção de armaduras e avaliação de recobrimento</b></p>  <p><b>Figura 2.18 Pacómetro (Amaral, 2013).</b></p>	<p>É um ensaio não destrutivo, realizado <i>in situ</i>, que na generalidade trata-se de aparelhos alimentados a baterias constituídos por unidade de leitura, com um microprocessador, dois detetores e dois espaçadores com intervalos</p>	<p>Os medidores de detetar a posição e a direção das armaduras, as suas dimensões e recobrimento, em estruturas de betão armado e pré-esforçado, de forma não destrutiva.</p>	<p><b>Vantagens:</b> Aparelho portátil, alimentado a pilhas, não é afetado pela presença de humidade.</p> <p><b>Desvantagens:</b> Leituras incertas em zonas de grande densidade de armaduras, influenciáveis por outros elementos metálicos na área de ensaio</p>
<p><b>Medição de inclinações em estruturas – inclinómetro</b></p>  <p><b>Figura 2.19 Inclinómetro [W16]</b></p>	<p>Esta é uma técnica de monitorização, não destrutiva que se realiza <i>in situ</i>. O princípio utilizado para medir desvios angulares é o do transdutor eletrolítico, que converte alterações da posição angular em variações de resistência elétrica.</p>	<p>Um medidor de inclinação (ou clinómetro) é um instrumento para medir elevação, ângulos de declive ou a inclinação de um objeto em relação à gravidade. É também conhecido como clisímetro, eclímetro, inclinómetro, gradiómetro, indicador de nível, medidor de nível ou declinómetro.</p>	<p><b>Vantagens:</b> Em superfícies horizontais, a leitura pode ser feita em duas direções ortogonais. Um sensor de térmico permite o registo da temperatura ambiente aquando da medição das inclinações</p> <p><b>Desvantagens:</b> Cada equipamento tem a sua própria curva de calibração, estabelecendo a correspondência entre voltagens e inclinações.</p>

### 2.6.1.8 Técnicas hidrodinâmicas

Estas técnicas servem para analisar, de um modo geral, a maneira como a água penetra e se movimenta, no interior dos materiais de construção obedecendo a processos como de absorção, efeito de capilaridade e permeabilidade associada a diferenças de pressão (Cóias, 2006; Abreu, 2013; Ferreira, 2010).

Quadro 2.11 Técnicas hidrodinâmicas (Cóias, 2006; Ferreira, 2000; Sentone, 2011).

Técnicas de diagnóstico	Descrição	Objetivos	Vantagens/ Desvantagens
<p data-bbox="292 353 496 387"><b>Método de Figg</b></p>  <p data-bbox="201 770 592 804"><b>Figura 2.20 Metodo de Figg [W15]</b></p>	<p data-bbox="624 371 863 779">O método de <i>Figg</i> consiste em fazer um furo perpendicular à superfície do betão selado com um dispositivo de borracha através do qual se faz passar uma agulha hipodérmica. É um ensaio semi-destrutivo que se realiza <i>in situ</i> ou em laboratório.</p>	<p data-bbox="895 421 1126 734">Consiste na medição do tempo necessário para o ar penetrar numa pequena cavidade, no betão. Este tempo é uma medida da permeabilidade aparente do betão ao ar.</p>	<p data-bbox="1158 439 1350 528"><b>Vantagens:</b> Fácil execução, leitura imediata.</p> <p data-bbox="1158 562 1398 719"><b>Desvantagens:</b> Alto custo, elevado tempo de preparação, pouco eficiente na avaliação quantitativa.</p>



## **3 MODELO DE FICHA DE TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO**

### **3.1 OBJETIVOS DO CAPÍTULO**

Este capítulo tem como principal objetivo a apresentação e descrição de um modelo de fichas de diagnóstico que possa ser enquadrado posteriormente num catálogo, que seja de fácil utilização e interpretação, e que compile as várias técnicas de diagnósticas usadas em Engenharia Civil. Além da descrição e justificação dos parâmetros escolhidos para o modelo de fichas de diagnóstico será também abordada a estrutura geral que deverá ser utilizada para a elaboração do catálogo em questão.

Na primeira parte deste capítulo será então descrita e justificada a estrutura geral do catálogo bem como dos capítulos que o deverão compor, sendo que numa segunda parte será apresentada a estrutura do modelo proposto descrevendo e justificando os campos que o constituem.

### **3.2 ESTRUTURA DA PROPOSTA DE FICHA**

A proposta de modelo para ficha de técnicas de diagnóstico apresentado nesta dissertação, teve por base os modelos propostos por Abreu (2013) e Machado (2014), ainda que com algumas alterações nos campos propostos, remetendo desta forma para um modelo de ficha para técnicas e ensaios aplicáveis a elementos estruturais de edifícios correntes.

No desenvolvimento da estrutura para as fichas, teve-se como principal objetivo, a condensação e sistematização da informação de maior relevância respeitante às técnicas de diagnóstico a usar em elementos estruturais. Deste modo, cada ficha encontra-se dividida em duas páginas possibilitando uma fácil e mais completa consulta da informação essencial ao funcionamento da técnica de diagnóstico em causa.

Os vários campos e parâmetros respetivos a cada técnica encontram-se dispostos em quadro, o que permite uma disposição mais organizada e detalhada da informação, garantindo que todo o conteúdo informativo seja visível.

No cabeçalho de cada ficha, encontra-se de forma destacada o nome da técnica de diagnóstico em causa, e ao lado deste, um campo respetivo a uma referência numérica que facilite a organização das fichas dentro da estrutura geral do catálogo. Ainda na parte do cabeçalho, o primeiro tópico apresentado, enuncia o grau de destruição da técnica seguida de um tópico que indica se a técnica pode ser usada num elemento estrutural, não estrutural, ou em ambos. De seguida a ficha prossegue com o campo relativo ao local onde o ensaio deve ser realizado (In situ e/ou laboratório), seguido de um quadro, onde, através de caixas de verificação é indicado o tipo de elemento estrutural em que a técnica pode ser utilizada. Justaposto abaixo deste último quadro, encontra-se outro que, recorrendo

também a caixas de verificação, enuncia o princípio de funcionalidade sobre o qual o ensaio em causa assenta.

Relativamente ao corpo da primeira página, encontram-se em primeiro lugar, um campo com o título de “Descrição”, no qual se apresenta de uma forma sumária a descrição da técnica em questão seguido de um campo relativo ao “Equipamento/Material”, onde são apresentadas fotos e informações respeitantes ao equipamento e material necessário ao ensaio em causa. No final da primeira página existem ainda, os campos que descrevem as “Potencialidades” e as “Limitações” da técnica.

Na parte superior da segunda página, encontram-se os campos que dizem respeito ao “Custo” e “Dificuldade”, os quais são classificados de forma qualitativa, seguidos de um quadro que exhibe “Entidades prestadoras”, no qual é apresentado uma pequena lista de entidades competentes que prestem os serviços relativos ao método abordado. Seguidamente, encontra-se uma secção referente a “Incerteza” da técnica, que identifica algumas condicionantes que possam influenciar os resultados esperados, e outra que enuncia os “Documentos normativos” que devem ser respeitados aquando da realização do método. De seguida, é apresentado um tópico com o título de “Procedimento de Ensaio”, no qual são enunciadas as várias etapas que devem ser seguidas para uma correta aplicação do método. Ao lado deste, segue-se um campo sobre a “Expressão de resultados”, no qual é descrito o modo como os resultados do ensaio devem ser apresentados, bem como os processos de registo dos mesmos. Segue-se “Interpretação de resultados”, onde são descritos procedimentos necessários para um correto tratamento e interpretação dos dados respeitantes aos resultados obtidos no ensaio. Por fim, encontra-se uma secção onde se apresentam, caso existam, “Valores de referência” de resultados obtidos em diagnósticos realizados anteriormente, que se socorreram da técnica em causa, ou valores que constem em documentos normativos.

Tendo em conta a estrutura acima descrita, é apresentada nas figuras 3.1 e 3.2 o modelo proposto nesta dissertação, onde nos campos de carácter descritivo, são explicados os intuitos dos mesmos.

<b>Nome do ensaio</b>		Ref. <sup>a</sup>
<u><b>GRAU DE DESTRUIÇÃO DA TÉCNICA:</b></u> <input type="checkbox"/> Destrutiva <input type="checkbox"/> Semi-destrutiva <input type="checkbox"/> Não-destrutiva		<u><b>AVALIAÇÃO DE ELEMENTOS:</b></u> <input type="checkbox"/> Elementos estruturais <input type="checkbox"/> Elementos não estruturais <input type="checkbox"/> <i>In situ</i> <input type="checkbox"/> Laboratório
<u><b>ELEMENTOS ESTRUTURAIS EM QUE PODE SER UTILIZADA:</b></u> <input type="checkbox"/> Pilares <input type="checkbox"/> Vigas <input type="checkbox"/> Lajes <input type="checkbox"/> Paredes resistentes <input type="checkbox"/> Fundações		
<u><b>PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO:</b></u> <input type="checkbox"/> Percepção sensorial <input type="checkbox"/> Propagação de radiação eletromagnética <input type="checkbox"/> Ação mecânica <input type="checkbox"/> Efeitos elétricos e magnéticos <input type="checkbox"/> Propagação de ondas elásticas <input type="checkbox"/> Hidrodinâmica <input type="checkbox"/> Detecção e análise de vibrações <input type="checkbox"/> Higrótermica <input type="checkbox"/> Reações químicas e eletroquímicas <input type="checkbox"/> Monitorização		
<u><b>DESCRIÇÃO:</b></u> <p>Neste campo, é feita de forma sumária, uma descrição da técnica em estudo identificando a natureza da mesma. Ainda neste campo, é possível introduzir também, a fase de inspeção em que este ensaio se pode enquadrar, tendo em conta que se possam tratar de ensaios adequados a inspeções preliminares ou a inspeções complementares.</p>		<u><b>EQUIPAMENTO/MATERIAL NECESSÁRIO:</b></u> <p>Nesta secção da ficha de diagnóstico são exibidas algumas imagens e fotos dos equipamentos e materiais que são usados na realização do ensaio, bem como esquemas de disposição dos acessórios ou dos resultados que possam resultar do ensaio. Este campo é suscetível de variar de ficha para ficha consoante haja a necessidade de exibir pormenores que possam escaparão que se encontra descrito nos restantes campos.</p>
<u><b>POTENCIALIDADES:</b></u> <p>Neste campo, como o próprio nome indica, são enunciadas as principais vantagens deste tipo de ensaio, dando ao utilizador uma ideia geral das suas potencialidades</p>		<u><b>LIMITAÇÕES:</b></u> <p>Em oposição ao parâmetro à esquerda, este campo indica ao utilizador, as principais desvantagens de usar este tipo de ensaio, o que possibilita uma boa comparação entre as várias técnicas e muitas vezes permite a eliminação, ou não, da hipótese de uso da técnica em causa.</p>
Ref. <sup>a</sup> .	PRINCÍPIO UTILIZADO	

Figura 3.1 Proposta de modelo de ficha de técnicas de diagnóstico (frente)

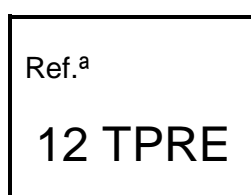
<p><b><u>CUSTO DO ENSAIO:</u></b></p> <p><input type="checkbox"/> Económico    <input type="checkbox"/> Médio    <input type="checkbox"/> Oneroso</p>	<p><b><u>DOCUMENTOS NORMATIVOS:</u></b></p>												
<p><b><u>DIFICULDADE DO ENSAIO:</u></b></p> <p><input type="checkbox"/> Baixa    <input type="checkbox"/> Médio    <input type="checkbox"/> Elevada</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="794 257 890 297">Ref.<sup>a</sup></th> <th data-bbox="898 257 1297 297">Descrição</th> <th data-bbox="1305 257 1390 297">Ano</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>	Ref. <sup>a</sup>	Descrição	Ano									
Ref. <sup>a</sup>	Descrição	Ano											
<p><b><u>INCERTEZA:</u></b></p> <p>Neste campo, dependendo da técnica em questão, são apresentadas algumas condicionantes ou fatores, a ter em conta aquando da realização do ensaio. Fatores esses, que podem influenciar consideravelmente os resultados do ensaio, o que justifica a importancia desta secção.</p>													
<p><b><u>PROCEDIMENTO DE ENSAIO:</u></b></p> <p>Na secção relativa aos procedimentos de ensaio, são descritas as etapas que devem ser tidas em conta aquando da realização do ensaio, para que o utilizador fique previamente ciente dos procedimentos adequados que devem ser considerados. Estes podem depender das normas aplicáveis, de resultados de ensaios anteriores ou mesmo de documentos elaborados especificamente para a técnica de diagnóstico em questão.</p>	<p><b><u>VALORES DE REFERÊNCIA:</u></b></p> <p>Esta secção, tem em conta valores e resultados de ensaios, trabalhos ou estudos anteriores que se possam considerar válidos, para uma possível comparação de resultados obtidos no ensaio da técnica em análise.</p>												
<p><b><u>EXPRESSÃO DOS RESULTADOS:</u></b></p> <p>Este parágrafo diz respeito à maneira como os resultados dos ensaios são apresentados, pelo equipamento que os realizou, como os dados obtidos devem ser registados, bem como o tratamento a dar aos mesmos por parte do pessoal qualificado. Muitas vezes estes resultados podem vir a sofrer algumas conversões, em termos de unidades, para que seja possível uma comparação entre resultados anteriores ou mesmo para uma melhor percepção dos resultados dos ensaios.</p>	<p><b><u>INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS:</u></b></p> <p>Na interpretação dos resultados, são fornecidas informações para uma melhor e mais fácil compreensão dos resultados obtidos, por parte de quem realizou o ensaio, para que seja possível compreender se os objetivos tidos em conta com a realização da técnica foram atingidos.</p>												

**Figura 3.2 Proposta de modelo de ficha de técnicas de diagnóstico (verso)**

### 3.3 ELEMENTOS DO MODELO DE FICHA

#### 3.3.1 Referência

A secção “Referência”, que se encontra no canto superior direito de cada ficha, estabelece uma ordem numérica para todo o conjunto das fichas elaboradas dentro da estrutura geral do catálogo, remetendo ainda para o princípio de utilização da técnica. O número de cada referência remete para a ordem em que a ficha se encontra na organização do catálogo, facilitando assim, a identificação das referências bibliográficas usadas para a elaboração da ficha. Assim, tomando como exemplo o ensaio termográfico, a referência da ficha toma a forma apresentada na Figura 3.3., tendo em conta que este ensaio pertence ao capítulo das técnicas que usam como princípio a propagação de radiação eletromagnética (TPRE), e é a décima segunda ficha deste catálogo.



*Figura 3.3- Exemplo do campo de referência para o ensaio termográfico*

#### 3.3.2 Grau de destruição

Este campo faz referência ao carácter destrutivo da técnica em causa, o que assume extrema importância quando se tratam de elementos estruturais sobre os quais incide a inspeção. Tendo em conta as mais variadas técnicas existentes nos dias presentes e com o avançar da tecnologia, torna-se possível agrupar os ensaios não só em destrutivos e não destrutivos, mas também em semi-destrutivos.

As técnicas de ensaio *in situ* existentes são classificadas em destrutivas, ligeiramente destrutivas ou não destrutivas. Os ensaios não destrutivos são geralmente definidos como não sendo prejudiciais para o desempenho do elemento ou membro ensaiado, pelo que permitem uma avaliação rápida, *in situ* e sem danos, surgindo desta forma como uma alternativa, menos dispendiosa a nível de custo e de tempo, aos ensaios destrutivos. Por outro lado, os ensaios destrutivos, implicam a destruição ou alteração do elemento construtivo/material ensaiado através de alterações permanentes físicas, químicas, mecânicas, dimensionais e requer uma ação de reparação, durante o seu processo de execução. As técnicas semi-destrutivas provocam apenas danos menores na construção, de fácil reparação.

### **3.3.3 Elemento estrutural/ não estrutural**

Este campo assume uma grande importância pois faz referência ao utilizador, se a técnica em questão pode ser usada em elementos estruturais ou não. Tendo em conta um utilizador pouco experiente na técnica em causa, este fica logo informado através desta secção se o ensaio que deseja realizar possa por em causa a segurança estrutural do edifício. Esta informação é útil porque existem diversas técnicas de diagnóstico que podem ser utilizadas tanto em elementos estruturais como em elementos não estruturais.

### **3.3.4 Elementos estruturais em que pode ser aplicada**

Esta secção do modelo de fichas, visa de forma rápida e fácil, informar o utilizador sobre os elementos estruturais em que a técnica em questão pode ser aplicada, recorrendo mais uma vez a caixas de verificação. Nesta secção, são apresentados os elementos estruturais básicos de uma estrutura de um edifício corrente em que a técnica em causa pode ser utilizada, tais como pilares, vigas, lajes ou fundações. Existe ainda uma caixa que diz respeito a paredes estruturais, as quais se podem enquadrar por exemplo quando se trata de um núcleo de escadas ou de elevador de um edifício.

### **3.3.5 Local de ensaio**

Este campo, situado por baixo da referência do ensaio em questão, indica se o ensaio deve ser realizado *in situ* ou se em ambiente laboratorial. É de salientar que existem ensaios que podem ser realizados nos dois locais, daí a importância deste tópico na proposta de ficha.

### **3.3.6 Princípio de funcionamento**

Este parâmetro, diz respeito, como o próprio nome indica, ao princípio de funcionamento sobre o qual a técnica de diagnóstico em causa se baseia, e é baseada nas disciplinas e princípios que lhe servem de base. No modelo de ficha proposto, esta informação é exibida através de pequenas caixas de verificação apresentadas antes dos vários princípios de funcionamento que são apresentados num quadro na primeira folha da ficha.

### **3.3.7 Custo**

Esta secção apresenta um carácter qualitativo, pois o preço das mesmas varia bastante consoante a empresa ou laboratório que se dispõe a realizar os ensaios. Tendo em conta que o custo de cada ensaio pode sofrer flutuações anuais, decidiu-se que este parâmetro deveria apenas fornecer uma

informação qualitativa para que o utilizador possa ter uma ideia da ordem de grandeza do custo do ensaio, ou dos equipamentos, pois caso contrário o catalogo aqui elaborado iria sofrer bastantes desatualizações.

### **3.3.8 Dificuldade**

Em semelhança a secção de “custo”, esta também assume um carácter qualitativo, tendo em conta que se torna de um parâmetro que é de difícil avaliação, e que o mesmo tem em conta diversos fatores, tais como, a duração do ensaio, o número de vezes que deve ser realizado, a preparação necessária do local de inspeção, a especificidade técnica que o ensaio exige, a qualificação necessária do pessoal que deve realizar o ensaio, o elemento construtivo a analisar. Este parâmetro foi tido em conta através de uma análise transversal na investigação das várias técnicas abordadas nesse trabalho.

### **3.3.9 Documentos normativos**

Esta secção, como o próprio nome indica, fornece ao utilizador um conjunto de documentos normativos que devem ser tidos em conta, com extrema importância, na realização do ensaio. Estes documentos servem de base para a aplicação de todas as técnicas de diagnóstico, e os mesmos devem ser respeitados, pois muitos tratam-se de normas aplicadas tanto em Portugal como na União Europeia. Podem ser referentes ao material em causa ou ao princípio de funcionamento do ensaio em questão. Estas normas servem também como suporte de informação acerca da técnica que o utilizador tenha necessidade de saber e a qual não se encontra na ficha.

## **3.4 ELABORAÇÃO DA FICHA DE DIAGNÓSTICO 02 TPRE – ENSAIO TERMOGRÁFICO**

Em jeito de validação do modelo proposto, é aqui tomado como exemplo o ensaio termográfico e apresentada uma breve explicação sobre alguns campos que tomam uma importância relevante, sendo apresentado na página seguinte, o respetivo exemplo de ficha.

A realização desta ficha de ensaio foi feita recorrendo a bibliografia que se apresenta no subcapítulo relativo as referências bibliográficas do catálogo. Em alguns dos parâmetros apresentados nesta ficha, são indicadas as respetivas referências bibliográficas, mas nem sempre são indicadas, tanto nesta como nas restantes fichas, todas as citações ou informações referentes ao ensaio em questão. Isto deve-se ao facto do espaço para preenchimento dos parâmetros de cada técnica de diagnóstico ser bastante diminuto, e também, por uma questão de manter os campos com um aspeto simples, sem informação excessiva, o que permite ao utilizador uma consulta rápida, fácil e simples.

Esta técnica de diagnóstico, assume aqui alguma importância para ser tomada como exemplo, pois, justifica o campo da ficha criado para indicar a que tipo de elemento (estrutural ou não estrutural). É preciso referir que o catálogo de fichas aqui proposto, se destina apenas a elementos estruturais de edifícios correntes, deixando as técnicas para elementos não estruturais para outro trabalho de investigação. Assim sendo, é relevante para o utilizador comum que recorra a este catálogo, saber que, para além dos elementos estruturais em que se pode aplicar o ensaio em análise e que são indicados na ficha, saber também que o respetivo ensaio também pode ser aplicável a elementos não estruturais.

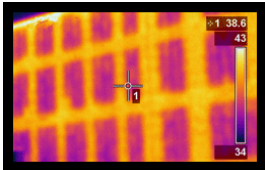
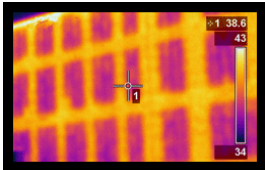
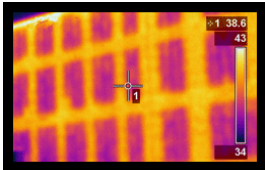
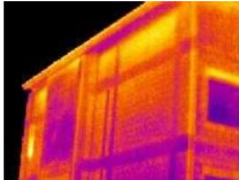
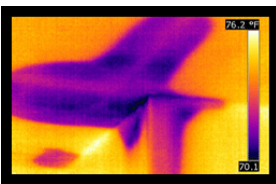
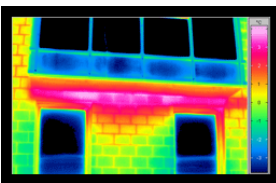
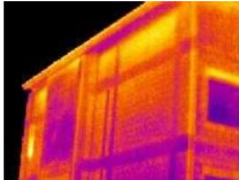
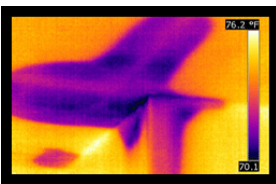
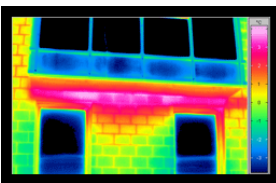
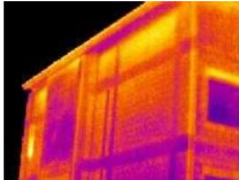
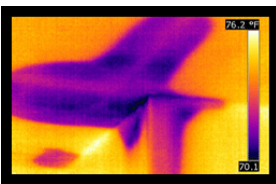
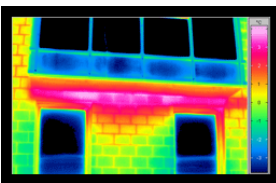
Os campos relativos ao grau de destruição, local de ensaio, avaliação de elementos, elementos estruturais onde pode ser utilizada bem como o princípio de funcionamento do ensaio termográfico, foram preenchidos recorrendo a bibliografia indicada para a respetiva ficha correlacionando com toda a informação descrita no capítulo 2.

No verso da ficha, são apresentadas algumas entidades profissionais credenciadas e responsáveis, com capacidades para realizar ensaios termográficos em edifícios ou outros elementos. São também apresentados os documentos normativos encontrados no decorrer da pesquisa, entre os quais normas portuguesas (NP), brasileiras (ABNT), americanas (ASTM), internacionais entre outras.

Importa ainda referir o campo da “Incerteza” introduzido nesta proposta de ficha, que relativamente ao ensaio termográfico interessa salientar que, sendo esta uma técnica que realiza leituras térmicas, é preciso ter em conta o ambiente envolvente onde é realizado o ensaio, pois os resultados do mesmo podem ser grandemente afetadas pelas condições climatéricas.

O exemplo da ficha para o ensaio termográfico é apresentado na página seguinte.

<b>Ensaio termográfico</b>		Ref. <sup>a</sup> <b>12 TPRE</b>
<b>GRAU DE DESTRUIÇÃO DA TÉCNICA:</b> <input type="checkbox"/> Destrutiva <input type="checkbox"/> Semi-destrutiva <input checked="" type="checkbox"/> Não-destrutiva		<b>AVALIAÇÃO DE ELEMENTOS:</b> <input checked="" type="checkbox"/> Elementos estruturais <input checked="" type="checkbox"/> Elementos não estruturais <input checked="" type="checkbox"/> <i>In situ</i> <input checked="" type="checkbox"/> Laboratório
<b>ELEMENTOS ESTRUTURAIS EM QUE PODE SER UTILIZADA:</b> <input checked="" type="checkbox"/> Pilares <input checked="" type="checkbox"/> Vigas <input checked="" type="checkbox"/> Lajes <input checked="" type="checkbox"/> Paredes resistentes <input checked="" type="checkbox"/> Fundações		
<b>PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO:</b> <input type="checkbox"/> Percepção sensorial <input checked="" type="checkbox"/> Propagação de radiação eletromagnética <input type="checkbox"/> Ação mecânica <input type="checkbox"/> Efeitos elétricos e magnéticos <input type="checkbox"/> Propagação de ondas elásticas <input type="checkbox"/> Hidrodinâmica <input type="checkbox"/> Detecção e análise de vibrações <input type="checkbox"/> Higrótermica <input type="checkbox"/> Reações químicas e eletroquímicas <input type="checkbox"/> Monotorização		
<b>DESCRIÇÃO:</b> Técnica que recorre a utilização de câmaras termográficas para determinar a temperatura à superfície de um elemento de betão, detetando irregularidades na envolvente de um edifício. Permite detetar fendas, descontinuidades ocultas, heterogeneidades de paredes ou elementos estruturais, erros de construção relativos a pontes térmicas que estejam na origem de infiltrações, fugas de água e/ou calor e ainda identificar o traçado das tubagens e as dimensões de elementos estruturais embebidos em paredes. [12.1]		<b>EQUIPAMENTO/MATERIAL NECESSÁRIO:</b>  <i>Figuras 12.1 e 12.2 – Câmaras termográficas [W12.1] [W12.2]</i>
<b>POTENCIALIDADES:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Abrange áreas superiores relativamente a outros métodos</li><li>• Fornece informação da percentagem da área deteriorada na região inspecionada</li><li>• Inspeção rápida</li><li>• Não há contato com a estrutura</li><li>• Resultados fáceis de interpretar</li></ul>		<b>LIMITAÇÕES:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Equipamento caro</li><li>• Necessita de condições climáticas específicas</li><li>• Profundidade da região danificada não pode ser medida</li><li>• Ocorrência de variações nos resultados do ensaio consoante condições ambientais</li><li>• A medida que a profundidade aumenta é mais difícil de detetar qualquer dano existente</li><li>• É necessário treino individual para assegurarmos que os resultados têm significado e são corretamente interpretados</li></ul>
<b>12 TPRE</b>	<b>TÉCNICA DE PROPAGAÇÃO RADIAÇÕES ELETROMAGNÉTICAS</b>	

<p><b>CUSTO DO ENSAIO:</b></p> <p><input type="checkbox"/> Económico    <input checked="" type="checkbox"/> Médio    <input type="checkbox"/> Oneroso</p>	<p><b>DOCUMENTOS NORMATIVOS:</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Ref.<sup>a</sup></th> <th>Descrição</th> <th>Ano</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>EN 13187</td> <td><i>Thermal performance of buildings – Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes – Infrared method</i></td> <td>1998</td> </tr> <tr> <td>ISO TC 135/SC 8</td> <td><i>Infrared thermography for non-destructive testing</i></td> <td>1998</td> </tr> <tr> <td>ASTM C1060</td> <td><i>Standard Practice for Thermographic Inspection of Insulation Installations in Envelope Cavities of Frame Buildings</i></td> <td>2003</td> </tr> <tr> <td>DIN 54190-3</td> <td><i>Non-destructive testing - Thermographic testing - Part 3</i></td> <td>2004</td> </tr> </tbody> </table>	Ref. <sup>a</sup>	Descrição	Ano	EN 13187	<i>Thermal performance of buildings – Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes – Infrared method</i>	1998	ISO TC 135/SC 8	<i>Infrared thermography for non-destructive testing</i>	1998	ASTM C1060	<i>Standard Practice for Thermographic Inspection of Insulation Installations in Envelope Cavities of Frame Buildings</i>	2003	DIN 54190-3	<i>Non-destructive testing - Thermographic testing - Part 3</i>	2004
Ref. <sup>a</sup>	Descrição	Ano														
EN 13187	<i>Thermal performance of buildings – Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes – Infrared method</i>	1998														
ISO TC 135/SC 8	<i>Infrared thermography for non-destructive testing</i>	1998														
ASTM C1060	<i>Standard Practice for Thermographic Inspection of Insulation Installations in Envelope Cavities of Frame Buildings</i>	2003														
DIN 54190-3	<i>Non-destructive testing - Thermographic testing - Part 3</i>	2004														
<p><b>DIFICULDADE DO ENSAIO:</b></p> <p><input type="checkbox"/> Baixa    <input checked="" type="checkbox"/> Médio    <input type="checkbox"/> Elevada</p>	<p><b>VALORES DE REFERÊNCIA:</b></p> <p>Os valores de referência que podem ser usados neste tipo de ensaios para análise de anomalias devem ser retirados de termogramas realizados em zonas que não demonstrem nenhum tipo de anomalia.</p>															
<p><b>PROCEDIMENTO DE ENSAIO:</b></p> <p>O elemento a analisar é previamente aquecido utilizando projetores de luz com potência adequada ou caso sejam elementos exteriores, aproveita-se a radiação solar. Posteriormente o elemento é observado através da camera, registando os resultados obtidos. [12.2]</p>	<p><b>INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS [12.10]:</b></p>															
<p><b>INCERTEZA:</b></p> <p>Fatores que afetam os resultados obtidos [12.3] [12.4]:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Emissividade, que é função da temperatura superficial do elemento, do comprimento de onda da radiação e do ângulo de observação;</li> <li>• Refletividade, resultando da reflexão da radiação emitida pelos objetos na sua vizinhança;</li> <li>• A atenuação atmosférica resultante da absorção da radiação pelos elementos difusos na atmosfera (gases e partículas existentes no seu interior);</li> <li>• O angulo de observação.</li> </ul>	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="783 1043 1098 1234">  </td> <td data-bbox="1098 1043 1382 1234"> <p>Figura 12.4 - Localização de elementos estruturais não aparente em edifícios. [12.11]</p> </td> </tr> </table>		<p>Figura 12.4 - Localização de elementos estruturais não aparente em edifícios. [12.11]</p>													
	<p>Figura 12.4 - Localização de elementos estruturais não aparente em edifícios. [12.11]</p>															
<p><b>EXPRESSÃO DOS RESULTADOS:</b></p> <p>Tendo em conta os vários condicionamentos inerentes a este tipo de ensaios, a expressão dos resultados e a sua análise assume um caracter algo complexo. [12.6]</p> <p>Análise qualitativa – rápida, fácil de interpretação deve ser usada quando se pretende uma abordagem superficial do problema. Devem ser realizados termogramas de referencia em zonas não afetadas do objeto de estudo para comparação com o termograma que retrate a anomalia em causa.</p> <p>Análise quantitativa – através da imagem térmica são calculadas as temperaturas superficiais recorrendo a parâmetros analíticos. Requer maior detalhe e um ensaio mais rigoroso. A informação é processada num computador e posteriormente interpretada</p>	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="783 1247 1098 1451">  </td> <td data-bbox="1098 1247 1382 1451"> <p>Figura 12.5 - Identificação de pontes térmicas em elementos estruturais (vigas e pilares) [12.11]</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="783 1451 1098 1655">  </td> <td data-bbox="1098 1451 1382 1655"> <p>Figura 12.6 - Identificação de zonas de infiltração em paredes e tetos. [12.11]</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="783 1655 1098 1859">  </td> <td data-bbox="1098 1655 1382 1859"> <p>Figura 12.7 - Identificação de pontes térmicas em fachadas de edifícios. [12.11]</p> </td> </tr> </table>		<p>Figura 12.5 - Identificação de pontes térmicas em elementos estruturais (vigas e pilares) [12.11]</p>		<p>Figura 12.6 - Identificação de zonas de infiltração em paredes e tetos. [12.11]</p>		<p>Figura 12.7 - Identificação de pontes térmicas em fachadas de edifícios. [12.11]</p>									
	<p>Figura 12.5 - Identificação de pontes térmicas em elementos estruturais (vigas e pilares) [12.11]</p>															
	<p>Figura 12.6 - Identificação de zonas de infiltração em paredes e tetos. [12.11]</p>															
	<p>Figura 12.7 - Identificação de pontes térmicas em fachadas de edifícios. [12.11]</p>															
<p><b>ENSAIO TÉRMOGRAFICO</b></p>	<p><b>12 TPRE</b></p>															

## **4 ELABORAÇÃO DO CATÁLOGO DE TÉCNICAS**

### **4.1 OBJETIVOS DO CAPÍTULO**

São objetivos deste capítulo, a concepção de um catálogo de fichas de técnicas para elementos estruturais de edifícios correntes, e a apresentação da estrutura do mesmo. Este catálogo será composto por 17 fichas dos ensaios e técnicas de diagnóstico, cuja ficha modelo foi apresentada e descrita no capítulo anterior.

Nos subcapítulos que se apresentam de seguida, é abordada a estrutura e organização do catálogo, bem como, a integração das fichas elaboradas no mesmo. Serão também feitos alguns comentários aos trabalhos que serviram de base de pesquisa a esta dissertação. No subcapítulo imediato será então apresentado o catálogo propriamente dito com as fichas elaboradas, terminando com uma síntese do capítulo.

### **4.2 ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO DO CATÁLOGO**

A maior parte dos métodos de inspeção de anomalias em edifícios têm como fundamento diversas áreas do conhecimento científico e podem ser agrupados tendo em conta princípios da física e da química pelos quais se regem.

Tendo em conta que os métodos em estudo pressupõem um adequado conhecimento das disciplinas e dos princípios que lhes servem de base, optou-se por estruturar o catálogo em diversos capítulos que agrupem as técnicas de diagnóstico que são regidas pelos mesmos princípios. Esta opção tem em conta a possível continuidade da proposta de catálogo aqui apresentada visto que a presente dissertação apenas aborda uma pequena seleção das técnicas de diagnósticas utilizadas em elementos estruturais de edifícios correntes.

Deste modo, será possível para um trabalho posterior, a possibilidade de integração de mais fichas de diagnóstico que abordem os elementos construtivos que não constituam a componente estrutural de um edifício recente, justificando assim a divisão das fichas de diagnóstico em grupos que recorram ao mesmo princípio de funcionamento, os quais já foram enunciados no capítulo anterior.

Assim, de forma a facilitar a sua consulta, o catálogo tem uma estrutura geral organizada nos seguintes princípios de funcionamento:

TPS – Técnicas de perceção sensorial

TAM – Técnicas de ação mecânica

TPOE – Técnicas de propagação de ondas elásticas

TDAV – Técnicas de deteção e análise das vibrações

TRQE – Técnicas de reações químicas e eletroquímicas

TPRE – Técnicas de propagação de radiação eletromagnética

TEEM – Técnicas de efeitos elétricos e magnéticos

THd – Técnicas hidrodinâmicas

THg – Técnicas higrotérmicas

Como já foi referido, as técnicas abordadas nesta dissertação às quais será aplicada a proposta de ficha modelo dizem respeito apenas a elementos estruturais, o que por si só agrupa um variado número de ensaios e técnicas.

A proposta de catálogo aqui desenvolvido engloba então 17 fichas de técnicas de diagnóstico. Estas fichas de diagnóstico tiveram por base um trabalho realizado por Abreu (2013) e, conseqüentemente, outro trabalho de mestrado, realizado por Machado (2014), que complementou o trabalho já realizado pelo primeiro, implementando novas fichas, como novos campos de caracterização. Estas fichas, apresentadas por Machado (2014), apresentam bastantes avanços neste tema, agrupando já as técnicas de diagnóstico apenas para elementos não estruturais de edifícios correntes. O presente trabalho, é assim, o resultado de um estudo e análise cuidada destes dois trabalhos atrás referidos, com propostas de melhorias, tanto a nível de novas fichas de técnicas de diagnóstico, como a nível dos campos das fichas que as caracterizam.

Assim, das 17 fichas elaboradas, 8 foram melhorias feitas às fichas já realizadas por Abreu (2013), e outras 9 são propostas de novas fichas de ensaios e técnicas de diagnóstico.

Desta forma, teve-se como opção uma pesquisa mais aprofundada sobre um reduzido número de técnicas em detrimento da elaboração de um alargado número das mesmas. Assim sendo, as fichas aqui apresentadas deverão ser o mais completas possível, mas que ainda assim, sejam de rápida consulta e fácil interpretação, de modo que possibilitem uma adequada aplicação dos métodos em estudo por parte do pessoal técnico qualificado na inspeção de edifícios.

Sendo este trabalho incidente em técnicas de elementos estruturais, não foi melhorada nenhuma ficha das elaboradas por Machado (2014), pois estas apenas abordam técnicas para elementos não estruturais de edifícios.

A organização do catálogo segue uma numeração sequencial das técnicas, em conjunto com o código de cada categoria correspondente aos tópicos acima enunciados. Esta organização permite assim a integração posterior de mais fichas de técnicas de diagnóstico relativas tanto a elementos estruturais como não estruturais, mas que ainda assim possam ser agrupadas nos mesmos princípios e disciplinas base que servem de estrutura ao catálogo em questão. Ainda assim é preciso referir que existem técnicas que podem ser agrupadas em vários princípios. É o caso do ensaio termográfico, que apesar de ser um ensaio permite ler os resultados através de perceção sensorial (com a visão), é também um ensaio que se socorre da propagação da radiação eletromagnética (radiação infravermelha) para a obtenção de resultados. Deste modo, é uma técnica que foi colocada no catálogo na categoria de técnicas de propagação de radiação eletromagnética.

Antes, das fichas do catálogo, é apresentada uma figura, que esquematiza os elementos estruturais de um edifício corrente (ver Figura 4.1). Esta figura permite ao utilizador uma fácil identificação dos elementos estruturais que está a querer inspecionar.

A pesquisa realizada permitiu desta forma, propor melhorias significativas, ao modelo de ficha proposto por Abreu (2013), tanto a nível de novos parâmetros, como a nível de estrutura e conteúdo informativo. Assim a nível da organização em geral, foram introduzidas as seguintes melhorias:

- A nível da referência de cada ficha, teve-se como opção, uma forma mais simplificada, que indica a sequência numérica da ficha no catálogo, e as iniciais do princípio de funcionamento em que se baseia.
- Na nova proposta de ficha, é apresentado um campo novo, de “Avaliação de elementos”, que serve para o utilizador do catálogo, ao analisar a ficha de um ensaio ou de uma técnica, saber que essa mesma técnica permite a avaliação de que tipo de elementos, estruturais, ou não estruturais. Embora esta dissertação incida apenas sobre técnicas para elementos estruturais, este campo torna-se ainda assim importante, pois permite ao utilizador saber se a mesma técnica se pode aplicar a outros elementos, como elementos não estruturais. Desta forma, é o utilizador fica informado, que poderá procurar a mesma técnica de diagnóstico, também no catálogo de técnicas aplicáveis a elementos não estruturais, como é o exemplo do trabalho realizado por Machado (2014).

- Relativamente ao grau de destruição das técnicas, Abreu (2013), apenas distingue técnicas como sendo destrutivas ou não destrutivas. No entanto, através pesquisa realizada, é possível, introduzir um novo parâmetro de grau de destruição, como “semi-destrutiva”. Este grau, engloba certas técnicas de diagnóstico que implicam a realização de pequenos furos para colheita de material, sendo possível de reparar num momento posterior ao ensaio. Por este facto, a introdução do parâmetro de técnica “semi-destrutiva”, possibilita uma categorização mais precisa da técnica de diagnóstico em causa. São exemplo destas técnicas, o ensaio esclerométrico, com o esclerómetro de *Schmidt*, a determinação de teor de cloretos do betão, a avaliação da profundidade de carbonatação.
- Ainda na estrutura geral do modelo proposto por Abreu (2013), o campo respeitante ao princípio de funcionamento, foi alterado de um campo descritivo para um campo com caixas de seleção. Esta opção torna a leitura da ficha mais fácil e limpa, sendo imediatamente possível identificar o princípio de funcionamento em que a técnica em análise se baseia.
- Sendo o presente trabalho sobre técnicas de elementos estruturais, a nível dos elementos construtivos em que se pode utilizar, é apresentado na ficha, em forma de caixas de verificação, os elementos estruturais em que se podem aplicar a técnica, fazendo a distinção entre, pilares, vigas, lajes, fundações, muros e paredes resistentes.
- Relativamente ao corpo das fichas, nas técnicas já abordadas por Abreu (2013), e que aqui se propõem melhorar, foi adicionada mais informação técnica para as limitações e potencialidades das técnicas. No campo da “Descrição”, manteve-se apenas a informação essencial, para o entendimento da técnica em questão, como no que é que consiste a técnica, o que permite avaliar e os aparelhos utilizados. Foram introduzidas também, melhores imagens que conseguissem transmitir ao utilizador os aparelhos necessários, bem como a sua aplicação nos elementos em estudo. Não sendo o trabalho de Abreu (2013) um trabalho incidente apenas em elementos estruturais, toda a informação relativa a elementos não estruturais foi retirada das fichas.
- No verso da ficha, os campos relativos à “dificuldade” e ao “custo de ensaio”, foram mantidos com carácter qualitativo e não quantitativo, mas optou-se por usar caixas de verificação que se distinguem em três níveis de fácil percepção. Assim, o parâmetro associado à “dificuldade de ensaio”, pode ser distinguido pelos campos de “fácil”, “médio”, e “difícil”. Bem como, o parâmetro associado ao “custo do ensaio”, pode ser distinguido entre, “económico”, “médio” e “oneroso.”

- Ainda no verso da ficha, Abreu (2013), apresentava uma lista de entidades habilitadas a realizar o ensaio em questão. Este campo foi eliminado, pois este trabalho dedica-se a elaboração de um catálogo de técnicas de diagnóstico como um documento de consulta apenas técnica, deixando desta forma, a indicação de tais entidades ao cargo de catálogos de carácter comercial. Além disso, foi também introduzido um parâmetro ainda não abordado, como a “incerteza” da técnica. A introdução deste campo, permite ao utilizador, saber quais as condicionantes que possam por em causa os resultados do ensaio e mesmo influenciá-los.
- Relativamente às técnicas abordadas neste trabalho, ao contrário do que tinha sido previamente elaborado por Abreu (2013), teve-se como opção a separação da técnica do fissurómetro numa ficha especificamente relativa a essa técnica. Isto assume uma maior importância dado que este trabalho se dedica a técnicas em elementos estruturais, e grande parte das anomalias em elementos estruturais traduzem-se em fendas e fissuras. Além de uma ficha exclusiva para o fissurómetro, foi elaborada também uma ficha dedicada ao alongâmetro mecânico, e uma ficha sobre medição de inclinação em estruturas. Estas três técnicas de diagnóstico são inseridas da parte das técnicas de monitorização, e assumem um papel importante na monitorização de anomalias em elementos que possam por em causa a segurança estrutural do edifício

A elaboração de novas fichas, teve incidência especial em técnicas que permitissem a sua aplicação em elementos estruturais de edifícios correntes. Foram elaboradas fichas relacionadas com anomalias de carácter estrutural, tais como, a medição de inclinação em estruturas, a técnica de extração de carotes, o ensaio de carga estático, o método do impacto-eco, a técnica de medição do teor de cloretos, técnica de medição de resistividade do betão, técnica para medição da permeabilidade aparente ao ar e água, técnica de deteção de armaduras, técnica de medição de fendas com alongâmetro, e a técnica de inspeção de fissuras com o fissurómetro. Para a elaboração destas fichas, foi realizada uma pesquisa recorrendo a informação disponibilizada em inúmeros meios, como livros, documentos técnicos, *websites* de venda de equipamentos de ensaio, entre outros.

Relativamente às referências bibliográficas usadas para a elaboração do catálogo, estas são apresentadas em anexo no final desta dissertação. Isto permite que a numeração das referências do catálogo não interfira com a numeração das referências da dissertação, e ainda que a bibliografia do catálogo possa ser consultada à parte da dissertação.

Apresenta-se nas páginas seguintes o catálogo de técnicas de diagnóstico usadas em elementos estruturais de edifícios correntes.

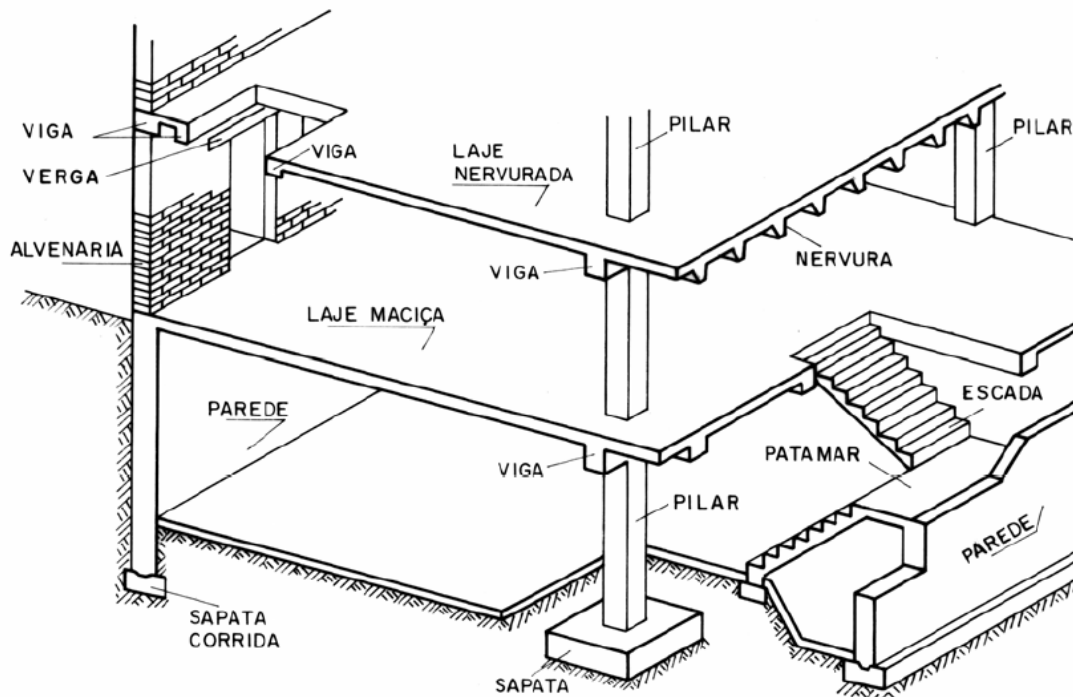
#### 4.2.1 Apresentação do catálogo de técnicas de diagnóstico

Apresenta-se em primeiro lugar, um índice geral das fichas das técnicas de diagnóstico elaboradas, bem como os respetivos capítulos a que pertencem, e as referências que as identificam. Após este índice, apresenta-se uma figura esquemática representativa dos elementos estruturais existentes num edifício corrente.

**Quadro 4.1 Índice do catálogo de fichas de diagnóstico de elementos estruturais de edifícios correntes**

Referência	Técnica de diagnóstico de elementos estruturais	Página
<b>Técnicas de perceção sensorial (TPS)</b>		
1 TPS	Observação boroscópica de fendas	51
2 TPS	Monitorização da abertura de fendas e fissuras com o fissurómetro	53
3 TPS	Medição de deslocamentos em juntas e fissuras com alongâmetro	55
<b>Técnicas de ação mecânica (TAM)</b>		
4 TAM	Ensaio esclerométrico - esclerómetro de <i>Schmidt</i>	57
5 TAM	Extração de carotes de betão para determinação das características de resistência	59
6 TAM	Execução de ensaios de carga estáticos de curta duração em estruturas	61
<b>Técnicas de propagação de ondas elásticas (TPOE)</b>		
7 TPOE	Ensaio de ultrassons em betão	63
8 TPOE	Avaliação da integridade de elementos estruturais pelo método do impacto-eco	65
<b>Técnicas de deteção e análise das vibrações (TDAV)</b>		
<b>Técnicas de reações químicas e eletroquímicas (TRQE)</b>		
9 TRQE	Resistência de polarização - avaliação da taxa de corrosão de armaduras	67
10 TRQE	Avaliação da profundidade de carbonatação - Fenolftaleína	69
11 TRQE	Técnica de medição dos potenciais elétricos – deteção da corrosão ativa das armaduras	71
12 TRQE	Determinação do teor de cloretos do betão	73
13 TRQE	Medição da resistividade do betão - avaliação do risco de corrosão ativa das armaduras	75
<b>Técnicas de propagação de radiação eletromagnética (TPRE)</b>		
14 TPRE	Ensaio termográfico	77
<b>Técnicas de efeitos elétricos e magnéticos (TEEM)</b>		
15 TEEM	Deteção de armaduras e avaliação do seu diâmetro e recobrimento	79
16 TEEM	Medição de inclinações em estruturas - inclinómetro	81
<b>Técnicas hidrodinâmicas (THd)</b>		
17 THd	Método de <i>Figg</i> – avaliação da permeabilidade aparente do betão ao ar e água	83
<b>Técnicas higrotérmicas (THg)</b>		


A Figura 4.1 tem como objetivo principal, prestar o auxílio ao utilizador deste catálogo, na identificação dos elementos estruturais básicos que compõem a estrutura de um edifício corrente. Desta forma, é facilitado ao utilizador, a identificação do elemento de que se suspeita alvo de uma anomalia.

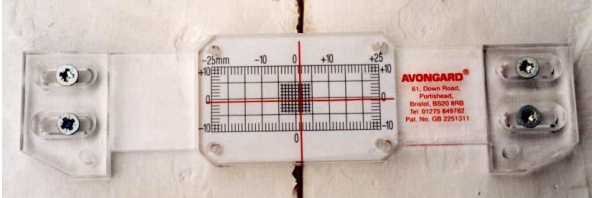
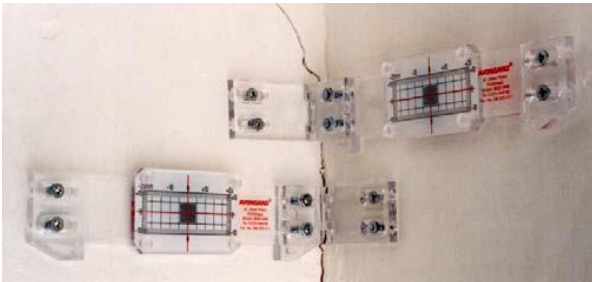


**Figura 4.1 Ilustração esquemática dos elementos construtivos estruturais do edifício corrente (Giongo, 2007).**



<b>OBSERVAÇÃO BOROSCÓPICA DE FENDAS</b>		<b>Ref.<sup>a</sup></b> <b>1 TPS</b>
<b><u>GRAU DE DESTRUIÇÃO DA TÉCNICA:</u></b> <input type="checkbox"/> Destrutiva <input checked="" type="checkbox"/> Semi-destrutiva <input type="checkbox"/> Não-destrutiva	<b><u>AVALIAÇÃO DE ELEMENTOS:</u></b> <input checked="" type="checkbox"/> Elementos estruturais <input checked="" type="checkbox"/> Elementos não estruturais	<b><u>LOCAL:</u></b> <input checked="" type="checkbox"/> <i>In situ</i> <input type="checkbox"/> Laboratório
<b><u>ELEMENTOS ESTRUTURAIS EM QUE PODE SER UTILIZADA:</u></b> <input checked="" type="checkbox"/> Pilares <input checked="" type="checkbox"/> Vigas <input checked="" type="checkbox"/> Lajes <input checked="" type="checkbox"/> Paredes resistentes <input checked="" type="checkbox"/> Fundações <input checked="" type="checkbox"/> Muros		
<b><u>PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO:</u></b> <input checked="" type="checkbox"/> Percepção sensorial <input type="checkbox"/> Ação mecânica <input type="checkbox"/> Propagação de ondas elásticas <input type="checkbox"/> Detecção e análise de vibrações <input type="checkbox"/> Reações químicas e eletroquímicas <input type="checkbox"/> Propagação de radiação eletromagnética <input type="checkbox"/> Efeitos elétricos e magnéticos <input type="checkbox"/> Hidrodinâmica <input type="checkbox"/> Higrótermica		
<b><u>DESCRIÇÃO [1.4]:</u></b> A técnica consiste em realizar furos em pontos de observação definidos, quando não existem no elemento a visionar pontos que permitem o acesso ao seu interior, permitindo a introdução do boroscópio possibilitando o visionamento do interior do elemento.  O aparelho de observação utilizado é constituído por uma haste metálica de observação, delgada, dotada de uma ocular numa das extremidades e de uma objetiva na outra. Necessita apenas de uma pequena fenda onde possa ser inserida a referida haste, de modo a permitir a observação do interior.  O campo observado é iluminado através de um feixe de luz conduzido por cabos de fibras óticas até à haste, alimentado por um pequeno gerador de 250 W de potência.  Este é ensaio é útil para observar os vazios nas zonas mal betonadas de betão armado	<b><u>EQUIPAMENTO/MATERIAL NECESSÁRIO: [1.1]</u></b>  <i>Figura 1.1 - Ótica de haste boroscópica. [1.6]</i> 1 – Ângulo focal 2 – Sistema de focagem 3 – Ocular e cone de ligação para acessórios 4 – Prisma 5 – Objetiva 6 – Lentes 7 – Ligação para iluminação por fibras de vidro  <i>Figura. 1.2 – Observação do interior de uma parede [1.1]</i>	
<b><u>POTENCIALIDADES:</u></b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Portabilidade</li><li>• Resultados imediatos</li><li>• Não necessita de grandes exigências de preparação dos elementos a analisar</li></ul>	<b><u>LIMITAÇÕES:</u></b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Não permite obter informações quantitativas da estrutura</li><li>• Geralmente apenas para anomalias maiores</li><li>• Pode ser mal interpretado em fendas e ranhuras</li></ul>	
<b>1TPS</b>	<b>TÉCNICA DE PERCEÇÃO SENSORIAL</b>	

<p><b><u>CUSTO DO ENSAIO:</u></b>  <input checked="" type="checkbox"/> Económico    <input type="checkbox"/> Médio    <input type="checkbox"/> Oneroso</p>	<p><b><u>DOCUMENTOS NORMATIVOS:</u></b>          Não foram encontrados documentos normativos relacionados com este tipo de ensaio</p>
<p><b><u>DIFICULDADE DO ENSAIO:</u></b>  <input checked="" type="checkbox"/> Baixa    <input type="checkbox"/> Médio    <input type="checkbox"/> Elevada</p>	<p><b><u>INCERTEZA:</u></b>          Este ensaio, sendo de percepção sensorial, depende bastante do utilizador que realiza o ensaio, apesar de ser de baixa dificuldade, recomenda-se que seja realizado por alguém com experiência.</p>
<p><b><u>PROCEDIMENTO DE ENSAIO [1.3] [1.4]:</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• A seleção dos pontos a inspecionar na estrutura deve ser efetuada de uma forma cuidada, excetuando nos casos onde se encontrem facilmente fendas de largura suficiente, de modo a garantir um bom campo de observação.</li> <li>• Uma vez selecionados os ponto de observação torna-se necessário, a menos que se trate de fendas suficientemente largas, praticar um ou mais furos com cerca de 10 mm de diâmetro.</li> <li>• Depois de montado o sistema e feita a ligação à fonte de iluminação, a haste de observação é introduzida no orifício, observando-se visualmente o seu interior.</li> </ul>	<p><b><u>INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS:</u></b>          Os resultados devem ser registados incluindo todos os pormenores observados. Caso existam zonas que possam suscitar duvidas, será necessário uma análise mais aprofundada recorrendo a outros meios de inspeção e ensaio.</p>
<p><b><u>VALORES DE REFERÊNCIA:</u></b>          Neste tipo de ensaio não são aplicados quaisquer valores de referência.</p>	<p>Para sítios de difícil acesso, poderá também ser utilizado um fibroscópio para realizar este tipo de observações, tendo em conta que é um aparelho flexível visto não possuir uma haste mas sim um cabo de fibra ótica. Ainda assim, é preciso referir que a observação com o boroscópio apresenta uma imagem muito mais nítida dos pormenores. [1.2]</p> <p>Atualmente também já é possível realizar este tipo de observações recorrendo a pequenas câmaras de vídeo (videoendoscopia), sendo mesmo possível a gravação de imagens e vídeos. [1.2]</p>
<p><b><u>EXPRESSÃO DOS RESULTADOS:</u></b>          Sendo este ensaio uma técnica de percepção sensorial, e não tendo sido encontrado documentos normalizados, recomenda-se apenas ao utilizador que registe todos os pormenores observados pela ótica do boroscópio. Na figura 1.3 é apresentada uma imagem por uma ótica de um boroscópio.</p>  <p><i>Figura 1.3 – Imagem retirada da câmara de um boroscópio [1.5].</i></p>	<p><b>OBSERVAÇÃO BOROSCÓPICA DE FENDAS</b></p>
<p style="text-align: right;"><b>1 TPS</b></p>	

<b>MONITORIZAÇÃO DA ABERTURA DE FENDAS E FISSURAS COM O FISSURÓMETRO</b>		Ref. <sup>a</sup> <b>2 TPS</b>
<b>GRAU DE DESTRUIÇÃO DA TÉCNICA:</b> <input type="checkbox"/> Destrutiva <input type="checkbox"/> Semi-destrutiva <input checked="" type="checkbox"/> Não-destrutiva	<b>AVALIAÇÃO DE ELEMENTOS:</b> <input checked="" type="checkbox"/> Elementos estruturais <input checked="" type="checkbox"/> Elementos não estruturais	<b>LOCAL:</b> <input checked="" type="checkbox"/> <i>In situ</i> <input type="checkbox"/> Laboratório
<b>ELEMENTOS ESTRUTURAIS EM QUE PODE SER UTILIZADA:</b> <input checked="" type="checkbox"/> Pilares <input checked="" type="checkbox"/> Vigas <input checked="" type="checkbox"/> Lajes <input checked="" type="checkbox"/> Paredes resistentes <input checked="" type="checkbox"/> Fundações <input checked="" type="checkbox"/> Muros		
<b>PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO:</b> <input checked="" type="checkbox"/> Percepção sensorial <input type="checkbox"/> Propagação de radiação eletromagnética <input type="checkbox"/> Ação mecânica <input type="checkbox"/> Efeitos elétricos e magnéticos <input type="checkbox"/> Propagação de ondas elásticas <input type="checkbox"/> Hidrodinâmica <input type="checkbox"/> Detecção e análise de vibrações <input type="checkbox"/> Higrótermica <input type="checkbox"/> Reações químicas e eletroquímicas		
<b>DESCRIÇÃO [2.2] [2.3]:</b> O fissurômetro 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  Existem variados tipos de fissurómetros, nos quais se incluem os fissurómetros de canto, ilustrados na Figura 2.2. Estes fissurómetros permitem a medição da abertura de fendas e fissuras em cantos com qualquer ângulo	<b>EQUIPAMENTO/MATERIAL NECESSÁRIO:</b>   <i>Figura 2.1 – Fissurômetro simples [2.3]</i>   <i>Figura 2.2 – Fissurómetros de canto [2.3]</i>	
<b>POTENCIALIDADES:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Ensaio sem grande complexidade de realização.</li><li>• Equipamento de baixo custo.</li><li>• Reduzida exigência técnica.</li></ul>	<b>LIMITAÇÕES:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Tempo de observação muito longo.</li><li>• Escalas do instrumento.</li><li>• Fissura em locais de difícil acesso para efetuar leituras.</li></ul>	
<b>2 TPS</b>	<b>TÉCNICA DE PERCEÇÃO SENSORIAL</b>	

<p><b><u>CUSTO DO ENSAIO:</u></b>  <input checked="" type="checkbox"/> Económico    <input type="checkbox"/> Médio    <input type="checkbox"/> Oneroso</p>	<p><b><u>DOCUMENTOS NORMATIVOS:</u></b>          Não foram encontrados documentos normativos ou técnicos relativos a fissuração ou para este tipo de ensaio.</p>
<p><b><u>DIFICULDADE DO ENSAIO:</u></b>  <input checked="" type="checkbox"/> Baixa    <input type="checkbox"/> Médio    <input type="checkbox"/> Elevada</p>	<p><b><u>INCERTEZA:</u></b>          Ao se identificar uma fenda numa construção, existe a necessidade de saber se esta se encontra no estado ativo (com movimento) ou passivo (sem movimento). Embora a orientação e a extensão desta fenda possam ser indicadoras da sua natureza, não são formas conclusivas de aferir o movimento relativo. Deste modo, a monitorização ao longo do tempo é determinante nesta questão. Inicialmente, como controlo, utiliza-se o comparador de fissuras ou o medidor ótico (de características mais precisas) para quantificar a abertura inicial existente, passando-se então para uma fase de controlo ao longo do tempo através do recurso do fissurómetro. [2.4]</p>
<p><b><u>PROCEDIMENTO DE ENSAIO [2.2] [2.2] [2.3]:</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Marcar os pontos de medição, desenhando pequenos traços a lápis, perpendiculares às fissuras.</li> <li>2. Fixar cada fissurómetro ao elemento estrutural, de modo que as setas impressas nos extremos fiquem centradas com os traços atrás referidos e que o centro do reticulado coincida com a fissura. O fissurómetro posiciona-se segundo a direção mais próxima da normal à fissura.</li> <li>3. A fixação pode ser feita de diferentes modos, consoante o tipo de suporte. No caso de utilização de cola, esta deve ser a mais rígida possível depois de endurecida e aplicada em camada tão delgada quanto possível.</li> <li>4. Após o completo endurecimento da cola (ou fixação completa através de outro processo), remover cuidadosamente os dois autocolantes, ficando o fissurómetro a medir os movimentos da fissura nesse ponto.</li> <li>5. A partir daqui, devem-se realizar medições regularmente, registando as leituras para cada fissurómetro.</li> </ol> <p><b><u>NOTAS:</u></b>          Os fissurómetros devem ser referenciados por números, e a cada um deve corresponder uma folha de registo das leituras, a ser preenchida em cada sessão de medição.</p>	<p><b><u>INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS [2.2]:</u></b>          A análise de várias leituras ao longo do tempo, permitem ter uma ideia da tendência do movimento para um agravamento, estabilização, recuperação ou variação cíclica. Permite, eventualmente, estabelecer relações de causa-efeito com ações ou ocorrências a que a construção esteja sujeita</p> <p>A integração das leituras dos diferentes fissurómetros permitirá interpretar os movimentos em termos do comportamento dos elementos estruturais envolvidos, detetar eventuais movimentos de corpo rígido e apontar possíveis zonas de cedência da construção.</p>
<p><b><u>VALORES DE REFERÊNCIA:</u></b>          Não existem valores de referência normalizados, pois trata-se de um ensaio de monitorização e análise durante um período de tempo, e por isso varia de edifício para edifício e com o tipo de fissura em causa.</p>	<p><b>2 TPS</b></p>
<p><b><u>EXPRESSÃO DOS RESULTADOS [2.2] [2.7]:</u></b></p> <p>Dada a conceção do fissurómetro, é possível medir com ele duas componentes de deslocamento (segundo a direção longitudinal e transversal), e uma componente de rotação (em torno dum eixo perpendicular ao plano do instrumento)</p> <p>Estas leituras podem ser realizadas, muito facilmente, por simples registo na folha respetiva da posição relativa dos traços de referência e do reticulado, isto é, o registo funciona como uma fotografia da abertura da fissura, aquando da altura da medição</p> <p>Devem ser medidas as aberturas no início da monitorização, com recurso ao comparador de fissuras ou com o medidor ótico, e registar também na folha de registo, para comparação no final da monitorização</p>	<p><b>MEDIÇÃO DE DESLOCAMENTOS EM JUNTAS E FISSURAS COM ALONGÂMETRO</b></p>

<b>MEDIÇÃO DE DESLOCAMENTOS EM JUNTAS E FISSURAS COM ALONGÂMETRO</b>		<b>Ref.<sup>a</sup> 3 TPS</b>
<b><u>GRAU DE DESTRUIÇÃO DA TÉCNICA:</u></b> <input type="checkbox"/> Destrutiva <input type="checkbox"/> Semi-destrutiva <input checked="" type="checkbox"/> Não-destrutiva	<b><u>AValiação DE ELEMENTOS:</u></b> <input checked="" type="checkbox"/> Elementos estruturais <input type="checkbox"/> Elementos não estruturais	<b><u>LOCAL:</u></b> <input checked="" type="checkbox"/> <i>In situ</i> <input type="checkbox"/> Laboratório
<b><u>ELEMENTOS ESTRUTURAIS EM QUE PODE SER UTILIZADA:</u></b> <input checked="" type="checkbox"/> Pilares <input checked="" type="checkbox"/> Vigas <input checked="" type="checkbox"/> Lajes <input checked="" type="checkbox"/> Paredes resistentes <input checked="" type="checkbox"/> Fundações <input checked="" type="checkbox"/> Muros		
<b><u>PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO:</u></b> <input type="checkbox"/> Percepção sensorial <input type="checkbox"/> Ação mecânica <input type="checkbox"/> Propagação de ondas elásticas <input type="checkbox"/> Detecção e análise de vibrações <input type="checkbox"/> Reações químicas e eletroquímicas <input type="checkbox"/> Propagação de radiação eletromagnética <input type="checkbox"/> Efeitos elétricos e magnéticos <input type="checkbox"/> Hidrodinâmica <input type="checkbox"/> Higrótermica		
<b><u>DESCRIÇÃO [3.1] [3.2]:</u></b> O alongômetro é um dispositivo mecânico que se utiliza para medir com precisão pequenos deslocamentos de juntas e fissuras. Este instrumento é capaz de medir as distâncias entre os pontos definidos por cada par de bases circulares metálicas com diâmetro de 5 mm. Usa-se uma barra-padrão (invar), cuja finalidade é corrigir os valores lidos da influência tanto de variações de temperatura no aparelho, como de esforços a que este possa ser submetido durante a sua utilização.  A análise das leituras ao longo do tempo permite ter uma ideia da tendência do movimento para um agravamento, para uma estabilização, para uma recuperação ou para uma variação cíclica. Permitirá eventualmente estabelecer relações de causa-efeito com ações ou ocorrências a que a construção esteja sujeita.	<b><u>EQUIPAMENTO/MATERIAL NECESSÁRIO:</u></b> Existem alguns modelos de alongômetros, no entanto são de se destacar os mais comuns:   <i>a)</i>   <i>b)</i>	
<b><u>POTENCIALIDADES:</u></b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Amovível</li><li>• Bases de leitura fixas rigidamente à estrutura</li><li>• Leitura de forma direta</li></ul>	<b><u>LIMITAÇÕES:</u></b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Ensaio moroso</li><li>• Necessita de constante monitorização</li></ul>	
<b>3 TPS</b>	<b>TÉCNICA DE PERCEÇÃO SENSORIAL</b>	

<p><b>CUSTO DO ENSAIO:</b></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Económico    <input type="checkbox"/> Médio    <input type="checkbox"/> Oneroso</p>	<p><b>DOCUMENTOS NORMATIVOS:</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Ref.<sup>a</sup></th> <th>Descrição</th> <th>Ano</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ACI 224.1R-93</td> <td>Causes, Evaluation and Repair of Cracks in Concrete Structures</td> <td>1998</td> </tr> </tbody> </table>	Ref. <sup>a</sup>	Descrição	Ano	ACI 224.1R-93	Causes, Evaluation and Repair of Cracks in Concrete Structures	1998									
Ref. <sup>a</sup>	Descrição	Ano														
ACI 224.1R-93	Causes, Evaluation and Repair of Cracks in Concrete Structures	1998														
<p><b>DIFICULDADE DO ENSAIO:</b></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Baixa    <input type="checkbox"/> Médio    <input type="checkbox"/> Elevada</p>																
<p><b>PROCEDIMENTO DE ENSAIO [3.2]:</b></p> <p>Após seleção e marcação dos locais onde serão realizadas as medições, são previamente colocados, simetricamente, pares de bases metálicas especialmente concebidas, com 5 mm de diâmetro, coladas ao elemento em estudo</p>	<p><b>INCERTEZA:</b></p> <p>Esta técnica é de monitorização, sendo importante o acompanhamento da mesma ao longo do tempo. Por esse motivo, a incerteza relativa a esta técnica depende em grande parte da capacidade de monitorização do elemento em estudo ao longo do tempo e das possíveis variáveis que possam ocorrer.</p>															
<p><b>VALORES DE REFERÊNCIA:</b></p> <p><i>Tabela 3.1 – Propriedades dos diferentes tipos de alongâmetros [3.3]</i></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Característica</th> <th>Tipo LNEC</th> <th>Staeger</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Sensibilidade</td> <td>0,001 mm</td> <td>0,001 mm</td> </tr> <tr> <td>Comprimento de base</td> <td>200 mm</td> <td>Entre 20 e 100 mm</td> </tr> <tr> <td>Campo de medida</td> <td>±5 mm</td> <td>± 0,5 mm</td> </tr> <tr> <td>Precisão</td> <td>2,5E-06 mm</td> <td>Entre 5E-05 e 5E-05 mm</td> </tr> </tbody> </table>	Característica	Tipo LNEC	Staeger	Sensibilidade	0,001 mm	0,001 mm	Comprimento de base	200 mm	Entre 20 e 100 mm	Campo de medida	±5 mm	± 0,5 mm	Precisão	2,5E-06 mm	Entre 5E-05 e 5E-05 mm	<p><b>INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS:</b></p> <p>A análise das leituras ao longo do tempo permite ter uma ideia da tendência do movimento para um agravamento, para uma estabilização, para uma recuperação ou para uma variação cíclica. Permitirá eventualmente estabelecer relações de causa-efeito com ações ou ocorrências a que a construção esteja sujeita.</p>
Característica	Tipo LNEC	Staeger														
Sensibilidade	0,001 mm	0,001 mm														
Comprimento de base	200 mm	Entre 20 e 100 mm														
Campo de medida	±5 mm	± 0,5 mm														
Precisão	2,5E-06 mm	Entre 5E-05 e 5E-05 mm														
<p><b>EXPRESSÃO DOS RESULTADOS [3.2] [3.3]:</b></p> <p>Para a realização do ensaio, além do referido equipamento (alongâmetro) são necessárias bases metálicas de apoio, e pares de pontos de suporte definidos por essas bases. A base metálica (uma barra de aço) é o elemento que permite uma fixação precisa dos pares de pontos de suporte à estrutura. No entanto, antes de se realizar qualquer leitura, o aparelho necessita de ser calibrado através de uma leitura feita com recurso a uma barra de invar.</p>																
<p><b>MEDIÇÃO DE DESLOCAMENTOS EM JUNTAS E FISSURAS COM ALONGÂMETRO</b> <span style="float: right;"><b>3 TPS</b></span></p>																

<b>ENSAIO ESCLEROMÉTRICO - ESCLERÓMETRO DE SCHMIDT</b>		<b>Ref.<sup>a</sup></b> <b>4 TAM</b>
<b><u>GRAU DE DESTRUIÇÃO DA TÉCNICA:</u></b> <input type="checkbox"/> Destrutiva <input type="checkbox"/> Semi-destrutiva <input checked="" type="checkbox"/> Não-destrutiva	<b><u>AVALIAÇÃO DE ELEMENTOS:</u></b> <input checked="" type="checkbox"/> Elementos estruturais <input checked="" type="checkbox"/> Elementos não estruturais	<b><u>LOCAL:</u></b> <input checked="" type="checkbox"/> <i>In situ</i> <input type="checkbox"/> Laboratório
<b><u>ELEMENTOS ESTRUTURAIS EM QUE PODE SER UTILIZADA:</u></b> <input checked="" type="checkbox"/> Pilares <input checked="" type="checkbox"/> Vigas <input checked="" type="checkbox"/> Lajes <input checked="" type="checkbox"/> Paredes resistentes <input checked="" type="checkbox"/> Fundações <input checked="" type="checkbox"/> Muros		
<b><u>PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO:</u></b> <input type="checkbox"/> Percepção sensorial <input checked="" type="checkbox"/> Ação mecânica <input type="checkbox"/> Propagação de ondas elásticas <input type="checkbox"/> Detecção e análise de vibrações <input type="checkbox"/> Reações químicas e eletroquímicas <input type="checkbox"/> Propagação de radiação eletromagnética <input type="checkbox"/> Efeitos elétricos e magnéticos <input type="checkbox"/> Hidrodinâmica <input type="checkbox"/> Higrótermica		
<b><u>DESCRIÇÃO [4.1] [4.4] [4.3]:</u></b> <p>Este ensaio utiliza o Esclerómetro de Schmidt que mede a dureza superficial do betão a partir do recuo de uma massa incidente após o choque com a superfície a ensaiar. Este recuo é então convertido num valor de resistência à compressão através de ábacos. O ensaio deve realizar-se em superfícies de betão homogéneas, devendo ser efetuada a remoção da camada superficial carbonatada, através de raspagem.</p> <p>O Esclerómetro é um aparelho que permite avaliar <i>in situ</i>, de forma simples e não destrutiva, a dureza superficial do betão, correlacionando com a resistência à compressão do mesmo, determinado em ensaios com provetes cilíndricos.</p> <p>O ensaio é útil para avaliar a homogeneidade do betão, verificar se existe um determinado nível mínimo de resistência e decidir sobre a necessidade de fazer ensaios mais completos. A tensão de rotura à compressão, referente a provetes cúbicos ou cilíndricos, é estimada com base na sua correlação com o índice esclerométrico.</p> <p>Este ensaio não substitui a determinação da tensão de rotura à compressão, através de provetes cilíndricos, em laboratório.</p>	<b><u>EQUIPAMENTO/MATERIAL NECESSÁRIO:</u></b>  <i>Figura 4.1 – Esclerómetro de Schmidt [4.8]</i>  Operador comprime o esclerómetro e traciona a mola  Operador libera a massa para o impacto  Após o impacto a massa repica e retorna <i>Figura 4.4 – Procedimento de ensaio do esclerómetro [4.4]</i>	
<b><u>POTENCIALIDADES:</u></b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Facilidade de transporte;</li><li>• Simplicidade de execução;</li><li>• Rapidez de execução;</li><li>• Danos causados na superfície são praticamente nulos;</li><li>• Ensaio com martelo de Schmidt pode ser aplicado com uma inclinação qualquer, desde que fique perpendicular à superfície ensaiada.</li></ul>	<b><u>LIMITAÇÕES:</u></b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Pouca fiabilidade nos resultados;</li><li>• Resultados representativos em profundidades limitadas (3 a 5 cm);</li><li>• Dificil interpretação dos resultados;</li><li>• Necessidade de se realizarem ensaios complementares;</li><li>• Resultados dependentes da boa calibração do aparelho.</li></ul>	
<b>4 TAM</b>	<b>TÉCNICA DE AÇÃO MECÂNICA</b>	

**CUSTO DO ENSAIO:**
 Económico     Médio     Oneroso
**DIFICULDADE DO ENSAIO:**
 Baixa     Médio     Elevada
**PROCEDIMENTO DE ENSAIO [4.6]:**

1. Escolher zona a ensaiar e tratar esta de forma a ficar lisa, limpa e seca, evitando zonas com carbonatação;
2. Empurrar o aparelho firme e gradualmente contra a superfície para que o êmbolo fique perpendicular a esta, até que ocorra o impacto do martelo. Após o impacto, mantém-se a pressão sobre o aparelho e prime-se o botão que está localizado lateralmente, para bloquear o êmbolo na sua posição retraída. Lê-se o valor na escala, arredondando-se para o número inteiro mais próximo e regista-se esse número.
3. Em cada área de ensaio efetuar no mínimo 9 leituras, e calcular média aritmética, das 9 leituras devem ser excluídas aquelas que difiram em 6 unidades da média. Se existirem mais de duas leituras na situação anterior, ignoram-se as leituras e devem efetuar-se novos ensaios noutra local.
4. Multiplicar o valor obtido pelo fator de correção do aparelho e relacionar esse valor com o ábaco de correlação, para estimar a resistência à compressão do material ensaiado.

**VALORES DE REFERÊNCIA:**

Os valores obtidos pelo esclerómetro para a dureza superficial do betão devem ser comparados com os valores da resistência à compressão do mesmo. Para tal, e como ensaio complementar, devem ser realizados testes em provetes cilíndricos para avaliar o valor de resistência do betão em análise à compressão.

**EXPRESSÃO DOS RESULTADOS:**

A maior parte dos fabricantes fornecem ábacos que relacionam o índice esclerométrico com a resistência à compressão, para cada aparelho em particular.

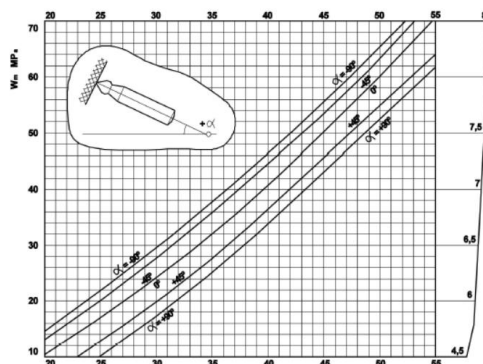


Figura 4.3 – Abaco de correlação do esclerómetro de Schmidt [4.8]

**DOCUMENTOS NORMATIVOS:**

Ref. <sup>a</sup>	Designação	Ano
ASTM C805	Rebound Hammer Determination of Compressive Strength of Hardened Concrete	2013
NP EN 12504 -2	Ensaio do betão nas estruturas. Parte 1	2012
ABNT NBR 7584	Concreto endurecido — Avaliação da dureza superficial pelo esclerómetro de reflexão — Método de ensaio	2012
DIN 1048-2	Testing concrete: testing of hardened concrete	1991
BS 1881- 02	Testing concrete. Recommendations for surface hardness testing by rebound hammer	1986
RILEM NDT 3	Recommendations for testing concrete by hardness methods	1984

**INCERTEZA [4.6]:**

- Irregularidades superficiais poderão alterar os valores do índice esclerométrico;
- Teor de humidade: Provetes testados em condições saturadas mostram índices esclerométrico mais baixos do que os dos provetes secos ao ar;
- Tipo de cimento: quanto maior for a resistência da tipologia de cimento introduzida no betão, maior será o índice esclerométrico obtido do mesmo;
- Carbonatação da superfície do betão: Valores de um betão carbonatado podem ser 50% superiores;
- Tipo de agregado: agregados grossos podem intensificar os valores esclerométrico;
- Movimento da peça de betão a ensaiar: alvo de ensaio terá que pertencer a uma estrutura fixa, ou no caso de provetes, ter-se-á que providenciar.



**INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS:**

A interpretação dos resultados nem sempre é fácil, pois são inúmeros os fatores que influenciam o ensaio [4.3].


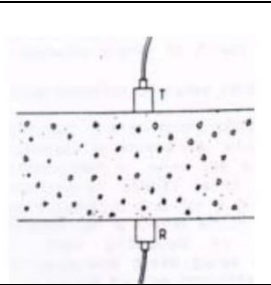
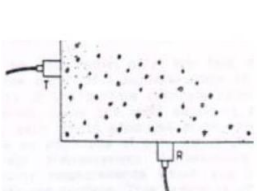
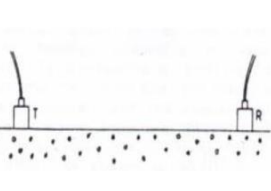
É imprescindível a consciencialização de que esta avaliação é apenas qualitativa. Assim, de modo a poder-se retirar conclusões mais consistentes é necessário complementar esta técnica com outros ensaios como por exemplo o ensaio de ultrassons e a recolha de amostras para análise da resistência à compressão [4.2].

<b>EXTRACÇÃO DE CAROTES DE BETÃO PARA DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTÊNCIA</b>		<b>Ref.<sup>a</sup> 5 TAM</b>
<b><u>GRAU DE DESTRUIÇÃO DA TÉCNICA:</u></b> <input checked="" type="checkbox"/> Destrutiva <input type="checkbox"/> Semi-destrutiva <input type="checkbox"/> Não-destrutiva	<b><u>AVALIAÇÃO DE ELEMENTOS:</u></b> <input checked="" type="checkbox"/> Elementos estruturais <input type="checkbox"/> Elementos não estruturais	<b><u>LOCAL:</u></b> <input checked="" type="checkbox"/> <i>In situ</i> <input type="checkbox"/> Laboratório
<b><u>ELEMENTOS ESTRUTURAIS EM QUE PODE SER UTILIZADA:</u></b> <input checked="" type="checkbox"/> Pilares <input checked="" type="checkbox"/> Vigas <input checked="" type="checkbox"/> Lajes <input checked="" type="checkbox"/> Paredes resistentes <input checked="" type="checkbox"/> Fundações <input checked="" type="checkbox"/> Muros		
<b><u>PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO:</u></b> <input type="checkbox"/> Percepção sensorial <input checked="" type="checkbox"/> Ação mecânica <input type="checkbox"/> Propagação de ondas elásticas <input type="checkbox"/> Detecção e análise de vibrações <input type="checkbox"/> Reações químicas e eletroquímicas <input type="checkbox"/> Propagação de radiação eletromagnética <input type="checkbox"/> Efeitos elétricos e magnéticos <input type="checkbox"/> Hidrodinâmica <input type="checkbox"/> Higrótermica		
<b><u>DESCRIÇÃO [5.1] [5.2]:</u></b> A extração de carotes, é a forma habitual de recolha de amostras para determinar as características de resistência de betões já aplicados em obra. Servem para proceder a ensaios de rutura à compressão.  Esta técnica reúne condições para não alterar significativamente a estrutura em estudo. No entanto, antes de carotear é essencial que se considere cuidadosamente o objetivo do ensaio e da interpretação de resultados, tendo em conta as implicações estruturais resultantes da extração de carotes.  O equipamento é composto por uma carotadora, que á mantida rigidamente posicionada durante a carotagem. A decisão sobre o comprimento duma carote implica ter em atenção: o diâmetro da carote, o método possível de preparação da mesma e se a comparação irá ser feita com a resistência de um provete cúbico ou cilíndrico.	<b><u>EQUIPAMENTO/MATERIAL NECESSÁRIO:</u></b>  <i>Figura 5.1 – Caroteadora e exemplo de extração de carote [5.3]</i>   <i>Figura 5.2 – Extração de carote numa viga, com localização prévia da malha de armaduras. [5.2]</i>	
<b><u>POTENCIALIDADES:</u></b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Avaliação das propriedades mecânicas e das características de resistência do betão;</li><li>• Permite inspeção visual do betão da estrutura.</li></ul>	<b><u>LIMITAÇÕES:</u></b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Elevado custo;</li><li>• A componente estrutural limita a extensão e o número de amostras a retirar.</li></ul>	
<b>5 TAM</b>	<b>TÉCNICA DE AÇÃO MECÂNICA</b>	


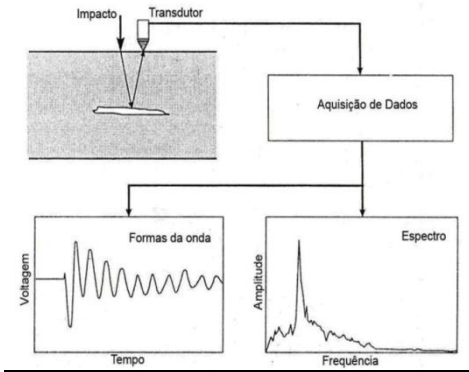
<p><b>CUSTO DO ENSAIO:</b></p> <p><input type="checkbox"/> Económico    <input type="checkbox"/> Médio    <input checked="" type="checkbox"/> Oneroso</p>	<p><b>DOCUMENTOS NORMATIVOS:</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Ref.<sup>a</sup></th> <th>Descrição</th> <th>Ano</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E 226 LNEC</td> <td>Betão. Ensaio de compressão</td> <td>1968</td> </tr> <tr> <td>EN 12504-1</td> <td>Carotes de betão. Extração, exame e ensaio de compressão</td> <td>2009</td> </tr> </tbody> </table>	Ref. <sup>a</sup>	Descrição	Ano	E 226 LNEC	Betão. Ensaio de compressão	1968	EN 12504-1	Carotes de betão. Extração, exame e ensaio de compressão	2009
Ref. <sup>a</sup>	Descrição	Ano								
E 226 LNEC	Betão. Ensaio de compressão	1968								
EN 12504-1	Carotes de betão. Extração, exame e ensaio de compressão	2009								
<p><b>DIFICULDADE DO ENSAIO:</b></p> <p><input type="checkbox"/> Baixa    <input type="checkbox"/> Médio    <input checked="" type="checkbox"/> Elevada</p>	<p><b>INCERTEZA:</b></p> <p>Fatores que influenciam os resultados do teste:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Características materiais <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Teor de humidade</li> <li>○ Vazios</li> <li>○ Condições de cura</li> <li>○ Relação A/C</li> </ul> </li> <li>• Variáveis de teste <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Relação comprimento/ diâmetro da amostra</li> <li>○ Tipo de elemento estrutural</li> <li>○ Localização da amostra no elemento (Zonas mais ou menos esforçadas)</li> <li>○ Existência de armaduras</li> </ul> </li> </ul>									
<p><b>PROCEDIMENTO DE ENSAIO [5.2]:</b></p> <p>A recolha das carotes é feita de forma a não danificar as armaduras, normalmente existentes no interior do elemento a estudar.</p> <p>Usa-se, para tal, um detetor de armaduras do tipo "Covermeter", seleccionando o local de extração no espaço entre os varões.</p> <p>As amostras recolhidas são identificadas, e a sua localização, referenciada num desenho esquemático.</p> <p>Posteriormente, os seus topos são cortados e retificados em laboratório, de tal forma que os provetes fiquem com a altura igual ao diâmetro (normalmente, 100 mm).</p>	<p><b>INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS [5.2]:</b></p> <p>Para normalizar os valores da tensão de rotura das carotes (<math>F_{car}</math>) com diferentes dimensões, para o provete cilíndrico-padrão (<math>F_{cil}</math>), com <math>\phi = h</math>, é necessário efetuar a seguinte correção para carotes extraídas horizontalmente:</p> $F_{cil} = \frac{2,5}{1,5 + \frac{\phi}{h}} \times F_{car}$ <p>A resistência média do betão referida a cubos pode ser estimada por:</p> $f_{cm} = f_{cm,ci} \times \left(1 \pm \frac{12\%}{\sqrt{n}}\right),$ <p>em que:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>f_{cm}</math> - Tensão média;</li> <li>• <math>f_{cm,ci}</math> - Tensão média dos provetes cilíndricos;</li> <li>• <math>n</math> - número de provetes;</li> </ul> <p>Tendo em conta que o valor da tensão de rotura dum provete cilíndrico com <math>f = h</math> é idêntico ao da tensão de rotura obtido sobre um provete cúbico, a resistência média de referência em moldes standardizados do betão pode ser estimada por:</p> $f_{cm(standart)} = f_{cm} \times 1,25$ <p>Admitindo-se que a distribuição dos valores segue a lei normal, o valor característico pode ser obtido através de:</p> $f_{ck} = f_{cm} \times (1 - 1,64 \times \delta)$ <p><math>\delta</math> - Denomina-se coeficiente de variação e resulta da razão entre os valores do desvio-padrão e da média dos resultados obtidos nos ensaios.</p>									
<p><b>VALORES DE REFERÊNCIA:</b></p> <p>Os ensaios de rotura à compressão simples dos provetes devem ser realizados em laboratório, de acordo com a Norma E 226 do LNEC.</p>	<p><b>EXTRACÇÃO DE CAROTES DE BETÃO PARA DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTÊNCIA</b></p>									
<p><b>EXPRESSÃO DOS RESULTADOS:</b></p> <p>Tendo em conta que este é um ensaio destrutivo, só ser usado caso a situação o exija. Ainda assim, antes da realização deste ensaio, é bastante importante que se proceda à deteção de armaduras que se possam encontrar embebidas no elemento estrutural. Para tal efeito deve-se realizar sempre um mapeamento das armaduras recorrendo a um medidor de recobrimento.</p> <p>Esta técnica resume-se apenas à extração de amostras de betão de elementos estruturais de um edifício. Por si só não traduz nenhum resultado conclusivo, servindo apenas como técnica de preparação para outros ensaios posteriores, tais como:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ensaio à compressão de carotes;</li> <li>• Avaliação da profundidade de carbonatação;</li> <li>• Avaliação da porosidade.</li> </ul>	<p><b>5 TAM</b></p>									

<b>EXECUÇÃO DE ENSAIOS DE CARGA ESTÁTICOS DE CURTA DURAÇÃO EM ESTRUTURAS</b>		<b>Ref.<sup>a</sup> 6 TAM</b>
<b><u>GRAU DE DESTRUIÇÃO DA TÉCNICA:</u></b> <input type="checkbox"/> Destrutiva <input type="checkbox"/> Semi-destrutiva <input checked="" type="checkbox"/> Não-destrutiva	<b><u>AVALIAÇÃO DE ELEMENTOS:</u></b> <input checked="" type="checkbox"/> Elementos estruturais <input type="checkbox"/> Elementos não estruturais	<b><u>LOCAL:</u></b> <input checked="" type="checkbox"/> <i>In situ</i> <input type="checkbox"/> Laboratório
<b><u>ELEMENTOS ESTRUTURAIS EM QUE PODE SER UTILIZADA:</u></b> <input checked="" type="checkbox"/> Pilares <input checked="" type="checkbox"/> Vigas <input checked="" type="checkbox"/> Lajes <input checked="" type="checkbox"/> Paredes resistentes <input type="checkbox"/> Fundações <input type="checkbox"/> Muros		
<b><u>PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO:</u></b> <input type="checkbox"/> Percepção sensorial <input checked="" type="checkbox"/> Ação mecânica <input type="checkbox"/> Propagação de ondas elásticas <input type="checkbox"/> Detecção e análise de vibrações <input type="checkbox"/> Reações químicas e eletroquímicas <input type="checkbox"/> Propagação de radiação eletromagnética <input type="checkbox"/> Efeitos elétricos e magnéticos <input type="checkbox"/> Hidrodinâmica <input type="checkbox"/> Higrótermica		
<b><u>DESCRIÇÃO [6.1] [6.2]:</u></b> Os ensaios de carga estáticos de curta duração, em estruturas, substituem os ensaios <i>in situ</i> , quando estes não são adequados para determinar a resistência de uma estrutura.  O objetivo deste teste, é avaliar a forma como as componentes de um sistema estrutural reagem à medida que se vão incrementando, gradualmente as cargas.  Pretende-se a avaliação dos estados limites de uma estrutura.  Os ensaios deste tipo permitem recolher informação quanto a: <ul style="list-style-type: none"><li>• Deslocamentos verticais.</li><li>• Assentamento dos apoios, em particular para os elementos estruturais em que se querem medir deslocamentos verticais.</li><li>• Rotações dos apoios.</li><li>• Formação de fissuras e abertura de fissuras existentes, em cada fase dos ensaios.</li><li>• Extensões em alguns pontos significativos à superfície dos elementos estruturais.</li></ul>	<b><u>EQUIPAMENTO/MATERIAL NECESSÁRIO: [6.1]</u></b> a) Sistema de carga <ul style="list-style-type: none"><li>• Recipientes de água (bidões), com capacidade de cerca de 200 l, ou sacos de areia ou cimento em quantidade suficiente para simularem a carga de ensaio.</li><li>• Bombas (para bombear a água dos bidões).</li></ul> b) Sistema de leitura <ul style="list-style-type: none"><li>• Alongâmetros mecânicos adequados</li><li>• Defletómetros mecânicos de centésimos com campo de medida adequados.</li><li>• Prumos metálicos extensíveis, com tripés</li><li>• Inclínometro para medir rotações dos apoios.</li><li>• Bases inclinométricas.</li><li>• Régua graduada em milímetros.</li><li>• Medidor ótico de fissuras.</li></ul>	 <i>Figura 6.1 – Sistema de carga constituído por bidões de água durante fase de carga [6.1]</i>
 <i>Figura 6.2 – Sistema de carga constituído por bidões de água durante fase de carga [6.1]</i>		
<b><u>POTENCIALIDADES:</u></b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Consegue-se acompanhar a evolução das deformações e realizar o ensaio com a necessária segurança.</li></ul>	<b><u>LIMITAÇÕES:</u></b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Ensaio moroso</li><li>• Custo elevado</li></ul>	
<b>6 TAM</b>	<b>TÉCNICA DE AÇÃO MECANICA</b>	

<p><b>CUSTO DO ENSAIO:</b></p> <p><input type="checkbox"/> Económico    <input type="checkbox"/> Médio    <input checked="" type="checkbox"/> Oneroso</p>	<p><b>DOCUMENTOS NORMATIVOS:</b></p>																
<p><b>DIFICULDADE DO ENSAIO:</b></p> <p><input type="checkbox"/> Baixa    <input type="checkbox"/> Médio    <input checked="" type="checkbox"/> Elevada</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Ref.<sup>a</sup></th> <th>Descrição</th> <th>Ano</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ACI</td> <td><i>Concrete innovation appraisal service (CIAS) "Guidelines for rapid load testing of concrete structural members", CIAS Report 00-1, American Concrete Institute</i></td> <td>2001</td> </tr> <tr> <td>ACI 437R-03</td> <td><i>Strength evaluation of existing concrete buildings</i></td> <td>2003</td> </tr> <tr> <td>ACI 318-02</td> <td><i>Building code requirements for Structural concrete</i></td> <td>2002</td> </tr> <tr> <td>RILEM 20-TBS</td> <td><i>Specific recommendations for the in situ load testing of dwelling and of public and industrial building structures</i></td> <td>1977</td> </tr> </tbody> </table>		Ref. <sup>a</sup>	Descrição	Ano	ACI	<i>Concrete innovation appraisal service (CIAS) "Guidelines for rapid load testing of concrete structural members", CIAS Report 00-1, American Concrete Institute</i>	2001	ACI 437R-03	<i>Strength evaluation of existing concrete buildings</i>	2003	ACI 318-02	<i>Building code requirements for Structural concrete</i>	2002	RILEM 20-TBS	<i>Specific recommendations for the in situ load testing of dwelling and of public and industrial building structures</i>	1977
Ref. <sup>a</sup>	Descrição	Ano															
ACI	<i>Concrete innovation appraisal service (CIAS) "Guidelines for rapid load testing of concrete structural members", CIAS Report 00-1, American Concrete Institute</i>	2001															
ACI 437R-03	<i>Strength evaluation of existing concrete buildings</i>	2003															
ACI 318-02	<i>Building code requirements for Structural concrete</i>	2002															
RILEM 20-TBS	<i>Specific recommendations for the in situ load testing of dwelling and of public and industrial building structures</i>	1977															
<p><b>PROCEDIMENTO DE ENSAIO [6.1 [6.2]:</b></p> <p>Antes da realização do ensaio, faz-se, se necessário, a marcação das fissuras existentes, por forma a permitir a referenciação de novas fissuras e o acompanhamento da evolução das existentes. Em seguida faz-se o carregamento da zona a ensaiar, por fases. O incremento de carga é, desejavelmente, uniforme.</p> <p>Nas lajes e nas vigas, consiste, essencialmente, em aplicar uma carga uniformemente distribuída.</p> <p>No fim de cada fase, são feitas tantas leituras quanto as necessárias até se atingir a estabilização das deformações observadas. A duração do intervalo e o número de leituras dependem do tipo de estrutura, dos materiais constituintes, dos patamares de carga.</p> <p>Faz-se, em seguida, a descarga total da zona ensaiada por fases ou numa fase, até se repor a situação inicial do ensaio (zona sem carga).</p> <p>As leituras serão registadas nas folhas de registo de leituras correspondentes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Deslocamentos verticais.</li> <li>• Rotações.</li> <li>• Abertura de fendas.</li> </ul> <p>Executando o ensaio por fases durante a carga, consegue-se acompanhar a evolução das deformações e realizar o ensaio com a necessária segurança.</p>	<p><b>INCERTEZA:</b></p> <p>Para se obter o máximo proveito da execução deste ensaio é conveniente proceder à elaboração de um plano de observações que deve conter a seguinte informação:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Definição geométrica da estrutura a ensaiar</li> <li>• Propriedades mecânicas dos materiais utilizados</li> <li>• Definição das cargas a utilizar nos ensaios</li> <li>• Definição das grandezas a medir para a montagem adequada dos aparelhos de leitura e análise dos resultados</li> <li>• Procedimento geral da realização dos ensaios, pormenores de certas montagens, precauções de segurança, interrupções da utilização da estrutura.</li> </ul>																
<p><b>VALORES DE REFERÊNCIA:</b></p> <p>Não foram encontrados nenhuns valores de referência relacionados com este tipo de ensaio.</p>	<p><b>INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS [6.2]:</b></p> <p>No final do ensaio de carga, segundo a Norma Espanhola UNE 7.457, podem ocorrer duas situações:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se a deformação residual for superior a 25% da flecha obtida no ensaio este deve repetir-se.</li> <li>• Se a deformação residual for inferior a 25% considera-se válidos os resultados obtidos.</li> </ul> <p>Estes procedimentos aplicam-se em estruturas com funcionamento predominantemente elástico, como o caso de estruturas de betão armado.</p>																
<p><b>EXPRESSÃO DOS RESULTADOS:</b></p> <p>Os resultados são apresentados sob a forma de tabelas ou graficamente, por forma a poderem distinguir-se as várias fases dos ensaios. Caso exista deformação residual em algum dos pontos no final dos ensaios, esta é apresentada nas tabelas e gráficos.</p>	<p><b>EXECUÇÃO DE ENSAIOS DE CARGA ESTÁTICOS DE CURTA DURAÇÃO EM ESTRUTURAS</b></p>																
		<p><b>6 TAM</b></p>															

<b>ENSAIO DE ULTRASSONS EM BETÃO</b>		<b>Ref.<sup>a</sup></b> <b>7 TPOE</b>
<b><u>GRAU DE DESTRUIÇÃO DA TÉCNICA:</u></b> <input type="checkbox"/> Destrutiva <input type="checkbox"/> Semi-destrutiva <input checked="" type="checkbox"/> Não-destrutiva	<b><u>AVALIAÇÃO DE ELEMENTOS:</u></b> <input checked="" type="checkbox"/> Elementos estruturais <input type="checkbox"/> Elementos não estruturais	<b><u>LOCAL:</u></b> <input checked="" type="checkbox"/> <i>In situ</i> <input type="checkbox"/> Laboratório
<b><u>ELEMENTOS ESTRUTURAIS EM QUE PODE SER UTILIZADA:</u></b> <input checked="" type="checkbox"/> Pilares <input checked="" type="checkbox"/> Vigas <input checked="" type="checkbox"/> Lajes <input checked="" type="checkbox"/> Paredes resistentes <input checked="" type="checkbox"/> Fundações <input checked="" type="checkbox"/> Muros		
<b><u>PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO:</u></b> <input type="checkbox"/> Percepção sensorial <input type="checkbox"/> Ação mecânica <input type="checkbox"/> Propagação de ondas elásticas <input type="checkbox"/> Detecção e análise de vibrações <input type="checkbox"/> Reações químicas e eletroquímicas <input checked="" type="checkbox"/> Propagação de radiação eletromagnética <input type="checkbox"/> Efeitos elétricos e magnéticos <input type="checkbox"/> Hidrodinâmica <input type="checkbox"/> Higrótermica		
<b><u>DESCRIÇÃO:</u></b> O ensaio de ultrassons em betão é utilizado para caracterizar elementos estruturais através de sons de baixa frequência, de maior energia e menor atenuação que os emitidos por alta frequência. A partir de impulsos ultrassônicos, é possível avaliar a uniformidade do elemento estrutural, delimitando <i>in situ</i> zonas de qualidade inferior ou deterioradas e estimar as propriedades mecânicas desses mesmos elementos [7.1]. A informação obtida através do método dos ultrassons pode ser utilizada para obter [7.2]: <ul style="list-style-type: none"><li>• Delaminação/heterogeneidades: deteção, caracterização.</li><li>• Fendas, fissuras e juntas: deteção, medição e monitorização.</li><li>• Observação de anomalias.</li><li>• Propriedades mecânicas: avaliação.</li></ul>	<b><u>EQUIPAMENTO/MATERIAL NECESSÁRIO:</u></b>	
		
		
	<i>Figura 7.1 - Equipamento para ensaio de ultrassom [7.5]</i>	<i>Figura 7.2 - Esquema representativo do método direto [7.4]</i>
	<i>Figura 7.3 - Esquema representativo do método semi-direto [7.4]</i>	<i>Figura 7.4 - Esquema representativo do método indireto [7.4]</i>
<b><u>POTENCIALIDADES [7.5]:</u></b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Possibilidade de conhecer a uniformidade do elemento estrutural e identificar defeitos;</li><li>• Possibilidade de detetar modificações das propriedades do betão ao longo do tempo;</li><li>• Procedimento de ensaio simples;</li><li>• Aparelho de teste fornece diretamente e de forma expedita os resultados da medição;</li><li>• Equipamento portátil e de fácil utilização, tanto <i>in situ</i> como em laboratório;</li><li>• Ensaio completamente não-destrutivo, pelo que é possível realizar vários testes sobre o mesmo provete ou elemento estrutural, sem deterioração e num curto espaço de tempo.</li></ul>	<b><u>LIMITAÇÕES [7.5]:</u></b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Resultados podem ser influenciados por grande número de fatores, e por esse facto torna-se difícil definir corretamente a exatidão deste ensaio.</li><li>• Necessidade de estabelecimento de correlações prévias através de ensaios em laboratório, em betões de características conhecidas, antes de se realizarem medições <i>in situ</i> em estruturas;</li><li>• Pouco conclusivo em elementos muito heterogêneos;</li><li>• Custo elevado em grandes áreas de revestimentos.</li></ul>	
<b>7 TPOE</b>	<b>TÉCNICA DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS ELÁSTICAS</b>	

<p><b>CUSTO DO ENSAIO:</b></p> <input checked="" type="checkbox"/> Económico <input checked="" type="checkbox"/> Médio <input type="checkbox"/> Oneroso	<p><b>DOCUMENTOS NORMATIVOS:</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Ref.<sup>a</sup></th> <th>Descrição</th> <th>Ano</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ABNT NBR 8802</td> <td>Concreto endurecido – determinação da velocidade de propagação de onda ultrassónica</td> <td>2013</td> </tr> <tr> <td>ASTM C 597</td> <td>Standard test method for pulse velocity through concrete</td> <td>2009</td> </tr> <tr> <td>ISO 1920-7</td> <td>Testing of concrete – Part 7: Non-destructive tests on hardened concrete</td> <td>2007</td> </tr> <tr> <td>NP EN 12504-4</td> <td>Ensaio do betão nas estruturas. Parte 4: Determinação da velocidade de propagação dos ultrassons</td> <td>2004</td> </tr> <tr> <td>BS 1881-203</td> <td>Testing concrete. Recommendations for measurement of velocity of ultrasonic pulses in concrete</td> <td>1986</td> </tr> <tr> <td>RILEM NDT 1</td> <td>Testing of concrete by the ultrasonic pulse method</td> <td>1972</td> </tr> </tbody> </table>	Ref. <sup>a</sup>	Descrição	Ano	ABNT NBR 8802	Concreto endurecido – determinação da velocidade de propagação de onda ultrassónica	2013	ASTM C 597	Standard test method for pulse velocity through concrete	2009	ISO 1920-7	Testing of concrete – Part 7: Non-destructive tests on hardened concrete	2007	NP EN 12504-4	Ensaio do betão nas estruturas. Parte 4: Determinação da velocidade de propagação dos ultrassons	2004	BS 1881-203	Testing concrete. Recommendations for measurement of velocity of ultrasonic pulses in concrete	1986	RILEM NDT 1	Testing of concrete by the ultrasonic pulse method	1972																					
Ref. <sup>a</sup>	Descrição	Ano																																									
ABNT NBR 8802	Concreto endurecido – determinação da velocidade de propagação de onda ultrassónica	2013																																									
ASTM C 597	Standard test method for pulse velocity through concrete	2009																																									
ISO 1920-7	Testing of concrete – Part 7: Non-destructive tests on hardened concrete	2007																																									
NP EN 12504-4	Ensaio do betão nas estruturas. Parte 4: Determinação da velocidade de propagação dos ultrassons	2004																																									
BS 1881-203	Testing concrete. Recommendations for measurement of velocity of ultrasonic pulses in concrete	1986																																									
RILEM NDT 1	Testing of concrete by the ultrasonic pulse method	1972																																									
<p><b>DIFICULDADE DO ENSAIO:</b></p> <input checked="" type="checkbox"/> Baixa <input type="checkbox"/> Médio <input type="checkbox"/> Elevada																																											
<p><b>PROCEDIMENTO DE ENSAIO [7.8]:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Inicia-se pela calibragem do aparelho com uma barra padrão, em que o tempo de propagação é conhecido.</li> <li>No método indireto, colocar os dois transdutores sobre o revestimento (um recetor e um transmissor, com afastamento inicial de 10 cm).</li> <li>Alterar o afastamento entre os dois transdutores de forma crescente em múltiplos de 10 cm, ficando a zona de inspeção na linha reta entre os dois.</li> <li>Registar os dados de cada medição.</li> </ol> <p><b>Notas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>No método direto, simplesmente é colocado um transdutor em cada face do elemento na mesma direção.</li> <li>As superfícies de apoio devem apresentar-se lisas, colocando uma gordura leve, interposta entre a superfície e o transdutor, para melhor contacto.</li> <li>Os impulsos não são transmitidos em grandes vazios de ar no material.</li> </ul>	<p><b>INCERTEZA [7.6] [7.10]:</b></p> <p>Os resultados do ensaio dependem de fatores como:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Composição do betão</li> <li>Forma e dimensão do elemento</li> <li>Existência de descontinuidades e/ou armaduras</li> <li>Teor de humidade à superfície</li> <li>Comprimento de percurso e distância entre transdutores</li> <li>Rugosidade da superfície</li> <li>Temperatura</li> </ul>																																										
<p><b>VALORES DE REFERÊNCIA:</b></p> <p>Qualidade do betão em função da velocidade da propagação de ultrassons:</p> <p><i>Tabela 7.1 – Relação entre velocidade de propagação de ultrassons/qualidade do betão [7.2] [7.10]</i></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Velocidade (m/s)</th> <th>Descrição</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>&gt;4500</td> <td>Excelente</td> </tr> <tr> <td>3500 – 4500</td> <td>Bom</td> </tr> <tr> <td>3000 – 3500</td> <td>Regular</td> </tr> <tr> <td>2000 – 3000</td> <td>Medíocre</td> </tr> <tr> <td>&lt;2000</td> <td>Mau</td> </tr> </tbody> </table>	Velocidade (m/s)	Descrição	>4500	Excelente	3500 – 4500	Bom	3000 – 3500	Regular	2000 – 3000	Medíocre	<2000	Mau	<p><b>INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS:</b></p> <p>Comparação entre normas de ensaio de ultrassons:</p> <p><i>Tabela 7.2 – Diferença de características de ensaio com a norma [7.3]</i></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>ABNT NBR 8802</th> <th>RILEM NDT1</th> <th>BS 1881 Part 203</th> <th>ASTM C 597</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Frequência do ultrasson</td> <td>Mais de 20 kHz</td> <td>20-200 kHz</td> <td>20-150 kHz</td> <td>10-150 kHz</td> </tr> <tr> <td>Superfície</td> <td>Seca ao ar, limpa e plana</td> <td>Plana</td> <td>Seca ao ar, limpa e plana</td> <td>Seca ao ar, limpa e plana</td> </tr> <tr> <td>Área de ensaio para verificar uniformidade de elementos estruturais grandes</td> <td>1 m<sup>2</sup></td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Distância entre transdutores emissores e recetor</td> <td>Precisão de ± 1%</td> <td>Precisão de ± 1%</td> <td>Precisão de ± 1%</td> <td>Precisão de ± 0.5%</td> </tr> <tr> <td>Medições de velocidade</td> <td>Precisão de ± 1%</td> <td>-</td> <td>Precisão de ± 0.5%</td> <td>Precisão de ± 0.5%</td> </tr> </tbody> </table>		ABNT NBR 8802	RILEM NDT1	BS 1881 Part 203	ASTM C 597	Frequência do ultrasson	Mais de 20 kHz	20-200 kHz	20-150 kHz	10-150 kHz	Superfície	Seca ao ar, limpa e plana	Plana	Seca ao ar, limpa e plana	Seca ao ar, limpa e plana	Área de ensaio para verificar uniformidade de elementos estruturais grandes	1 m <sup>2</sup>	-	-	-	Distância entre transdutores emissores e recetor	Precisão de ± 1%	Precisão de ± 1%	Precisão de ± 1%	Precisão de ± 0.5%	Medições de velocidade	Precisão de ± 1%	-	Precisão de ± 0.5%	Precisão de ± 0.5%
Velocidade (m/s)	Descrição																																										
>4500	Excelente																																										
3500 – 4500	Bom																																										
3000 – 3500	Regular																																										
2000 – 3000	Medíocre																																										
<2000	Mau																																										
	ABNT NBR 8802	RILEM NDT1	BS 1881 Part 203	ASTM C 597																																							
Frequência do ultrasson	Mais de 20 kHz	20-200 kHz	20-150 kHz	10-150 kHz																																							
Superfície	Seca ao ar, limpa e plana	Plana	Seca ao ar, limpa e plana	Seca ao ar, limpa e plana																																							
Área de ensaio para verificar uniformidade de elementos estruturais grandes	1 m <sup>2</sup>	-	-	-																																							
Distância entre transdutores emissores e recetor	Precisão de ± 1%	Precisão de ± 1%	Precisão de ± 1%	Precisão de ± 0.5%																																							
Medições de velocidade	Precisão de ± 1%	-	Precisão de ± 0.5%	Precisão de ± 0.5%																																							
<p><b>EXPRESSÃO DOS RESULTADOS [7.2]:</b></p> <p>Existem três métodos possíveis para a realização deste tipo de ensaios:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Direto;</li> <li>- Semidirecto;</li> <li>- Indireto.</li> </ul> <p>Os métodos, <b>direto</b> e <b>semidirecto</b> têm como finalidade a avaliação das características de resistência mecânica e de homogeneidade e deteção de descontinuidades no betão. O método <b>indireto</b> aplica-se, fundamentalmente, na determinação da profundidade de fissuras. O método <b>semidirecto</b> aplica-se apenas na impossibilidade de colocação dos transdutores segundo o método direto.</p>	<p>É possível determinar a velocidade aparente de propagação pela expressão [7.4]:</p> $V_{aparente} = \frac{d}{t}$ <p>Relacionando a distância (d) entre transdutores, em mm, percorrida pela onda ultrassónica, num intervalo de tempo (t) em microssegundos medido pelo equipamento. A <math>V_{aparente}</math> vem em km/s.</p>																																										
<p><b>ENSAIOS DE ULTRASSONS EM BETÃO</b></p>	<p><b>7 TPOE</b></p>																																										

<b>AVALIAÇÃO DA INTEGRIDADE DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS PELO MÉTODO DO IMPACTO-ECO</b>		<b>Ref.<sup>a</sup> 8 TPOE</b>
<b><u>GRAU DE DESTRUIÇÃO DA TÉCNICA:</u></b> <input type="checkbox"/> Destrutiva <input type="checkbox"/> Semi-destrutiva <input checked="" type="checkbox"/> Não-destrutiva	<b><u>AVALIAÇÃO DE ELEMENTOS:</u></b> <input checked="" type="checkbox"/> Elementos estruturais <input type="checkbox"/> Elementos não estruturais	<b><u>LOCAL:</u></b> <input checked="" type="checkbox"/> <i>In situ</i> <input type="checkbox"/> Laboratório
<b><u>ELEMENTOS ESTRUTURAIS EM QUE PODE SER UTILIZADA:</u></b> <input checked="" type="checkbox"/> Pilares <input checked="" type="checkbox"/> Vigas <input checked="" type="checkbox"/> Lajes <input checked="" type="checkbox"/> Paredes resistentes <input checked="" type="checkbox"/> Fundações <input checked="" type="checkbox"/> Muros		
<b><u>PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO:</u></b> <input type="checkbox"/> Percepção sensorial <input type="checkbox"/> Ação mecânica <input type="checkbox"/> Propagação de ondas elásticas <input type="checkbox"/> Detecção e análise de vibrações <input type="checkbox"/> Reações químicas e eletroquímicas <input checked="" type="checkbox"/> Propagação de radiação eletromagnética <input type="checkbox"/> Efeitos elétricos e magnéticos <input type="checkbox"/> Hidrodinâmica <input type="checkbox"/> Higrótermica		
<b><u>DESCRIÇÃO [8.2] [8.3]:</u></b> O impacto-eco é usado para determinar e localizar fissuras, delaminações, vazios, nichos em estruturas de betão. Também permite localizar vazios diretamente abaixo de pavimentos de betão. O impacto-eco não é negativamente afetado pela presença de barras de aço.  O impacto-eco utiliza técnicas de reflexão de pulsos para analisar as ondas que contornam vazios e descontinuidades internas do betão. O pulso pode ser gerado por golpes de martelo ou por outros meios mecânicos. O método consiste em emitir um impacto mecânico sobre a superfície e pulsos são projetados ao longo do material. As ondas refletidas por uma falha interna são captadas por um recetor posicionado na mesma superfície do impacto.	<b><u>EQUIPAMENTO/MATERIAL NECESSÁRIO:</u></b>   <i>Figura 8.1 - Detecção de descontinuidades num pilar em construção de uma obra de arte. [8.1]</i>   <i>Figura 8.2 - Medição da profundidade de fissuras numa laje. [8.1]</i>	
 <i>Figura 8.3 - Medição da profundidade de fissuras numa laje. [8.3]</i>		
<b><u>POTENCIALIDADES</u></b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Só necessita o acesso a uma das superfícies da estrutura a ensaiar;</li><li>• Está disponível equipamento comercial;</li><li>• Capacidade de localização de uma grande variedade de defeitos;</li><li>• Não necessita de materiais de acoplamento</li></ul>	<b><u>LIMITAÇÕES:</u></b> <ul style="list-style-type: none"><li>• É necessário um operador com experiência</li><li>• A instrumentação atual limita os elementos alvos de teste a menos de 2 metros de espessura</li></ul>	
<b>8 TPOE</b>	<b>TÉCNICA DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS ELÁSTICAS</b>	

**CUSTO DO ENSAIO:**
 Económico     Médio     Oneroso
**DIFICULDADE DO ENSAIO:**
 Baixa     Médio     Elevada
**PROCEDIMENTO DE ENSAIO [8.1] [8.2]:**

O impacto na superfície é produzido por meio duma haste metálica com uma esfera na extremidade (impactor), podendo ser utilizadas outras esferas com diâmetros diferentes, consoante as características do elemento em estudo. O recetor é um transdutor de deslocamento contendo uma pequena ponta cónica piezoelétrica. Estes dois dispositivos estão incluídos numa mesma unidade, que se vai colocando sobre sucessivos pontos da superfície do elemento a estudar. A segunda unidade é um computador portátil, cujo *software* consiste num analisador para registar as ondas de deslocamento e calcular os espectros de amplitude, bem como outros parâmetros, conforme o estudo em vista.

**VALORES DE REFERÊNCIA:**

Não foram encontrados quaisquer valores de referência para este tipo de ensaio.

**EXPRESSÃO DOS RESULTADOS [8.2]:**

Quando a superfície do elemento estrutural em estudo recebe o impacto, é de imediato registada a passagem da onda R pelo transdutor. A onda P propaga-se, entretanto, no interior do elemento, e é sucessivamente refletida. Após cada impacto, os resultados do processamento efetuado são mostrados no monitor do computador. A Figura 8.3 mostra um exemplo do display, obtido em obra, que apresenta 2 gráficos: o primeiro gráfico representa o formato da onda, contendo a onda R e a onda P, que vai perdendo amplitude com as sucessivas reflexões

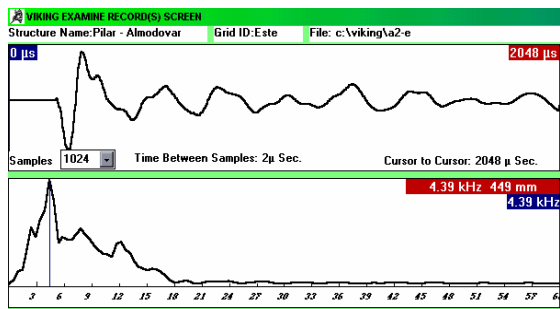


Figura 8.3 - Display típico com o registo do sinal de deslocamento e respetivo espectro (frequência sólida) [8.1]

**DOCUMENTOS NORMATIVOS:**

Ref. <sup>a</sup>	Descrição	Ano
ASTM C 1383 -98	Standard test method for measuring the P-wave speed and the thickness of concrete plate using the impact echo method	1998

**INCERTEZA:**

- A escolha do tipo de impacto é um aspeto crítico para se obter um ensaio com sucesso
- Duração do impacto influencia a frequência do impulso



**INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS [8.1] [8.2]:**

As frequências associadas com os picos no espectro de amplitude representam as frequências dominantes.

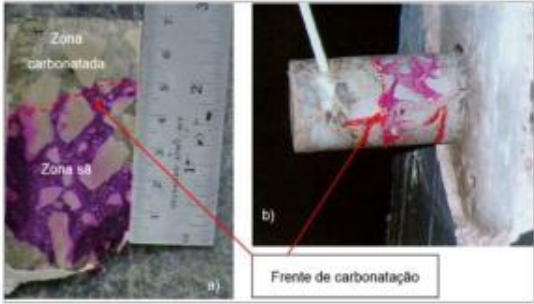

Conhecendo a velocidade de propagação,  $C_p$ , da onda P (pode ser obtida por diferentes processos), pode-se determinar a profundidade,  $T$ , a que situa a interface refletora

$$T = \frac{C_p}{2 \times f_p}$$

onde  $f_p$  é a frequência dominante da onda P na interface. Esta equação pressupõe que o caminho percorrido pela onda P é duas vezes a profundidade ( $2T$ ), sendo, portanto, válida para espectros obtidos a partir de ondas registadas perto do ponto de impacto.

<b>RESISTÊNCIA DE POLARIZAÇÃO - AVALIAÇÃO DA TAXA DE CORROSÃO DE ARMADURAS</b>		<b>Ref.<sup>a</sup> 9 TRQE</b>
<b><u>GRAU DE DESTRUIÇÃO DA TÉCNICA:</u></b> <input type="checkbox"/> Destrutiva <input type="checkbox"/> Semi-destrutiva <input checked="" type="checkbox"/> Não-destrutiva	<b><u>AVALIAÇÃO DE ELEMENTOS:</u></b> <input checked="" type="checkbox"/> Elementos estruturais <input type="checkbox"/> Elementos não estruturais	<b><u>LOCAL:</u></b> <input checked="" type="checkbox"/> <i>In situ</i> <input type="checkbox"/> Laboratório
<b><u>ELEMENTOS ESTRUTURAIS EM QUE PODE SER UTILIZADA:</u></b> <input checked="" type="checkbox"/> Pilares <input checked="" type="checkbox"/> Vigas <input checked="" type="checkbox"/> Lajes <input checked="" type="checkbox"/> Paredes resistentes <input checked="" type="checkbox"/> Fundações <input checked="" type="checkbox"/> Muros		
<b><u>PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO:</u></b> <input type="checkbox"/> Percepção sensorial <input type="checkbox"/> Ação mecânica <input type="checkbox"/> Propagação de ondas elásticas <input type="checkbox"/> Detecção e análise de vibrações <input checked="" type="checkbox"/> Reações químicas e eletroquímicas <input type="checkbox"/> Propagação de radiação eletromagnética <input type="checkbox"/> Efeitos elétricos e magnéticos <input type="checkbox"/> Hidrodinâmica <input type="checkbox"/> Higrótermica		
<b><u>DESCRIÇÃO:</u></b> A técnica de resistência de polarização é utilizada para quantificação da taxa de corrosão das armaduras em elementos de betão armado. Aplicável em betões muito carbonatados ou com elevado teor de cloretos, permitindo acompanhar, por monitorização, a evolução do estado da estrutura e avaliar o seu desempenho futuro. [9.1]  Esta técnica é um elemento essencial para análise de estruturas de betão armado que possam estar em processo corrosivo, porque se pode avaliar o estado da armadura (passivação/ despassivação) e a velocidade de corrosão. [9.2]  Em linhas gerais, a metodologia consiste na aplicação de uma reduzida corrente elétrica nos varões e na medição da variação do potencial em relação a um elétrodo de referência. Sendo a resistência de polarização (Rp) a relação entre a diferença de potencial e a corrente aplicada, a intensidade de corrosão pode ser obtida com base na fórmula de "Stern and Geary", sendo B uma constante:  $I_{corr} = B \times R_p$  Dado o equipamento possuir um sensor com um anel de proteção controlado, é possível confinar com precisão a área de medição. Desta forma, a intensidade de corrosão é medida não numa área indefinida mas apenas na área onde se efetua a medição, conduzindo a resultados mais verosímeis.	<b><u>EQUIPAMENTO/MATERIAL NECESSÁRIO:</u></b>   <i>Figura 9.1 – Unidade central de controlo do sistema e sensor "A" de medição da taxa de corrosão e dos potenciais de meia célula [9.1]</i>   <i>Figura 9.2 - Pormenor do sensor "B", para a medição da resistividade, temperatura e humidade relativa do ambiente [9.1]</i>  <ul style="list-style-type: none"><li>• Utensílio de marcação no elemento estrutural(giz, por exemplo);</li><li>• Unidade de controlo com sensores "A" e "B", que permitam medição e registo de: taxa de corrosão, potencial de corrosão, resistividade eléctrica e humidade relativa atmosférica;</li><li>• Água para humedecer esponja do sensores;</li><li>• Folha de registo para: locais de medição, área do varão,</li></ul>	
<b><u>POTENCIALIDADES:</u></b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Possibilita a caracterização do comportamento da corrosão.</li><li>• Possibilita o acompanhamento da evolução do processo através da velocidade de corrosão.</li><li>• Informa sobre a tendência para a passivação.</li><li>• Esta técnica pode ser aplicada para qualquer idade do edifício.</li></ul>	<b><u>LIMITAÇÕES:</u></b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Apenas os varões mais próximos do emissor de sinal elétrico são polarizados,</li><li>• Não permite avaliar a importância da corrosão,</li><li>• Influência de correntes não controláveis no local de ensaio,</li><li>• Requer técnicos especializados na aplicação do aparelho ao elemento estrutural.</li></ul>	
<b>9 TRQE</b>	<b>TÉCNICA DE REAÇÃO QUÍMICA E ELECTROQUÍMICA</b>	

<p><b>CUSTO DO ENSAIO:</b></p> <p><input type="checkbox"/> Económico    <input checked="" type="checkbox"/> Médio    <input type="checkbox"/> Oneroso</p>	<p><b>DOCUMENTOS NORMATIVOS:</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Ref.<sup>a</sup></th> <th>Descrição</th> <th>Ano</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ACI 222R-01</td> <td>Protection of metals in concrete against corrosion</td> <td>2001</td> </tr> <tr> <td>ASTM G 102-89</td> <td>Standard Practice for Calculation of Corrosion Rates and Related Information from Electrochemical Measurements</td> <td>2011</td> </tr> <tr> <td>C 876 (ASTM)</td> <td>Standart Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete</td> <td>2009</td> </tr> </tbody> </table>	Ref. <sup>a</sup>	Descrição	Ano	ACI 222R-01	Protection of metals in concrete against corrosion	2001	ASTM G 102-89	Standard Practice for Calculation of Corrosion Rates and Related Information from Electrochemical Measurements	2011	C 876 (ASTM)	Standart Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete	2009														
Ref. <sup>a</sup>	Descrição	Ano																									
ACI 222R-01	Protection of metals in concrete against corrosion	2001																									
ASTM G 102-89	Standard Practice for Calculation of Corrosion Rates and Related Information from Electrochemical Measurements	2011																									
C 876 (ASTM)	Standart Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete	2009																									
<p><b>DIFICULDADE DO ENSAIO:</b></p> <p><input type="checkbox"/> Baixa    <input checked="" type="checkbox"/> Médio    <input type="checkbox"/> Elevada</p>	<p><b>INCERTEZA:</b></p> <p>Os resultados obtidos em cada uma das zonas de ensaio deverão ser confrontados entre si e, também, se aplicável, com os resultados doutros ensaios de durabilidade, nomeadamente, a determinação da profundidade de carbonatação do betão e do teor de cloretos presentes no betão, tendo em vista avaliar a performance dos elementos de betão armado em termos de durabilidade.</p>																										
<p><b>PROCEDIMENTO DE ENSAIO:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Utilizando a unidade de controlo e o sensor "A" medem-se, à superfície do elemento estrutural em estudo, a taxa de corrosão, o potencial de corrosão relativamente a uma meia célula de cobre/sulfato de cobre, e a resistência elétrica do betão.</li> <li>Utilizando agora, a unidade central e o sensor "B" determina-se a resistividade elétrica do betão, e a temperatura e humidade ambientes.</li> <li>As medições são efetuadas colocando os sensores em contato com a superfície do elemento em estudo e fazendo uma ligação às armaduras.</li> <li>O registo de dados em obra é feito pela própria unidade de controlo, e podem ser posteriormente transferidos para um computador em gabinete para processamento de dados.</li> </ol>	<p><b>INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS:</b></p> <p>Os resultados obtidos em cada uma das zonas de ensaio deverão ser confrontados entre si e, também, se aplicável, com os resultados doutros ensaios de durabilidade, nomeadamente, a determinação da profundidade de carbonatação do betão e do teor de cloretos presentes no betão, tendo em vista avaliar a performance dos elementos de betão armado em termos de durabilidade. [9.3]</p> <p><math>I_{corr}</math> - Quantidade de corrosão verificada por unidade de superfície num intervalo de tempo específico, fornecido pelo equipamento, é definida pela fórmula [9.4]</p> $I_{corr} = \frac{B}{R_p} \quad R_p - \text{A resistência de polarização}$ $B = \frac{\beta\alpha \cdot \beta c}{2,303 \cdot (\beta\alpha + \beta c)} \quad \beta\alpha \text{ e } \beta c - \text{constantes de Tafel}$ <p style="text-align: center;">[9.5]</p> $i_{corr} = \frac{I_{corr}}{A} \quad i_{corr} - \text{Densidade de corrente}$ <p><math>i_{corr}</math> - Parâmetro mais importante para a avaliação do estado de corrosão nas barras de aço, pois ele determina o estado em que se encontra a armadura e constitui uma ferramenta importante para a previsão de vida útil nas estruturas que possuem esse tipo de manifestação patológica. [9.4]</p>																										
<p><b>VALORES DE REFERÊNCIA:</b></p> <p>Tabela 9.1 Taxa de corrosão/nível de corrosão [9.3]</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Taxa de corrosão (µA/cm<sup>2</sup>)</th> <th>Nível de corrosão</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>&lt;0.1</td> <td>Desprezável</td> </tr> <tr> <td>0.1 – 0.5</td> <td>Baixo</td> </tr> <tr> <td>0.5 – 1</td> <td>Moderado</td> </tr> <tr> <td>&gt;1</td> <td>Elevado</td> </tr> </tbody> </table> <p>Tabela 9.2 – Resistividade/ Corrosão do betão [9.3]</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Resistividade (kΩ.cm)</th> <th>Nível de corrosão</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>&gt;100 - 200</td> <td>AS taxas de corrosão serão muito baixas, mesmo em betão carbonatado ou contaminado por cloretos</td> </tr> <tr> <td>10 - 100</td> <td>Taxas de corrosão baixas e altas</td> </tr> <tr> <td>&lt;10</td> <td>A resistividade não é um parâmetro relevante para a taxa de corrosão</td> </tr> </tbody> </table> <p>Tabela 9.3 - Potencial elétrico/ risco de corrosão ativa [9.3]</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Potencial elétrico (mVCSE)</th> <th>Risco de corrosão</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>E_{corr} &gt; -200</math></td> <td>&lt;10%</td> </tr> <tr> <td><math>-350 &lt; E_{corr} &lt; -200</math></td> <td>50%</td> </tr> <tr> <td><math>E_{corr} &lt; -350</math></td> <td>&gt;90%</td> </tr> </tbody> </table>	Taxa de corrosão (µA/cm <sup>2</sup> )	Nível de corrosão	<0.1	Desprezável	0.1 – 0.5	Baixo	0.5 – 1	Moderado	>1	Elevado	Resistividade (kΩ.cm)	Nível de corrosão	>100 - 200	AS taxas de corrosão serão muito baixas, mesmo em betão carbonatado ou contaminado por cloretos	10 - 100	Taxas de corrosão baixas e altas	<10	A resistividade não é um parâmetro relevante para a taxa de corrosão	Potencial elétrico (mVCSE)	Risco de corrosão	$E_{corr} > -200$	<10%	$-350 < E_{corr} < -200$	50%	$E_{corr} < -350$	>90%	<p><b>RESISTÊNCIA DE POLARIZAÇÃO - AVALIAÇÃO DA TAXA DE CORROSÃO DE ARMADURAS</b></p> <p style="text-align: right;"><b>9 TRQE</b></p>
Taxa de corrosão (µA/cm <sup>2</sup> )	Nível de corrosão																										
<0.1	Desprezável																										
0.1 – 0.5	Baixo																										
0.5 – 1	Moderado																										
>1	Elevado																										
Resistividade (kΩ.cm)	Nível de corrosão																										
>100 - 200	AS taxas de corrosão serão muito baixas, mesmo em betão carbonatado ou contaminado por cloretos																										
10 - 100	Taxas de corrosão baixas e altas																										
<10	A resistividade não é um parâmetro relevante para a taxa de corrosão																										
Potencial elétrico (mVCSE)	Risco de corrosão																										
$E_{corr} > -200$	<10%																										
$-350 < E_{corr} < -200$	50%																										
$E_{corr} < -350$	>90%																										
<p><b>EXPRESSÃO DOS RESULTADOS:</b></p> <p>Os resultados obtidos deverão permitir a caracterização da zona de ensaio em termos da importância da corrosão de armaduras. Para tal poderão ser seguidos os valores apresentados no tópico dos valores de referência. [9.3]</p>																											

<b>AVALIAÇÃO DA PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO FENOLFTALEÍNA</b>		Ref. <sup>a</sup> <b>10 TRQE</b>
<b><u>GRAU DE DESTRUIÇÃO DA TÉCNICA:</u></b> <input type="checkbox"/> Destrutiva <input checked="" type="checkbox"/> Semi-destrutiva <input type="checkbox"/> Não-destrutiva	<b><u>AVALIAÇÃO DE ELEMENTOS:</u></b> <input checked="" type="checkbox"/> Elementos estruturais <input type="checkbox"/> Elementos não estruturais	<b><u>LOCAL:</u></b> <input checked="" type="checkbox"/> <i>In situ</i> <input checked="" type="checkbox"/> Laboratório
<b><u>ELEMENTOS ESTRUTURAIS EM QUE PODE SER UTILIZADA:</u></b> <input checked="" type="checkbox"/> Pilares <input checked="" type="checkbox"/> Vigas <input checked="" type="checkbox"/> Lajes <input checked="" type="checkbox"/> Paredes resistentes <input checked="" type="checkbox"/> Fundações <input checked="" type="checkbox"/> Muros		
<b><u>PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO:</u></b> <input type="checkbox"/> Percepção sensorial <input type="checkbox"/> Ação mecânica <input type="checkbox"/> Propagação de ondas elásticas <input type="checkbox"/> Detecção e análise de vibrações <input checked="" type="checkbox"/> Reações químicas e eletroquímicas <input type="checkbox"/> Propagação de radiação eletromagnética <input type="checkbox"/> Efeitos elétricos e magnéticos <input type="checkbox"/> Hidrodinâmica <input type="checkbox"/> Higrótermica		
<b><u>DESCRIÇÃO:</u></b> A carbonatação do betão ocorre quando, o dióxido de carbono presente na atmosfera reage com os componentes alcalinos da fase líquida do betão e, dá lugar à neutralização de todo o material, baixando o pH da pasta hidratada. Este é um fator preponderante no desencadeamento da corrosão das armaduras nas estruturas de betão armado.  Como principal agente da corrosão, a carbonatação provoca uma redução da alcalinidade, havendo assim redução generalizada do pH, o que torna as armaduras suscetíveis quando atinge valores de pH inferiores a 10,5. Por este facto, utiliza-se uma solução de fenolftaleína neste ensaio, pois adquire coloração típica para valores de pH acima de 8. [10.1]	<b><u>EQUIPAMENTO/MATERIAL NECESSÁRIO:</u></b>  <i>Figura 10.1 - Medição da frente de carbonatação: a) provete de laboratório; b) carote retirada de uma obra [10.3].</i>  <i>Figura 10.2 - Exemplificação de ensaio realizado in situ, sem extração de provete [10.4].</i> <ul style="list-style-type: none"><li>• Martelo e escopro;</li><li>• Berbequim com percussão;</li><li>• Aspensor;</li><li>• Régua graduada em milímetros;</li><li>• Solução alcoólica de fenolftaleína a 0,1%;</li></ul>	
<b><u>POTENCIALIDADES:</u></b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Baixo Custo;</li><li>• Ponto de viragem de coloração da fenolftaleína coincide com os valores de pH para os quais se considera que a carbonatação ocorre.</li><li>• Precisão relativamente boa.</li><li>• Rapidez de execução.</li></ul>	<b><u>LIMITAÇÕES:</u></b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Parcialmente destrutivo, havendo necessidade de reparo após o ensaio.</li><li>• Necessita de rapidez desde o momento de extração até se vaporizar a superfície em análise,</li><li>• Fornece apenas resultados qualitativos.</li></ul>	
<b>10 TRQE</b>	<b>TÉCNICA DE REAÇÃO QUÍMICA E ELECTROQUÍMICA</b>	

**CUSTO DO ENSAIO:**

Económico     Médio     Oneroso

**DIFICULDADE DO ENSAIO:**

Baixa     Médio     Elevada

**PROCEDIMENTO DE ENSAIO:**

1. Escolher criteriosamente os pontos de medição, de forma a poderem-se comparar as diferentes medições.
2. Efetuar os furos ou cavidades, com profundidade superior ao recobrimento medido com o detetor de armaduras.
3. Limpar corretamente o furo efetuado, para não comprometer a fiabilidade dos resultados.
4. Utilizando um aspersor com a solução alcoólica de fenolftaleína, molhar as superfícies internas do furo de ensaio e observar a sua coloração.

**VALORES DE REFERÊNCIA:**

Não existem valores de referência para este ensaio, uma vez que os resultados obtidos sob a forma de coloração. Como forma de orientação para o nível de pH a da amostra ou carote extraído, existe uma tabela com a aproximação de valores de pH para a coloração observada na superfície de betão vaporizada com a solução de fenolftaleína (Tabela 10.1) [10.3].

Tabela 10.1 – valor do pH do betão e respetiva coloração com indicador de fenolftaleína [10.3].

Valor pH	Coloração
Superior a 9,5	Vermelho - carmim
Inferior a 9,5	Incolor
Entre 8 e 9,5	Variável entre rosa e vermelho carmim

**EXPRESSÃO DOS RESULTADOS:**

A frente de carbonatação medida com fenolftaleína, pode por vezes apresentar um aspeto um pouco esbatido. Este facto pode ser explicado pela diluição da humidade na superfície, para além de que o pH entre a zona sã e a zona carbonatada varia gradualmente (Figura 10.2). Na camada semi-carbonatada é observável a presença de  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{Ca(OH)}_2$  enquanto que a maiores profundidades não é detetável [10.5]

Sabendo a profundidade de carbonatação é possível estimar a velocidade de carbonatação, tendo em conta a quantidade de tempo passado desde a betonagem do elemento.

**DOCUMENTOS NORMATIVOS:**

Ref. <sup>a</sup>	Descrição	Ano
LNCE E 391	Betões. Determinação da resistência à carbonatação.	1993
RILEM CPC-18	Measurement of hardened concrete carbonation depth	1988
ASTM C 856	Standard Practice for Petrographic Examination of Hardened Concrete	2011

**INCERTEZA:**

A seleção dos pontos de medição tem, também, em conta o tipo de controlo que se pretende fazer e o grau de rigor pretendido. Nomeadamente, os elementos estruturais com as superfícies expostas aos agentes ambientais são objeto de um maior número de medições [10.2].

A seleção exata do ponto de medição terá em conta a posição das armaduras, que serão localizadas previamente com um detetor de armaduras, a fim de não serem danificadas



Os pontos selecionados serão devidamente identificados e localizados numa planta da estrutura

Um procedimento alternativo à perfuração com a broca da parede de betão, consiste em retirar um provete cilíndrico do elemento construtivo em análise, recorrendo a carotadora e, posteriormente, pulverizar com a solução de fenolftaleína [10.3].

**INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS:**

Um betão perfeitamente são, tem um pH na ordem dos 13. À medida que a carbonatação vai ocorrendo, uma das consequências é a diminuição do pH. A partir de valores próximos de 9 na escala de pH considera-se que já há carbonatação do betão e é precisamente a partir desta gama de valores que a fenolftaleína passa de incolor para uma tonalidade rosa-carmim ou lilás (Quadro 10.3).

Quadro 10.3 - Coloração do indicador de fenolftaleína [10.4]

	
pH < 8.5-9.5	pH > 8.5-9.5

É recomendável que a leitura da profundidade de carbonatação se faça o mais rápido possível logo após a extração do provete, já que a coloração da fenolftaleína tende a esbater-se com o tempo [10.3].

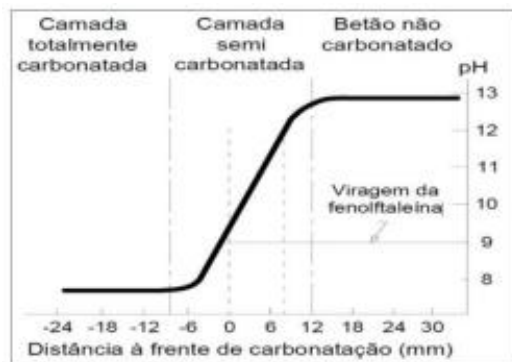





Figura 10.3 - Coloração do indicador de fenolftaleína [10.6]

**AValiação da Profundidade de Carbonatação**

**10 TRQE**

<b>TÉCNICA DE MEDIÇÃO DOS POTENCIAIS ELÉTRICOS – DETEÇÃO DA CORROSÃO ATIVA DAS ARMADURAS</b>		Ref. <sup>a</sup> <b>11 TEEM</b>
<b><u>GRAU DE DESTRUIÇÃO DA TÉCNICA:</u></b> <input type="checkbox"/> Destrutiva <input type="checkbox"/> Semi-destrutiva <input checked="" type="checkbox"/> Não-destrutiva	<b><u>AVALIAÇÃO DE ELEMENTOS:</u></b> <input checked="" type="checkbox"/> Elementos estruturais <input type="checkbox"/> Elementos não estruturais	<b><u>LOCAL:</u></b> <input checked="" type="checkbox"/> <i>In situ</i> <input type="checkbox"/> Laboratório
<b><u>ELEMENTOS ESTRUTURAIS EM QUE PODE SER UTILIZADA:</u></b> <input checked="" type="checkbox"/> Pilares <input checked="" type="checkbox"/> Vigas <input checked="" type="checkbox"/> Lajes <input checked="" type="checkbox"/> Paredes resistentes <input checked="" type="checkbox"/> Fundações <input checked="" type="checkbox"/> Muros		
<b><u>PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO:</u></b> <input type="checkbox"/> Percepção sensorial <input type="checkbox"/> Ação mecânica <input type="checkbox"/> Propagação de ondas elásticas <input type="checkbox"/> Detecção e análise de vibrações <input type="checkbox"/> Reações químicas e eletroquímicas <input type="checkbox"/> Propagação de radiação eletromagnética <input checked="" type="checkbox"/> Efeitos elétricos e magnéticos <input type="checkbox"/> Hidrodinâmica <input type="checkbox"/> Higrótermica		
<b><u>DESCRIÇÃO:</u></b> Através de medidores de resistividade elétrica (medição dos potenciais elétricos da superfície do betão, relativamente a um eletrodo de referência), 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. [11.1]  Este tipo de ensaios permite identificar as áreas onde a corrosão está presente ou prestes a verificar-se, antes de os seus efeitos se tornarem visíveis. [11.1]	<b><u>EQUIPAMENTO/MATERIAL NECESSÁRIO:</u></b>  <i>Figura 11.1 – Medição dos potenciais elétricos em obra com o equipamento próprio [11.5]</i> <ul style="list-style-type: none"><li>• Célula de medição nas superfícies de betão (eletrodo que contém a solução saturada Ag/AgCl, com uma esponja num dos topos, e a ficha para ligação ao voltímetro no outro);</li><li>• Medidor com ligação que permite leituras digitais em mV e kohms;</li><li>• Recipientes com líquido para reabastecerem a célula de medição;</li><li>• Cabos de ligação;</li><li>• Brocas diamantadas de 10 e 18 mm;</li><li>• Martelo e escopro;</li><li>• Extensão telescópica para a fixação da célula de medição;</li><li>• Berbequim com percussão;</li><li>• Detetor de armaduras.</li></ul>	
<b><u>POTENCIALIDADES:</u></b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Apresenta rapidez e facilidade de execução</li><li>• Possibilita a delimitação de áreas comprometidas</li><li>• Minimiza custos de manutenção de uma estrutura, se o ensaio for realizado como forma de monitorização ao longo da vida do edifício.</li></ul>	<b><u>LIMITAÇÕES:</u></b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Técnica não indica a velocidade de corrosão da armadura</li><li>• Aponta, apenas, as zonas onde existe probabilidade de corrosão.</li><li>• Os resultados obtidos requerem experiência a interpretar.</li><li>• Ensaio influenciado pelo teor de humidade, teor de sais, temperatura, razão água/cimento, ou seja, grande quantidade de variáveis que interferem na técnica.</li></ul>	
<b>11 TEEM</b>	<b>TÉCNICA DE EFEITOS ELÉTRICOS E MAGNÉTICOS</b>	

<p><b>CUSTO DO ENSAIO:</b>  <input type="checkbox"/> Económico    <input checked="" type="checkbox"/> Médio    <input type="checkbox"/> Oneroso</p>	<p><b>DOCUMENTOS NORMATIVOS:</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Ref.<sup>a</sup></th> <th>Descrição</th> <th>Ano</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ASTM C876</td> <td>Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete</td> <td>2009</td> </tr> <tr> <td>NP ENV 206</td> <td>Betão – Parte 1 : Especificação, desempenho, rodução e conformidade</td> <td>2007</td> </tr> <tr> <td>RILEM TC 154 - EMC</td> <td>Electrochemical techniques for measuring metallic corrosion "Test methods for on-site corrosion rate measurement of steel reinforcement in concrete by means of the polarization resistance method</td> <td>2004</td> </tr> <tr> <td>BS 1881-201</td> <td>Testing concrete. Guide to the use of non-destructive methods of test for hardned concrete</td> <td>1986</td> </tr> </tbody> </table>	Ref. <sup>a</sup>	Descrição	Ano	ASTM C876	Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete	2009	NP ENV 206	Betão – Parte 1 : Especificação, desempenho, rodução e conformidade	2007	RILEM TC 154 - EMC	Electrochemical techniques for measuring metallic corrosion "Test methods for on-site corrosion rate measurement of steel reinforcement in concrete by means of the polarization resistance method	2004	BS 1881-201	Testing concrete. Guide to the use of non-destructive methods of test for hardned concrete	1986	
Ref. <sup>a</sup>	Descrição	Ano															
ASTM C876	Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete	2009															
NP ENV 206	Betão – Parte 1 : Especificação, desempenho, rodução e conformidade	2007															
RILEM TC 154 - EMC	Electrochemical techniques for measuring metallic corrosion "Test methods for on-site corrosion rate measurement of steel reinforcement in concrete by means of the polarization resistance method	2004															
BS 1881-201	Testing concrete. Guide to the use of non-destructive methods of test for hardned concrete	1986															
<p><b>DIFICULDADE DO ENSAIO:</b>  <input type="checkbox"/> Baixa    <input checked="" type="checkbox"/> Médio    <input type="checkbox"/> Elevada</p>	<p><b>INCERTEZA:</b>  Aumentar o número de leituras onde o betão aparente estar mais degradado.  Durante a realização de todas as medições, o operador deve assegurar-se que a esponja do topo do eletrodo primário se encontra devidamente humedecida</p>																
<p><b>PROCEDIMENTO DE ENSAIO:</b>  Adaptado da Norma ASTM C876-80 [11.4]  1. Escolher uma área em função do estado aparente do betão e definir as zonas de leitura da área a estudar  2. De seguida, proceder à limpeza, com uma escova de aço, de um varão da armadura, previamente localizada com o detetor de armaduras.  3. Fixar o eletrodo secundário, através do alicate de aperto ao varão da armadura, e ligar este ao voltímetro, através do cabo fornecido.  4. Colocar o eletrodo primário, sucessivamente em cada ponto de leitura, medindo-se no voltímetro do equipamento, o potencial elétrico.</p>	<p><b>INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS:</b>  Os valores da tabela apresentada no separador dos valores de referência, relativos à ASTM C 876:2009 [11.4], não devem ser tidos como absolutos, mas servindo sim como faixas de referência. Pois, quando bem utilizado e, combinando os resultados com outras técnicas como a determinação de teor de cloretos, da resistividade elétrica e da profundidade de carbonatação do betão, por exemplo, é perfeitamente possível estabelecer um quadro claro da situação de corrosão na estrutura em análise [11.3].  Conclui-se então que técnica de potencial de corrosão não deve ser usada de forma isolada, mas sim associada com outras técnicas, tais como: resistividade elétrica, velocidade de corrosão, profundidade ed carbonatação e teor de cloretos. [11.3]</p>																
<p><b>VALORES DE REFERÊNCIA:</b>  <i>Tabela 11.1 - Probabilidade de corrosão ativa segundo os níveis de potencial obtido no ensaio. [11.1]</i></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Nível potencial (mV)</th> <th>Risco de corrosão ativa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>-260 a -410</td> <td>Até 95 %</td> </tr> <tr> <td>-110 a -260</td> <td>incerto</td> </tr> <tr> <td>&gt;-110</td> <td>Até 5 %</td> </tr> </tbody> </table> <p>Segundo a ASTM C 876:2009 [11.4], a relação empírica das faixas de valores de potencial de corrosão com os intervalos de probabilidade de corrosão, utilizando um eletrodo de Cobre/Sulfato de Cobre como se pode verificar na Tabela 11.2, apresenta algumas diferenças face aos valores apresentados na Tabela 11.1</p> <p><i>Tabela 11.2 – Faixas de potencial de corrosão e correlação com a probabilidade de corrosão [11.4]</i></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Faixas de potencial de corrosão (mV)</th> <th>Probabilidade de corrosão</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>&lt;-350 mV</td> <td>Superior a 90%</td> </tr> <tr> <td>&gt;-200 mV</td> <td>Inferior a 10 %</td> </tr> <tr> <td>-200 a -350 mV</td> <td>Até 5 %</td> </tr> </tbody> </table>	Nível potencial (mV)	Risco de corrosão ativa	-260 a -410	Até 95 %	-110 a -260	incerto	>-110	Até 5 %	Faixas de potencial de corrosão (mV)	Probabilidade de corrosão	<-350 mV	Superior a 90%	>-200 mV	Inferior a 10 %	-200 a -350 mV	Até 5 %	<p><b>TÉCNICA DE MEDIÇÃO DOS POTENCIAIS ELÉTRICOS – DETEÇÃO DA CORROSÃO ATIVA DAS ARMADURAS</b></p>
Nível potencial (mV)	Risco de corrosão ativa																
-260 a -410	Até 95 %																
-110 a -260	incerto																
>-110	Até 5 %																
Faixas de potencial de corrosão (mV)	Probabilidade de corrosão																
<-350 mV	Superior a 90%																
>-200 mV	Inferior a 10 %																
-200 a -350 mV	Até 5 %																
<p style="text-align: right;"><b>11 TEEM</b></p>																	

<b>DETERMINAÇÃO DO TEOR DE CLORETOS DO BETÃO</b>		<b>Ref.<sup>a</sup> 12 TRQE</b>
<b><u>GRAU DE DESTRUIÇÃO DA TÉCNICA:</u></b> <input type="checkbox"/> Destrutiva <input checked="" type="checkbox"/> Semi-destrutiva <input type="checkbox"/> Não-destrutiva	<b><u>AVALIAÇÃO DE ELEMENTOS:</u></b> <input checked="" type="checkbox"/> Elementos estruturais <input type="checkbox"/> Elementos não estruturais	<b><u>LOCAL:</u></b> <input checked="" type="checkbox"/> <i>In situ</i> <input checked="" type="checkbox"/> Laboratório
<b><u>ELEMENTOS ESTRUTURAIS EM QUE PODE SER UTILIZADA:</u></b> <input checked="" type="checkbox"/> Pilares <input checked="" type="checkbox"/> Vigas <input checked="" type="checkbox"/> Lajes <input checked="" type="checkbox"/> Paredes resistentes <input checked="" type="checkbox"/> Fundações <input checked="" type="checkbox"/> Muros		
<b><u>PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO:</u></b> <input type="checkbox"/> Percepção sensorial <input type="checkbox"/> Ação mecânica <input type="checkbox"/> Propagação de ondas elásticas <input type="checkbox"/> Detecção e análise de vibrações <input checked="" type="checkbox"/> Reações químicas e eletroquímicas <input type="checkbox"/> Propagação de radiação eletromagnética <input type="checkbox"/> Efeitos elétricos e magnéticos <input type="checkbox"/> Hidrodinâmica <input type="checkbox"/> Higrótermica		
<b><u>DESCRIÇÃO:</u></b> O objetivo deste tipo de ensaios é determinar a concentração de cloretos no interior do betão a diferentes profundidades. As amostras utilizadas neste ensaio são geralmente em forma de pó, retirado do betão a diferentes profundidades com um berbequim (Figura 12.1).  Estas amostras são posteriormente dissolvidas numa solução ácida normalizada e, utilizando um eléctrodo provido de um sensor de temperatura e um aparelho expressamente concebido para este tipo de ensaios, é possível converter automaticamente a tensão gerada na reação química em percentagem de iões cloreto. [12.1]  Uma amostra de pó de betão a ensaiar é dissolvida numa solução ácida normalizada. Os iões de cloreto reagem com o ácido numa reação eletroquímica. Um eléctrodo provido de um sensor de temperatura, depois de devidamente calibrado, é introduzido na solução, medindo a reação eletroquímica. 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 direta num mostrador de cristais líquidos [12.2].	<b><u>EQUIPAMENTO/MATERIAL NECESSÁRIO:</u></b> O equipamento utilizado (Figura. 12.2) é composto por: • Eléctrodo com sensor de temperatura montado exteriormente, cabos e ligações. • Aparelho electrónico de leitura, alimentado por pilhas, com circuitos, compensadores da temperatura e microprocessador para conversão directa em percentagens de cloretos. • Duas embalagens contendo soluções ácidas com coloração diferente para calibração do eléctrodo. • Balança para pesar as amostras. • Embalagens contendo a solução ácida onde se vai misturar cada amostra. • Garrafa com agente de molhagem do eléctrodo. • Concha para recolha do pó e soprador para amostragem. • Alicates de fixação, broca, buchas, chave de bocas e chave de fendas.	
		
<b><u>POTENCIALIDADES:</u></b> • Custo reduzido e simples. • Método pouco destrutivo. • Possibilidade de ser executado em campanhas de amostragem extensivas.	<b><u>LIMITAÇÕES:</u></b> • Necessita de pessoal especializado	
<b>12 TRQE</b>	<b>TÉCNICA DE REAÇÃO QUÍMICA E ELETROQUÍMICA</b>	

<p><b>CUSTO DO ENSAIO:</b></p> <p><input type="checkbox"/> Económico    <input checked="" type="checkbox"/> Médio    <input type="checkbox"/> Oneroso</p>	<p><b>DOCUMENTOS NORMATIVOS:</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Ref.<sup>a</sup></th> <th>Descrição</th> <th>Ano</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>EN 14629</td> <td>Produtos e sistemas para proteção e reparação de estruturas de betão. Métodos de ensaio. Determinação do teor de cloretos em betão endurecido.</td> <td>2007</td> </tr> <tr> <td>LNEC LABTEC 115</td> <td>Betões. Determinação do teor de sulfatos, cloretos e álcalis</td> <td>2007</td> </tr> <tr> <td>NP EN 206-1</td> <td>Betão – Parte 1: Especificação, desempenho, produção e conformidade</td> <td>2007</td> </tr> <tr> <td>EN 14629</td> <td>Produtos e sistemas para proteção e reparação de estruturas de betão. Métodos de ensaio. Determinação do teor de cloretos em betão endurecido.</td> <td>2007</td> </tr> <tr> <td>BS 1881-6</td> <td>Methods of testing concrete. Analysis of hardened concrete</td> <td>1971</td> </tr> </tbody> </table>	Ref. <sup>a</sup>	Descrição	Ano	EN 14629	Produtos e sistemas para proteção e reparação de estruturas de betão. Métodos de ensaio. Determinação do teor de cloretos em betão endurecido.	2007	LNEC LABTEC 115	Betões. Determinação do teor de sulfatos, cloretos e álcalis	2007	NP EN 206-1	Betão – Parte 1: Especificação, desempenho, produção e conformidade	2007	EN 14629	Produtos e sistemas para proteção e reparação de estruturas de betão. Métodos de ensaio. Determinação do teor de cloretos em betão endurecido.	2007	BS 1881-6	Methods of testing concrete. Analysis of hardened concrete	1971
Ref. <sup>a</sup>	Descrição	Ano																	
EN 14629	Produtos e sistemas para proteção e reparação de estruturas de betão. Métodos de ensaio. Determinação do teor de cloretos em betão endurecido.	2007																	
LNEC LABTEC 115	Betões. Determinação do teor de sulfatos, cloretos e álcalis	2007																	
NP EN 206-1	Betão – Parte 1: Especificação, desempenho, produção e conformidade	2007																	
EN 14629	Produtos e sistemas para proteção e reparação de estruturas de betão. Métodos de ensaio. Determinação do teor de cloretos em betão endurecido.	2007																	
BS 1881-6	Methods of testing concrete. Analysis of hardened concrete	1971																	
<p><b>DIFICULDADE DO ENSAIO:</b></p> <p><input type="checkbox"/> Baixa    <input checked="" type="checkbox"/> Médio    <input type="checkbox"/> Elevada</p>	<p><b>INCERTEZA [12.1]:</b></p> <p>A determinação do teor de cloretos presentes nas amostras de pó será feita por laboratório acreditado ou por empresa certificada, que execute este tipo de ensaio, assegurando-se que dispõe de pessoal técnico qualificado e equipamento devidamente calibrado.</p> <p>No caso de os ensaios não serem executados por laboratório acreditado, os resultados obtidos só serão aceites desde que acompanhados da curva de calibração do eléctrodo utilizado. A referida curva, deverá constar dum impresso específico, onde deverão constar, também, outros dados relevantes, nomeadamente, a identificação da obra, a data da calibração, o tipo de eléctrodo, o seu número de série e a identificação do operador.</p> <p>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. Este ensaio segue a NP ENV 206</p>																		
<p><b>PROCEDIMENTO DE ENSAIO [12.1] [12.3]:</b></p> <p>Serão feitas, pelo menos, 3 recolhas de pó do betão a diferentes profundidades, desde a superfície até 1 cm, um troço de 1 cm à profundidade do varão e um último troço de 1 cm por detrás do varão.</p> <p>Para a recolha do pó serão executados furos, com broca com diâmetro mínimo de 15 mm, junto de um varão da malha de armadura mais exterior. A fim de se garantir a homogeneidade das amostras de pó serão executados furos suficientes para se obter a cada profundidade pelo menos 20 g de pó (pelo menos 6 furos).</p> <p>Entre cada recolha de pó será feita a limpeza cuidadosa dos furos, utilizando-se uma bomba de ar manual ou ar comprimido, a fim de evitar a contaminação das amostras.</p> <p>As amostras de pó serão guardadas em saquetas plásticas hermeticamente fechadas e devidamente identificadas (com indicação da profundidade, por exemplo, 2 a 3 cm).</p>	<p><b>INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS [12.2]:</b></p> <p>Uma amostra de 3 g, retirada do pó extraído do furo, é dissolvida em 20 ml de uma solução ácida, contida para o efeito numa das pequenas garrafas.</p> <p>Coloca-se o eléctrodo, acabado de calibrar, na garrafa de ensaio e lê-se o teor de Cl, que será automaticamente indicado no mostrador do aparelho. A leitura pode ser obtida em percentagem ou PPM (partes por milhão), consoante a função seleccionada.</p> <p>O teor máximo de Cl encontra-se fixado pelo Regulamento de Betões e Ligantes Hidráulicos, no Quadro VIII do Anexo III.</p> <p>Sendo que o teor crítico enunciado pela norma NP EN 206-1 é de 0,4% em relação à massa do cimento para betão armado e de 0,2% para o betão pré-esforçado, também em relação a massa do cimento.</p>																		
<p><b>VALORES DE REFERÊNCIA [12.4]:</b></p> <p>O teor de cloretos de um betão, expresso em percentagem de iões cloreto por massa de cimento não deve exceder o valor dado na NP EN 206-1 para a classe seleccionada</p> <p><i>Tabela 12.1 – Máximo teor de cloretos do betão [12.4]</i></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Utilização do betão</th> <th>Classe de teor de cloretos</th> <th>Máximo teor de cloretos</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Sem armaduras ou metais embebidos</td> <td>CI1,0</td> <td>1,0%</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Com armaduras de aço ou metais embebidos</td> <td>CI 0,20</td> <td>0,20%</td> </tr> <tr> <td>CI 0,40</td> <td>0,40%</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Com aço de pré-esforço</td> <td>CI 0,10</td> <td>0,10%</td> </tr> <tr> <td>CI 0,20</td> <td>0,20%</td> </tr> </tbody> </table>	Utilização do betão	Classe de teor de cloretos	Máximo teor de cloretos	Sem armaduras ou metais embebidos	CI1,0	1,0%	Com armaduras de aço ou metais embebidos	CI 0,20	0,20%	CI 0,40	0,40%	Com aço de pré-esforço	CI 0,10	0,10%	CI 0,20	0,20%	<p><b>DETERMINAÇÃO DO TEOR DE CLORETOS DO BETÃO</b></p>		
Utilização do betão	Classe de teor de cloretos	Máximo teor de cloretos																	
Sem armaduras ou metais embebidos	CI1,0	1,0%																	
Com armaduras de aço ou metais embebidos	CI 0,20	0,20%																	
	CI 0,40	0,40%																	
Com aço de pré-esforço	CI 0,10	0,10%																	
	CI 0,20	0,20%																	
<p style="text-align: right;"><b>12 TRQE</b></p>																			

<b>MEDIÇÃO DA RESISTIVIDADE DO BETÃO - AVALIAÇÃO DO RISCO DE CORROSÃO ATIVA DAS ARMADURAS</b>		Ref. <sup>a</sup> <b>13 TEEM</b>
<b>GRAU DE DESTRUIÇÃO DA TÉCNICA:</b> <input type="checkbox"/> Destrutiva <input type="checkbox"/> Semi-destrutiva <input checked="" type="checkbox"/> Não-destrutiva	<b>AVALIAÇÃO DE ELEMENTOS:</b> <input checked="" type="checkbox"/> Elementos estruturais <input type="checkbox"/> Elementos não estruturais	<b>LOCAL:</b> <input checked="" type="checkbox"/> <i>In situ</i> <input type="checkbox"/> Laboratório
<b>ELEMENTOS ESTRUTURAIS EM QUE PODE SER UTILIZADA:</b> <input checked="" type="checkbox"/> Pilares <input checked="" type="checkbox"/> Vigas <input checked="" type="checkbox"/> Lajes <input checked="" type="checkbox"/> Paredes resistentes <input checked="" type="checkbox"/> Fundações <input checked="" type="checkbox"/> Muros		
<b>PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO:</b> <input type="checkbox"/> Percepção sensorial <input type="checkbox"/> Ação mecânica <input type="checkbox"/> Propagação de ondas elásticas <input type="checkbox"/> Detecção e análise de vibrações <input type="checkbox"/> Reações químicas e eletroquímicas <input type="checkbox"/> Propagação de radiação eletromagnética <input checked="" type="checkbox"/> Efeitos elétricos e magnéticos <input type="checkbox"/> Hidrodinâmica <input type="checkbox"/> Higrótermica		
<b>DESCRIÇÃO [13.1] [13.3]:</b> A resistividade do betão, é um parâmetro importante para a avaliação da corrosão das armaduras de estruturas de betão armado. O método da resistividade elétrica consiste na introdução de uma pequena corrente elétrica na superfície do betão, que é medida no terminal recetor localizado a uma distância finita da fonte. A diferença de potencial é medida entre dois pontos P1 e P2. (Figura 13.2)	<b>EQUIPAMENTO/MATERIAL NECESSÁRIO:</b>  <i>Figura 13.1 – Conjunto de eletrodos tipo Wenner [13.2]</i>  <i>Figura 13.1 – Aparelho RM MKII resistivity meter fabricado pela C. N. S. Eletronics LTD [13.1]</i>	
 <i>Figura 13.2 – Desenho esquemático da localização dos eletrodos [13.3]</i>		
<b>POTENCIALIDADES:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Possibilidades de determinar as áreas onde existe corrosão ou onde esta está prestes a ocorrer antes dos seus efeitos se tornarem visíveis</li><li>• Permite saber o nível de corrente que flui entre as regiões catódicas e anódicas</li><li>• Permite monitorizar a evolução por um determinado período de tempo.</li><li>• Apresenta rapidez de leituras (fator importante em trabalhos de campo);</li><li>• Serve para complementar outros parâmetros de monitoramento, tais como a velocidade de corrosão e o potencial de corrosão.</li></ul>	<b>LIMITAÇÕES:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Dificil correlação com outras propriedades correntemente em estudo;</li><li>• Sensível ao teor de humidade, teor de sais, temperatura, razão A/C</li><li>• Os potenciais medidos não dão indicações seguras quanto ao grau de atividade corrosiva, Podem ser causados alguns danos superficiais, no caso da necessidade de realização de furos para superar efeitos como o da carbonatação;</li><li>• A interpretação dos resultados requer experiência,</li></ul>	
<b>13 TEEM</b>	<b>TÉCNICA DE EFEITOS ELÉTRICOS E MAGNÉTICOS</b>	

**CUSTO DO ENSAIO:**

Económico     Médio     Oneroso

**DIFICULDADE DO ENSAIO:**

Baixa     Médio     Elevada

**PROCEDIMENTO DE ENSAIO [13.1] [13.4]:**

Os quatro eléctrodos são colocados em contato direto com a superfície do betão. Que pode estar previamente húmida ou seca. O equipamento imprime uma corrente entre dois eléctrodos externos e consequentemente uma voltagem é captada pelos eléctrodos internos como se pode ver na Figura 13.2.

**VALORES DE REFERÊNCIA:**

- Resistividades superiores a 12 kΩcm estão associadas a taxas de corrosão baixas;
- Resistividades inferiores a 5 kΩcm estão associadas a taxas de corrosão elevadas.

De acordo com o gráfico a baixo existe uma correlação aproximada da resistividade com a velocidade de corrosão, que só pode ser verdadeira no caso da certeza da despassivação da armadura

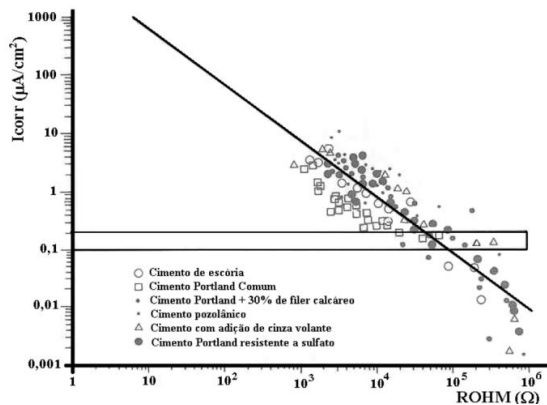


Gráfico 13.1 – Relação entre a intensidade de corrosão das armaduras e a resistividade ôhmica compensada entre o eléctrodo de referência e o de trabalho [13.1]

**EXPRESSÃO DOS RESULTADOS [13.3]:**

Os resultados são obtidos através da divisão do potencial aplicado pela intensidade de corrente, de acordo com a expressão:

$$\text{Resistividade} = \frac{\text{Potencial Aplicado}}{\text{Intensidade da corrente}}$$

**DOCUMENTOS NORMATIVOS:**

Ref. <sup>a</sup>	Descrição	Ano
ACI 222R-01	Protection of metals in concrete against corrosion	2001
C 876 (ASTM)	Standart Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete	2009
ASTM G 102-89	Standard Practice for Calculation of Corrosion Rates and Related Information from Electrochemical Measurements	2011

**INCERTEZA [13.1] [13.3]:**

A resistividade do betão é influenciada por muitos fatores, tais como a humidade, conteúdo de sais, temperatura, proporção da mistura e materiais que constituem o betão.

**INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS [13.1]:**

Existem equipamentos portáteis de fabricação comercial disponíveis para medidas de resistividade por ensaios não destrutivos, efetuados na superfície do elemento de betão. O resultado de resistividade elétrica é expresso, na maioria das vezes, em Ωm. O inverso da resistividade é chamado de condutividade e é expresso, de forma geral, em 1/Ω

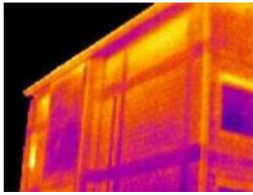
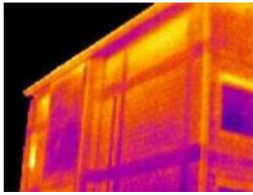
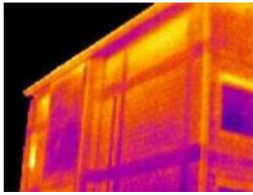
Um exemplo destes aparelhos comerciais é o chamado “RM MKII resistivity meter” fabricado pela C.N.S. Electronics LTD, denominado aparelho dos quatro eléctrodos com sonda Wenner (Figura 13.2)

Além disso, o Comité Euro-international Du Beton – CEB apresentou alguns critérios de avaliação quanto a resistividade que tem grande aceitação no meio técnico-científico).

Tabela 13.1 – Critérios de avaliação do concreto armado quanto a resistividade com relação ao risco de corrosão – CEB 192 [13.1]

Resistividade do betão	Probabilidade de corrosão
$\rho > 20 \text{ kohm} \times \text{cm}$	Desprezível
10 a 20 kohm x cm	Baixa
5 a 10 kohm x cm	Alta
$\rho < 5 \text{ kohm} \times \text{cm}$	Muito alta

<b>ENSAIO TERMOGRÁFICO</b>		<b>Ref.<sup>a</sup></b> <b>14 TPRE</b>
<b><u>GRAU DE DESTRUIÇÃO DA TÉCNICA:</u></b> <input type="checkbox"/> Destrutiva <input type="checkbox"/> Semi-destrutiva <input checked="" type="checkbox"/> Não-destrutiva	<b><u>AVALIAÇÃO DE ELEMENTOS:</u></b> <input checked="" type="checkbox"/> Elementos estruturais <input checked="" type="checkbox"/> Elementos não estruturais	<b><u>LOCAL:</u></b> <input checked="" type="checkbox"/> <i>In situ</i> <input type="checkbox"/> Laboratório
<b><u>ELEMENTOS ESTRUTURAIS EM QUE PODE SER UTILIZADA:</u></b> <input checked="" type="checkbox"/> Pilares <input checked="" type="checkbox"/> Vigas <input checked="" type="checkbox"/> Lajes <input checked="" type="checkbox"/> Paredes resistentes <input checked="" type="checkbox"/> Fundações <input checked="" type="checkbox"/> Muros		
<b><u>PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO:</u></b> <input type="checkbox"/> Percepção sensorial <input type="checkbox"/> Ação mecânica <input type="checkbox"/> Propagação de ondas elásticas <input type="checkbox"/> Detecção e análise de vibrações <input type="checkbox"/> Reações químicas e eletroquímicas <input checked="" type="checkbox"/> Propagação de radiação eletromagnética <input type="checkbox"/> Efeitos elétricos e magnéticos <input type="checkbox"/> Hidrodinâmica <input type="checkbox"/> Higrótermica		
<b><u>DESCRIÇÃO:</u></b> Técnica que recorre a utilização de câmaras termográficas para determinar a temperatura à superfície de um elemento de betão, detetando irregularidades na envolvente de um edifício.  Permite detetar fendas, descontinuidades ocultas, heterogeneidades de paredes ou elementos estruturais, erros de construção relativos a pontes térmicas que estejam na origem de infiltrações, fugas de água e/ou calor e ainda identificar o traçado das tubagens e as dimensões de elementos estruturais embebidos em paredes. [14.1]	<b><u>EQUIPAMENTO/MATERIAL NECESSÁRIO:</u></b>  <i>Figura 14.1 e 14.2 – Câmaras termográficas [14.12] [14.13]</i>  <i>Figura 14.3 – Pormenores de pilares e vigas de um ensaio termográfico [14.14]</i>	
<b><u>POTENCIALIDADES:</u></b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Abrange áreas superiores relativamente a outros métodos</li><li>• Fornece informação da percentagem da área deteriorada na região inspecionada</li><li>• Inspeção rápida</li><li>• Não há contato com a estrutura</li><li>• Resultados fáceis de interpretar</li></ul>	<b><u>LIMITAÇÕES:</u></b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Equipamento caro</li><li>• Necessita de condições climáticas específicas</li><li>• Profundidade da região danificada não pode ser medida</li><li>• Ocorrência de variações nos resultados do ensaio consoante condições ambientais</li><li>• A medida que a profundidade aumenta é mais difícil de detetar qualquer dano existente</li><li>• É necessário treino individual para assegurarmos que os resultados têm significado e são corretamente interpretados</li></ul>	
<b>14 TPRE</b>	<b>TÉCNICA DE PROPAGAÇÃO RADIAÇÕES ELETROMAGNÉTICAS</b>	

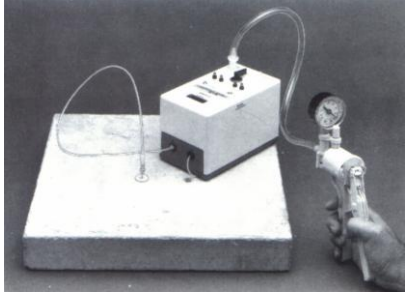
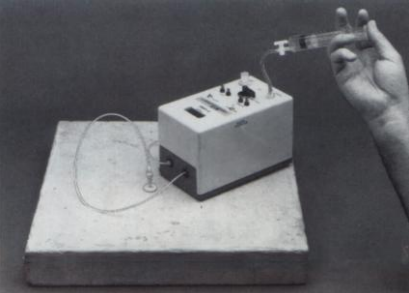
<p><b>CUSTO DO ENSAIO:</b>  <input checked="" type="checkbox"/> Económico    <input type="checkbox"/> Médio    <input type="checkbox"/> Oneroso</p>	<p><b>DOCUMENTOS NORMATIVOS:</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Ref.<sup>a</sup></th> <th>Descrição</th> <th>Ano</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>EN 13187</td> <td><i>Thermal performance of buildings – Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes – Infrared method</i></td> <td>1999</td> </tr> <tr> <td>ISO TC 135/SC 8</td> <td><i>Infrared thermography for non-destructive testing</i></td> <td>1998</td> </tr> <tr> <td>ASTM C1060</td> <td><i>Standard Practice for Thermographic Inspection of Insulation Installations in Envelope Cavities of Frame Buildings</i></td> <td>2003</td> </tr> <tr> <td>DIN 54190-3</td> <td><i>Non-destructive testing - Thermographic testing - Part 3</i></td> <td>2004</td> </tr> </tbody> </table>	Ref. <sup>a</sup>	Descrição	Ano	EN 13187	<i>Thermal performance of buildings – Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes – Infrared method</i>	1999	ISO TC 135/SC 8	<i>Infrared thermography for non-destructive testing</i>	1998	ASTM C1060	<i>Standard Practice for Thermographic Inspection of Insulation Installations in Envelope Cavities of Frame Buildings</i>	2003	DIN 54190-3	<i>Non-destructive testing - Thermographic testing - Part 3</i>	2004
Ref. <sup>a</sup>	Descrição	Ano														
EN 13187	<i>Thermal performance of buildings – Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes – Infrared method</i>	1999														
ISO TC 135/SC 8	<i>Infrared thermography for non-destructive testing</i>	1998														
ASTM C1060	<i>Standard Practice for Thermographic Inspection of Insulation Installations in Envelope Cavities of Frame Buildings</i>	2003														
DIN 54190-3	<i>Non-destructive testing - Thermographic testing - Part 3</i>	2004														
<p><b>DIFICULDADE DO ENSAIO:</b>  <input checked="" type="checkbox"/> Baixa    <input type="checkbox"/> Médio    <input type="checkbox"/> Elevada</p>																
<p><b>PROCEDIMENTO DE ENSAIO [14.2]:</b>  O elemento a analisar é previamente aquecido utilizando projetores de luz com potência adequada ou caso sejam elementos exteriores, aproveita-se a radiação solar.  Posteriormente o elemento é observado através da camara, registando os resultados obtidos.</p>																
<p><b>VALORES DE REFERÊNCIA:</b>  Os valores de referência que podem ser usados neste tipo de ensaios para análise de anomalias devem ser retirados de termogramas realizados em zonas que não demonstrem nenhum tipo de anomalia.</p>	<p><b>INCERTEZA [14.3] [14.4]:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fatores que afetam os resultados obtidos</li> <li>• Emissividade, que é função da temperatura superficial do elemento, do comprimento de onda da radiação e do ângulo de observação;</li> <li>• Refletividade, resultando da reflexão da radiação emitida pelos objetos na sua vizinhança;</li> <li>• A atenuação atmosférica resultante da absorção da radiação pelos elementos difusos na atmosfera (gases e partículas existentes no seu interior);</li> <li>• O ângulo de observação.</li> </ul>															
<p><b>EXPRESSÃO DOS RESULTADOS:</b>  Tendo em conta os vários condicionamentos inerentes a este tipo de ensaios, a expressão dos resultados e a sua análise assume um carácter algo complexo. [14.6]</p> <p>Análise qualitativa – rápida, fácil de interpretação deve ser usada quando se pretende uma abordagem superficial do problema. Devem ser realizados termogramas de referencia em zonas não afetadas do objeto de estudo para comparação com o termograma que retrate a anomalia em causa.</p> <p>Análise quantitativa – através da imagem térmica são calculadas as temperaturas superficiais recorrendo a parâmetros analíticos. Requer maior detalhe e um ensaio mais rigoroso. A informação é processada num computador e posteriormente interpretada</p>	<p><b>INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS:</b></p> <table border="1"> <tbody> <tr> <td data-bbox="798 1131 1109 1332">  </td> <td data-bbox="1115 1131 1388 1332"> <p>Figura 14.4 - Localização de elementos estruturais não aparente em edifícios. [14.11]</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="798 1341 1109 1556">  </td> <td data-bbox="1115 1341 1388 1556"> <p>Figura 14.5 - Identificação de pontes térmicas em elementos estruturais (vigas e pilares) [14.11]</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="798 1565 1109 1758">  </td> <td data-bbox="1115 1565 1388 1758"> <p>Figura 14.6 - Identificação de zonas de infiltração em paredes e tetos. [14.11]</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="798 1767 1109 1960">  </td> <td data-bbox="1115 1767 1388 1960"> <p>Figura 14.7 - Identificação de pontes térmicas em fachadas de edifícios. [14.11]</p> </td> </tr> </tbody> </table>		<p>Figura 14.4 - Localização de elementos estruturais não aparente em edifícios. [14.11]</p>		<p>Figura 14.5 - Identificação de pontes térmicas em elementos estruturais (vigas e pilares) [14.11]</p>		<p>Figura 14.6 - Identificação de zonas de infiltração em paredes e tetos. [14.11]</p>		<p>Figura 14.7 - Identificação de pontes térmicas em fachadas de edifícios. [14.11]</p>							
	<p>Figura 14.4 - Localização de elementos estruturais não aparente em edifícios. [14.11]</p>															
	<p>Figura 14.5 - Identificação de pontes térmicas em elementos estruturais (vigas e pilares) [14.11]</p>															
	<p>Figura 14.6 - Identificação de zonas de infiltração em paredes e tetos. [14.11]</p>															
	<p>Figura 14.7 - Identificação de pontes térmicas em fachadas de edifícios. [14.11]</p>															
<p><b>ENSAIO TÉRMOGRAFICO</b></p>	<p><b>14 TPRE</b></p>															

<b>DETEÇÃO DE ARMADURAS E AVALIAÇÃO DO SEU DIÂMETRO E RECOBRIMENTO</b>		<b>Ref.<sup>a</sup> 15 TEEM</b>
<b><u>GRAU DE DESTRUIÇÃO DA TÉCNICA:</u></b> <input type="checkbox"/> Destrutiva <input type="checkbox"/> Semi-destrutiva <input checked="" type="checkbox"/> Não-destrutiva	<b><u>AVALIAÇÃO DE ELEMENTOS:</u></b> <input checked="" type="checkbox"/> Elementos estruturais <input type="checkbox"/> Elementos não estruturais	<b><u>LOCAL:</u></b> <input checked="" type="checkbox"/> <i>In situ</i> <input type="checkbox"/> Laboratório
<b><u>ELEMENTOS ESTRUTURAIS EM QUE PODE SER UTILIZADA:</u></b> <input checked="" type="checkbox"/> Pilares <input checked="" type="checkbox"/> Vigas <input checked="" type="checkbox"/> Lajes <input checked="" type="checkbox"/> Paredes resistentes <input checked="" type="checkbox"/> Fundações <input checked="" type="checkbox"/> Muros		
<b><u>PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO:</u></b> <input type="checkbox"/> Percepção sensorial <input type="checkbox"/> Ação mecânica <input type="checkbox"/> Propagação de ondas elásticas <input type="checkbox"/> Detecção e análise de vibrações <input type="checkbox"/> Reações químicas e eletroquímicas <input type="checkbox"/> Propagação de radiação eletromagnética <input checked="" type="checkbox"/> Efeitos elétricos e magnéticos <input type="checkbox"/> Hidrodinâmica <input type="checkbox"/> Higrótermica		
<b><u>DESCRIÇÃO [15.1] [15.3]:</u></b> <p>Os medidores de recobrimento permitem detetar a posição e a direção das armaduras, as suas dimensões e recobrimento, em estruturas de betão armado e pré-esforçado, de forma não destrutiva. Também podem ser utilizados na deteção de cabos de pré-esforço, mas com maiores limitações, que se prendem por um lado, às características próprias destes elementos resistentes e, por outro, às capacidades do equipamento. Isto deve-se aos cabos de pré-esforço se encontrarem a profundidades maiores. Estes aparelhos podem ser também chamados de pacómetros [15.2].</p> <p>Existem no mercado diversos tipos de aparelhos portáteis para deteção e determinação do recobrimento das armaduras. Na generalidade trata-se de aparelhos alimentados a pilhas constituídos por unidade de leitura, com um microprocessador, dois detetores e dois espaçadores com intervalos de alcance de 360 mm a 760 mm, com precisão de <math>\pm 2</math> mm a 3,6 mm, em função de cada fabricante. Permitem o ajuste do zero desde que fora do alcance de qualquer elemento metálico.</p>	<b><u>EQUIPAMENTO/MATERIAL NECESSÁRIO:</u></b>  <i>Figura 15.1 – Utilização do pacómetro num pilar [15.5]</i>  <i>Figura 15.2 – Representação da marcação do posicionamento das armaduras da parede de betão da caixa do elevador [15.5]</i>	
<b><u>POTENCIALIDADES:</u></b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Aparelho portátil</li><li>• Alimentado a pilhas</li><li>• Não é afetado pela presença de humidade</li></ul>	<b><u>LIMITAÇÕES:</u></b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Leituras incertas em zonas de grande densidade de armaduras</li><li>• Influenciáveis por outros elementos metálicos na área de ensaio</li><li>• Limitações na profundidade máxima na leitura de cabos de pré-esforço</li></ul>	
<b>15 TEEM</b>	<b>TÉCNICA DE EFEITOS ELÉTRICOS E MAGNÉTICOS</b>	

<p><b>CUSTO DO ENSAIO:</b></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Económico    <input type="checkbox"/> Médio    <input type="checkbox"/> Oneroso</p>	<p><b>DOCUMENTOS NORMATIVOS:</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Ref.<sup>a</sup></th> <th>Descrição</th> <th>Ano</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>BS 1881-204</td> <td>Testing concrete. Recommendations on the use of electromagnetic covermeters.</td> <td>1988</td> </tr> </tbody> </table>	Ref. <sup>a</sup>	Descrição	Ano	BS 1881-204	Testing concrete. Recommendations on the use of electromagnetic covermeters.	1988
Ref. <sup>a</sup>	Descrição	Ano					
BS 1881-204	Testing concrete. Recommendations on the use of electromagnetic covermeters.	1988					
<p><b>DIFICULDADE DO ENSAIO:</b></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Baixa    <input type="checkbox"/> Médio    <input type="checkbox"/> Elevada</p>	<p><b>INCERTEZA:</b></p> <p>A medição automática do diâmetro do varão requer cuidados especiais para se obterem resultados precisos, pelo que, quando o conhecimento do diâmetro do varão for um dado importante (por exemplo para cálculos estruturais), é indispensável fazer a sua confirmação, expondo o varão.[15.3]</p> <p>O instrumento é apenas calibrado para deteção de varões individuais. Outros elementos metálicos afetarão a calibração do instrumento numa extensão que depende do espaçamento, de recobrimento e do diâmetro do varão. O recobrimento e, em especial, a medição automática, nas estruturas de betão armado em que se deseja rigor, devem ser executados por pessoal experiente. [15.3]</p>						
<p><b>PROCEDIMENTO DE ENSAIO[15.6]:</b></p> <p><u>Medição do recobrimento</u> Após a calibragem do aparelho, e caso se tenha acesso ao projeto, seleciona-se a dimensão e o tipo de aço dos varões cujo recobrimento se pretende controlar. Poderá ser vantajoso, nesta fase, recobrir a armadura num local onde tal não seja muito inconveniente, a fim de acertar a calibração e, eventualmente, identificar o tipo de armadura.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>O recobrimento é medido, usando a face de trabalho do elemento detetor grande. Tendo-se identificado a face normal de trabalho do elemento detetor, pode-se explorar a superfície do elemento a sondar. Este encontra-se corretamente colocado, quando o som emitido for alto e agudo. Para alcançar este objetivo, move-se e roda-se o elemento detetor na direção em que exista diminuição do recobrimento e consequentemente, aumento do sinal sonoro. Quando o elemento detetor estiver cuidadosamente posicionado dessa maneira, o eixo do varão estará paralelo com o eixo longitudinal do elemento detetor.</li> <li>O recobrimento em milímetros poderá ser observado na parte esquerda do visor.</li> </ul>	<p><b>INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS:</b></p> <p>Para uma fácil percepção da disposição das armaduras nos elementos de betão armado, a superfície do elemento a sondar vai sendo marcada, à medida que vão detetando as armaduras, por exemplo com giz. Desta forma será possível saber, por exemplo, o espaçamento entre as armaduras [15.2] [15.3].</p> <p>As características e procedimentos na leitura estão diretamente relacionados com o aparelho e dependem de cada um. Deve-se estabelecer um plano de leitura em conformidade com os objetivos do ensaio e assinalar com um giz na superfície do betão o posicionamento das armaduras entretanto detetadas. Este ensaio requer uma leitura com cuidados específicos, quando está em causa a determinação de cálculos estruturais. [15.1]</p> <p>Os resultados obtidos serão processados estatisticamente e apresentados em tabelas, onde serão indicados, por cada zona de ensaio, os seguintes parâmetros:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Valor mínimo medido;</li> <li>Valor máximo medido;</li> <li>Valor médio do conjunto de medições;</li> <li>Desvio padrão do conjunto de medições;</li> <li>Coefficiente de variação correspondente.</li> </ul> <p>Dessa forma, será possível avaliar qual a percentagem correspondente ao conjunto de valores de grandeza inferior ou superior a um determinado valor de referência como, por exemplo, o valor do recobrimento mínimo regulamentar ou o valor da profundidade de carbonatação do betão.</p> <p><b>Nota:</b> No caso de pilares e vigas poderá ser necessário agrupar os valores por face, devendo ser feito o mesmo tipo de processamento e apresentação dos resultados por face.</p>						
<p><b>VALORES DE REFERÊNCIA:</b></p> <p>Não foram encontrados quaisquer valores de referência relativamente a este tipo de ensaio</p>	<p><b>DETEÇÃO DE ARMADURAS E AVALIAÇÃO DO SEU DIÂMETRO E RECOBRIMENTO</b></p>						
<p><b>EXPRESSÃO DOS RESULTADOS :</b></p> <p><u>Medições automáticas do diâmetro do varão.</u> O microprocessador do aparelho permite a determinação automática do diâmetro dos varões, a partir de duas leituras no mesmo local, utilizando um espaçador apropriado.</p> <p><u>Alarme de recobrimento mínimo/ modo de medição rápido</u> Esta função permite introduzir na memória do instrumento o valor do recobrimento mínimo a sondar. Quando se iniciar a medição do recobrimento neste modo, soará um alarme, sempre que o instrumento medir um recobrimento inferior ao mínimo guardado na memória.</p> <p><u>Elemento detetor pequeno</u> O elemento detetor pequeno deve ser usado quando se está na presença de malha soldada ou de varões próximos, ou então, quando o elemento detetor normal for incapaz de fornecer uma discriminação mais pormenorizada da zona a sondar.</p>	<p><b>15 TEEM</b></p>						

<b>MEDIÇÃO DE INCLINAÇÕES EM ESTRUTURAS - INCLINÓMETRO</b>		<b>Ref.<sup>a</sup></b> <b>16 TEEM</b>
<b><u>GRAU DE DESTRUIÇÃO DA TÉCNICA:</u></b> <input type="checkbox"/> Destrutiva <input type="checkbox"/> Semi-destrutiva <input checked="" type="checkbox"/> Não-destrutiva	<b><u>AVALIAÇÃO DE ELEMENTOS:</u></b> <input checked="" type="checkbox"/> Elementos estruturais <input type="checkbox"/> Elementos não estruturais	<b><u>LOCAL:</u></b> <input checked="" type="checkbox"/> <i>In situ</i> <input type="checkbox"/> Laboratório
<b><u>ELEMENTOS ESTRUTURAIS EM QUE PODE SER UTILIZADA:</u></b> <input checked="" type="checkbox"/> Pilares <input checked="" type="checkbox"/> Vigas <input checked="" type="checkbox"/> Lajes <input checked="" type="checkbox"/> Paredes resistentes <input checked="" type="checkbox"/> Fundações <input checked="" type="checkbox"/> Muros		
<b><u>PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO:</u></b> <input type="checkbox"/> Percepção sensorial <input type="checkbox"/> Ação mecânica <input type="checkbox"/> Propagação de ondas elásticas <input type="checkbox"/> Detecção e análise de vibrações <input type="checkbox"/> Reações químicas e eletroquímicas <input type="checkbox"/> Propagação de radiação eletromagnética <input checked="" type="checkbox"/> Efeitos elétricos e magnéticos <input type="checkbox"/> Hidrodinâmica <input type="checkbox"/> Higrótermica		
<b><u>DESCRIÇÃO [16.1] [16.2] [16.3]:</u></b> <p>O princípio utilizado para medir desvios angulares é o do transdutor eletrolítico, que converte alterações da posição angular em variações de resistência elétrica.</p> <p>Um medidor de inclinação (ou clinómetro) é um instrumento para medir elevação, ângulos de declive ou a inclinação de um objeto em relação à gravidade. É também conhecido como clisímetro, eclímetro, inclinómetro, gradiómetro, indicador de nível, medidor de nível ou declinómetro.</p> <p>Os clinómetros e os sensores de viga são dispositivos cuja utilização tem como finalidade observar e controlar, a existência ou a alteração, de inclinações / rotações na estrutura monitorizada.</p> <p>O sensor é constituído por uma cápsula de vidro, contendo no interior um fluido condutivo, e dotada de um sistema de elétrodos eletrolíticos. Dentro da cápsula de vidro existe uma bolha de ar que, permanecendo imóvel, indica o posicionamento vertical do sensor. Sempre que ocorrer uma rotação, a bolha de ar acompanha esse movimento no interior da cápsula de vidro, com sentido contrário ao verificado no sensor. A movimentação da bolha de ar no interior da cápsula de vidro, por sua vez, provoca alterações na forma como os elétrodos de excitação são ou não envolvidos pelo líquido condutivo. Assim, as alterações produzidas nos campos eletrolíticos produzidos pelos elétrodos de excitação e pelo elétrodo de referência, darão origem a variações da resistência existente entre eles e cujo valor é proporcional à rotação verificada.</p>	<b><u>EQUIPAMENTO/MATERIAL NECESSÁRIO:</u></b>  <i>Figura 16.1 - Sensor de viga juntamente com clinómetros fixos (à direita) e portáteis (à esquerda) [16.2]</i>  <i>Figura 16.2 - Inclinómetro montado no bordo duma laje em consola, vendo-se, também, o módulo de leitura [16.1]</i>	
<b><u>POTENCIALIDADES:</u></b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Em superfícies horizontais, a leitura pode ser feita em duas direções ortogonais</li><li>• Um sensor de térmico permite o registo da temperatura ambiente aquando da medição das inclinações</li></ul>	<b><u>LIMITAÇÕES:</u></b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Cada equipamento tem a sua própria curva de calibração, estabelecendo a correspondência entre voltagens e inclinações.</li></ul>	
<b>16 TM</b>	<b>TÉCNICA DE MONITORIZAÇÃO</b>	

<p><b><u>CUSTO DO ENSAIO:</u></b>  <input type="checkbox"/> Económico    <input type="checkbox"/> Médio    <input checked="" type="checkbox"/> Oneroso</p>	<p><b><u>DOCUMENTOS NORMATIVOS:</u></b>          Não foi encontrada nenhuma informação relativamente a documentos normativos.</p>														
<p><b><u>DIFICULDADE DO ENSAIO:</u></b>  <input checked="" type="checkbox"/> Baixa    <input type="checkbox"/> Médio    <input type="checkbox"/> Elevada</p>															
<p><b><u>PROCEDIMENTO DE ENSAIO [16.1]:</u></b>          São previamente fixadas, nos locais de medida selecionados, bases de leitura constituídas por placas de cerâmica ou metal, com cerca de 15 cm de diâmetro, dotadas de esferas convenientemente dispostas.           A unidade que contém o transdutor eletrolítico é então posicionada sobre as esperas. A medição da inclinação é feita diretamente no quadrante digital do módulo de leitura, após estabilização. A unidade que contém o transdutor está concebida de tal forma que permite a medição da inclinação, tanto em superfícies verticais como horizontais, com uma amplitude de mais ou menos 5 graus a partir da vertical.</p>	<p><b><u>INCERTEZA:</u></b>          Não foi encontrada informação relativamente a incerteza dos resultados deste tipo de ensaio.</p>														
<p><b><u>VALORES DE REFERÊNCIA:</u></b>   <i>Quadro 16.1 – Alguns dados sobre o equipamento de leitura da Figura 16.2 [16.1]</i></p> <table border="1" data-bbox="188 996 762 1220"> <thead> <tr> <th colspan="2"><b>Alguns dados sobre o equipamento de leitura</b></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Resolução máxima</td> <td>0,0001° (0,36 segundos)</td> </tr> <tr> <td>Resolução mínima</td> <td>0,001° (3,6 segundos)</td> </tr> <tr> <td>Amplitude</td> <td>± 5°</td> </tr> <tr> <td>Linearidade</td> <td>1%</td> </tr> <tr> <td>Filtragem</td> <td>Remoção de vibrações</td> </tr> <tr> <td>Ambiente em operação</td> <td>-25 °C a +70 °C.</td> </tr> </tbody> </table>	<b>Alguns dados sobre o equipamento de leitura</b>		Resolução máxima	0,0001° (0,36 segundos)	Resolução mínima	0,001° (3,6 segundos)	Amplitude	± 5°	Linearidade	1%	Filtragem	Remoção de vibrações	Ambiente em operação	-25 °C a +70 °C.	<p><b><u>INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS [16.2]:</u></b>          A monitorização de estruturas, utilizando sensores deste tipo, pode ser diversificada, sendo utilizada por exemplo, durante a realização dos seguintes trabalhos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Estabilização de solos através de “jetgrouting”;</li> <li>• Rebaixamento de níveis freáticos;</li> <li>• Avaliação do desempenho estrutural de um edifício em carga;</li> <li>• Controlo de deformações de uma estrutura;</li> <li>• Controlo da estabilidade de uma estrutura próxima de escavações ou em locais próximos à construção de túneis.</li> </ul>
<b>Alguns dados sobre o equipamento de leitura</b>															
Resolução máxima	0,0001° (0,36 segundos)														
Resolução mínima	0,001° (3,6 segundos)														
Amplitude	± 5°														
Linearidade	1%														
Filtragem	Remoção de vibrações														
Ambiente em operação	-25 °C a +70 °C.														
<p><b><u>EXPRESSÃO DOS RESULTADOS:</u></b>           Não foi encontrada nenhuma informação relativamente à expressão de resultados deste ensaio.</p>															
<p><b>MEDIÇÃO DE INCLINAÇÕES EM ESTRUTURAS - INCLINÓMETRO</b> <span style="float: right;"><b>16 TEEM</b></span></p>															

<b>MÉTODO DE FIGG – AVALIAÇÃO DA PERMEABILIDADE APARENTE DO BETÃO AO AR E ÁGUA</b>		<b>Ref.<sup>a</sup></b> <b>17 THd</b>
<b>GRAU DE DESTRUIÇÃO DA TÉCNICA:</b> <input type="checkbox"/> Destrutiva <input checked="" type="checkbox"/> Semi-destrutiva <input type="checkbox"/> Não-destrutiva	<b>AVALIAÇÃO DE ELEMENTOS:</b> <input checked="" type="checkbox"/> Elementos estruturais <input type="checkbox"/> Elementos não estruturais	<b>LOCAL:</b> <input checked="" type="checkbox"/> <i>In situ</i> <input type="checkbox"/> Laboratório
<b>ELEMENTOS ESTRUTURAIS EM QUE PODE SER UTILIZADA:</b> <input checked="" type="checkbox"/> Pilares <input checked="" type="checkbox"/> Vigas <input checked="" type="checkbox"/> Lajes <input checked="" type="checkbox"/> Paredes resistentes <input checked="" type="checkbox"/> Fundações <input checked="" type="checkbox"/> Muros		
<b>PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO:</b> <input type="checkbox"/> Percepção sensorial <input type="checkbox"/> Ação mecânica <input type="checkbox"/> Propagação de ondas elásticas <input type="checkbox"/> Detecção e análise de vibrações <input type="checkbox"/> Reações químicas e eletroquímicas <input type="checkbox"/> Propagação de radiação eletromagnética <input type="checkbox"/> Efeitos elétricos e magnéticos <input checked="" type="checkbox"/> Hidrodinâmica <input type="checkbox"/> Higrótermica		
<b>DESCRIÇÃO [17.1] [17.2] [17.3]:</b> O método Figg consiste em fazer um furo perpendicular à superfície de betão selado com um dispositivo de borracha, através do qual se faz passar uma agulha hipodérmica. A pode ser determinado a permeabilidade do betão ao ar e à água por dois métodos diferentes.  O ensaio de permeabilidade aparente ao ar consiste na medição do tempo necessário para o ar penetrar numa pequena cavidade, previamente feita no betão, reduzindo o vácuo de – 55 kPa para – 50 kPa. Este tempo é uma medida da permeabilidade aparente do betão ao ar.  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.	<b>EQUIPAMENTO/MATERIAL NECESSÁRIO:</b>  <i>Figura 17.1 – Determinação expedita in situ da permeabilidade ao ar [17.2]</i>  <i>Figura 17.2 – Determinação expedita in situ da permeabilidade à água. [17.2]</i>	
<b>POTENCIALIDADES:</b> • Fácil execução • Leitura imediata	<b>LIMITAÇÕES:</b> • Alto Custo • Elevado tempo de preparação • Pouco eficiente na avaliação quantitativa	
<b>17 THd</b>	<b>TÉCNICA HIDRODINÂMICA</b>	

<p><b>CUSTO DO ENSAIO:</b>  <input type="checkbox"/> Económico    <input type="checkbox"/> Médio    <input checked="" type="checkbox"/> Oneroso</p>	<p><b>DOCUMENTOS NORMATIVOS:</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Ref.<sup>a</sup></th> <th>Descrição</th> <th>Ano</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E 413 LNEC</td> <td>Determinação da permeabilidade ao ar e à água.</td> <td>1993</td> </tr> <tr> <td>BS 1881-201</td> <td>Testing concrete. Guide to the use of non-destructive methods of test for hardened concrete</td> <td>1986</td> </tr> <tr> <td>ISO/ DIS 7031</td> <td>Concret hardened. Determination of depth of penetration of water under pressure.</td> <td>1983</td> </tr> </tbody> </table>	Ref. <sup>a</sup>	Descrição	Ano	E 413 LNEC	Determinação da permeabilidade ao ar e à água.	1993	BS 1881-201	Testing concrete. Guide to the use of non-destructive methods of test for hardened concrete	1986	ISO/ DIS 7031	Concret hardened. Determination of depth of penetration of water under pressure.	1983																				
Ref. <sup>a</sup>	Descrição	Ano																															
E 413 LNEC	Determinação da permeabilidade ao ar e à água.	1993																															
BS 1881-201	Testing concrete. Guide to the use of non-destructive methods of test for hardened concrete	1986																															
ISO/ DIS 7031	Concret hardened. Determination of depth of penetration of water under pressure.	1983																															
<p><b>DIFICULDADE DO ENSAIO:</b>  <input checked="" type="checkbox"/> Baixa    <input type="checkbox"/> Médio    <input type="checkbox"/> Elevada</p>	<p><b>INCERTEZA [17.4]</b>  Torna-se difícil conseguir isolar a área do elemento por onde possa existir fluxo de ar ou de água. É um método de difícil interpretação.</p>																																
<p><b>PROCEDIMENTO DE ENSAIO [17.2] [17.3]:</b>  Executa-se, com um berbequim, no local selecionado para cada ensaio, um conjunto de furos com 40 mm de profundidade e 10 mm de diâmetro. Sopram-se todos os furos, libertando-os de poeiras e detritos. Insere-se em cada furo o tampão de borracha, previsto para o efeito, para que o rebordo fique encostado à superfície do betão. No centro do tampão existe um orifício por onde é introduzida uma agulha hipodérmica. Verificação do instrumento.</p> <p>a) <u>Ensaio de permeabilidade aparente ao ar.</u>  Neste ensaio, o tubo de saída de ar é ligado de um lado ao aparelho de leitura e do outro à agulha hipodérmica (figs. 1a e 3a). A bomba é acionada lentamente, reduzindo-se a pressão para um valor inferior a – 55 kPa. O aparelho permite ler rapidamente o tempo (em segundos) necessário para o vácuo passar de – 55 kPa para – 50 kPa.</p> <p>b) <u>Ensaio de permeabilidade aparente à água.</u>  No interior da agulha hipodérmica é introduzido um tubo fino de plástico com comprimento suficiente para atingir o fundo do furo a ensaiar. Feita a ligação ao aparelho de leitura no local próprio, a água, forçada pela seringa, entra no furo através do tubo fino de plástico. O instrumento lê automaticamente o tempo que 0,01 ml de água demoram a ser absorvidos pelo betão.</p>	<p><b>INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS [17.2] [17.4]:</b>  A permeabilidade aparente é influenciada pela humidade presente no betão. Quanto mais húmido estiver o betão, mais longos serão os tempos medidos. O betão completamente saturado dará tempos muito longos. O tempo de exclusão de ar (TEA) pode ser calculado pela fórmula:</p> $TEA = 19,05 (t / V),$ <p>Onde:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>t = tempo medido (s)</li> <li>V = volume do aparelho, incluindo o furo (ml),</li> </ul> <p>O Quadro 16.1 contém os valores de referência correntes da permeabilidade aparente ao ar e à água, bem como os do índice TEA, para betões com diferentes capacidades de proteção das armaduras.</p>																																
<p><b>VALORES DE REFERÊNCIA:</b>  <i>Quadro 17.1 – Valores correntes da permeabilidade aparente ao ar e à água e índice TEA (tempo de exclusão de ar), para betões com diferentes capacidades de proteção das armaduras [17.2]</i></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Categoria do betão</th> <th rowspan="2">Capacidade de proteção</th> <th colspan="2">Permeabilidade ao ar</th> <th rowspan="2">Permeabilidade à água (s/ml x 10<sup>3</sup>)</th> </tr> <tr> <th>Tempo (s)</th> <th>TEA (s/ml)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>Má</td> <td>&lt;30</td> <td>&lt;8</td> <td>&lt;2</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>Fraca</td> <td>30-100</td> <td>8-25</td> <td>2-5</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Razoável</td> <td>100-300</td> <td>25-75</td> <td>5-10</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Boa</td> <td>300-1000</td> <td>75-250</td> <td>0-50</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Excelente</td> <td>&gt;1000</td> <td>&gt;250</td> <td>&gt;50</td> </tr> </tbody> </table>	Categoria do betão	Capacidade de proteção	Permeabilidade ao ar		Permeabilidade à água (s/ml x 10 <sup>3</sup> )	Tempo (s)	TEA (s/ml)	0	Má	<30	<8	<2	1	Fraca	30-100	8-25	2-5	2	Razoável	100-300	25-75	5-10	3	Boa	300-1000	75-250	0-50	3	Excelente	>1000	>250	>50	
Categoria do betão			Capacidade de proteção	Permeabilidade ao ar		Permeabilidade à água (s/ml x 10 <sup>3</sup> )																											
	Tempo (s)	TEA (s/ml)																															
0	Má	<30	<8	<2																													
1	Fraca	30-100	8-25	2-5																													
2	Razoável	100-300	25-75	5-10																													
3	Boa	300-1000	75-250	0-50																													
3	Excelente	>1000	>250	>50																													
<p><b>EXPRESSÃO DOS RESULTADOS:</b>  Os resultados são apresentados sob de valores que devem ser comparados aos apresentados no Quadro 17.1 como valores de referência.</p>	<p><b>MÉTODO DE FIGG AVALIAÇÃO DA PERMEABILIDADE APARENTE DO BETÃO AO AR E ÁGUA</b>      17 THd</p>																																

## **5 CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS**

### **5.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS**

Nas últimas décadas, tem-se vindo a assistir a uma degradação cada vez mais acentuada do edificado português. Isto deve-se ao aparecimento de anomalias estruturais e funcionais nos edifícios, cuja causa se deve essencialmente a erros a fase de conceção/projeto e também na fase construção e utilização.

De facto, a introdução cada vez mais acelerada no mercado de novas soluções construtivas, materiais e tecnologias tem tido repercussões na qualidade nos mais diversos elementos construtivos dos edifícios correntes, uma vez que a sua complexidade tem exigido níveis de conhecimento que, na maioria das circunstâncias, são incompatíveis com a formação básica dos engenheiros civis e arquitetos.

No sentido de auxiliar a objetividade das inspeções e consequentes aquisições de diagnóstico, foi proposto no presente trabalho um catálogo de apoio à inspeção e diagnóstico de anomalias verificadas em elementos estruturais de edifícios correntes, baseando-se na sistematização de toda a informação técnica relevante sobre ensaios e técnicas de diagnóstico em edifícios.

Espera-se que o presente trabalho possa contribuir para a divulgação da relevância do estabelecimento de atividades de inspeção e diagnóstico, quer como parte integrante em projetos de reabilitação, quer em sistemas de gestão de edifícios correntes.

Como tal, é proposto um modelo de fichas de técnicas de diagnóstico que se adapta a elementos estruturais de edifícios correntes reais. Este modelo permite assim a disponibilização de informações e de resultados sistematizados, práticos e facilmente inteligíveis, sob forma de um catálogo de fichas de diagnóstico para elementos estruturais de edifícios correntes. De um modo geral, consideram-se realizados os objetivos propostos.

### **5.2 CONCLUSÕES FINAIS**

No que diz respeito aos edifícios correntes, foi possível concluir que estes apresentam componentes construtivos de diversos materiais, o que por si só, representa uma fragilidade no que respeita às capacidades resistentes desses mesmos diversos materiais. Tal facto desencadeia um conjunto de anomalias específicas, que são causadas pela junção de materiais com diferentes capacidades resistência e de características higrotérmicas, as quais surgem, essencialmente, pela inadequada conceção/projeto ou por eventuais deficiências a nível de técnicas construtivas realizadas;

Um tipo de anomalia, bastante particular do tipo de edificado em análise, associa-se à degradação do betão armado, incluindo a delaminação do betão e a consequente corrosão de armaduras, a qual influencia, implicitamente, a sustentabilidade dos edifícios em questão. Neste sentido conclui-se

também que, o estabelecimento de um diagnóstico que proporcione a identificação e classificação de ocorrências alicerçado por abordagens sistêmicas, é uma condição fundamental para a correção adequada das possíveis anomalias observadas. Porém, definir uma única metodologia de inspeção e diagnóstico de anomalias pertencentes ao edificado contemporâneo, torna-se numa tarefa bastante difícil de alcançar, devendo-se ao facto de existir divergentes circunstâncias de carácter construtivo, estrutural e funcional, entre os mesmos.

Desta forma, procurou-se identificar e caracterizar as técnicas de diagnóstico mais correntemente utilizadas e adequadas a elementos estruturais de edifícios correntes. A recolha bibliográfica efetuada para as referidas técnicas permitiu fazer uma análise crítica de cada uma delas, incidindo também, nos fatores que influenciam os resultados, e respetiva variabilidade, e na vantagem da combinação de mais do que uma técnica de ensaio. Desta forma, foi possível chegar a um modelo de catálogo de fichas de inspeção que englobasse os principais tópicos de cada técnica de diagnóstico de forma completa e expedita.

A preparação do catálogo iniciou-se com a elaboração de um modelo de ficha de consulta rápida, que evoluiu ao longo da abordagem das diferentes técnicas de diagnóstico para dar resposta a diversas particularidades, culminando na compilação de 17 fichas de diagnóstico, cujo formato de apresentação se verificou de fácil adaptação a cada técnica abordada. Na elaboração da ficha modelo foram integrados os seguintes campos e parâmetros:

- Designação da técnica,
- Referência numérica,
- Elementos estruturais em que pode ser usada,
- Grau de destruição da técnica,
- Local da sua utilização (*in situ* ou laboratório),
- Princípio de funcionamento,
- Descrição da técnica,
- Equipamentos e materiais necessários,
- Vantagens e limitações,
- Custo, dificuldade da técnica,
- Procedimento de ensaio,
- Expressão de resultado,
- Documentos normativos,
- Valores de referência,
- Interpretação de resultados,
- Parâmetros de incerteza.

Para a elaboração do catálogo, as técnicas de inspeção pesquisadas e abordadas neste trabalho, foram agrupadas em capítulos tendo em conta o princípio de funcionamento em que se baseiam,

nomeadamente, técnicas de perceção sensorial, técnicas de ação mecânica, técnicas de propagação de ondas elásticas, técnicas de deteção e análise das vibrações, técnicas de reações químicas e eletroquímicas, técnicas de propagação de radiação eletromagnética, técnicas de efeitos elétricos e magnéticos, técnicas hidrodinâmicas, técnicas higrotérmicas, técnicas de monitorização.

Os objetivos iniciais, de forma generalizada, foram cumpridos, embora se tenha verificado dificuldade na pesquisa de informações acerca dos ensaios realizados e resultados obtidos.

### **5.3 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS**

A elaboração deste trabalho, levantou algumas preocupações no que diz respeito à informação técnica existente relativamente às técnicas e ensaios de inspeção existentes. No decorrer da pesquisa de toda esta informação, foram encontradas bastantes dificuldades, nomeadamente no que diz respeito à procura de documentos normativos, a procedimentos de ensaio, comportamentos de segurança, custo de equipamentos e respetivos ensaios. Neste sentido, seria importante o desenvolvimento de mais trabalhos que desta mesma forma, conseguisse compilar, desenvolver e aprofundar, toda a informação existente relativa a ensaios e técnicas de diagnóstico. Seria também importante, o desenvolvimento de mais fichas de técnicas de diagnóstico para elementos estruturais. Seria também relevante a elaboração e desenvolvimento de fichas de diagnóstico, que fossem passíveis de ser realizadas em inspeções a edifícios antigos, dado o seu enorme valor patrimonial.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, D. M. - Técnicas de Diagnósticos Utilizadas em Engenharia Civil. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, FEUP. Porto, 2013

AGUIAR, J.; CABRITA, R.; APPLETON, J. - *Guião de apoio à reabilitação de edifícios habitacionais (volumes 1 e 2)*. Lisboa: LNEC-DGOT, 1997. ISBN 972-49-1726-6.

AGUIAR, J.; CABRITA, A.; Appleton, J.- *Guião de apoio à reabilitação de edifícios habitacionais*. Lisboa: LNEC, 2006.

AMARO, J. - *Caracterização de Argamassas para Reparação de Betão*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, 2011.

ANTUNES, M.; CORVACHO, H. - *Desenvolvimento de fichas de diagnóstico e de intervenção no âmbito da manutenção corretiva num sistema integrado de manutenção de edifícios de habitação*. In PATORREB 2003 -1.º Encontro Nacional Sobre Patologia e Reabilitação de edifícios. Porto: FEUP, 2003, pp. 349-357.

APPLETON, J.- *Estudos de Diagnóstico em Edifícios. Da Experiência à Ciência. A Intervenção no Património. Práticas de Conservação e Reabilitação*. Porto: FEUP, 2002.

APPLETON, J; BAIÃO, M. - *Inspeção em edifícios para diagnóstico do seu estado patológico. 2º Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios* (Tema e: Ensaios e métodos de avaliação de materiais e técnicas de conservação). LNEC, Lisboa, 1994: 313 – 316.

APPLETON, J; COSTA, A.- *Análise da Penetração de Cloretos em Estruturas de Betão Armado Expostas ao Ambiente Marítimo*. Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas, 1999.

Aguiar, J.; Cabrita, A.; Appleton, J. *Guião de apoio à reabilitação de edifícios habitacionais*. Lisboa: LNEC, 2006.

APPLETON, J. - *Construções em betão: nota histórica sobre a sua evolução*. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, 2005. Notas de aula de Betão Armado e Pré-Esforçado.

APPLETON, J. - *Reabilitação de edifícios antigos: patologias e tecnologias de intervenção*. 1.a ed. Lisboa: Edições Oríon, Setembro de 2003. ISBN 972-8620-03-9.

APPLETON, J. – *Patologia precoce dos edifícios*. pp. 823-833. 2º Encontro sobre conservação e reabilitação de edifícios, 27 de Junho a 1 de Julho de 1994, LNEC, Lisboa.

AZEVEDO, N.; MARAGNO, A. – *Projeto de restauro como um instrumento na melhoria da qualidade e do resultado final nas obras e restauração e reabilitação de edificações de valor arquitetónico, histórico e cultural*. In 3.º Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios. Lisboa: LNEC, 2003, pp. 243 -252.

BRITO, J. de – *Sistemas de inspeção e diagnóstico de edifícios*. In PATORREB 2009 - 3º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios, FEUP. Porto, 2003, pp. 13-23.

BUONO, L. - *Corrosão de Armaduras em Estruturas de Concreto Armado - Ensaios Eletroquímicos*. Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2006.

CARDOSO, A. S. – *Movimentos de fundações e edificações. Casos de obra - 2ªs Jornadas de estruturas de betão*, Porto, FEUP, 1998.

CASTRO, J.; MARTINS, J. G. – *Reabilitação. Patologia do Betão, Reparação e Reforço de Estruturas*. Serie Reabilitação. 1ª Edição, 2006.

CARRIÓ, J. M. ; MONTORO, R. B.; BASAGOITI, L. O. - *Directives for a Correct Diagnosis*. 2nd International Symposium on Building Pathology, Durability and Rehabilitation, LNEC. Lisboa, 2003, pp. 163-172

CÓIAS, V. - *Inspeções e ensaios na reabilitação de edifícios*. Lisboa: IST Press, Setembro de 2006. ISBN 972-8469-53-5.

CÓIAS, V. RIBEIRO, M. *Desenvolvimento de materiais cementícios para reparação e consolidação de estruturas de betão. 2º Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios (Tema h: Estruturas de Betão Armado)*. LNEC, Lisboa, 1994: 609 – 618

COSTA, A. – *Patologias Estruturais em Edifícios Correntes*. Construção Magazine, nº51, Setembro/ Outubro 2012.

COSTA, A. – *As patologias e as reabilitações estruturais*. In PATORREB 2006 - 2o Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifício. Porto: FEUP, 2006, pp. 57-81.

ENGELFRIED, R. - *Über den Einfluß der Schichtdicke und der Alterung auf die Wirksamkeit von Oberflächenenschutzsystemen für Betonbauteile*, Tech.Diss., Dortmund (Deutschland, Bundesrepublik): Selbstverlag 2000.

FERREIRA, J. – *Técnicas de diagnóstico de patologias em edifícios*. Dissertação de Mestrado em Construção. Porto: FEUP, 2010.

FLORES-COLEN, I. - *Planos de manutenção pró-ativa em edifícios correntes*. In 3.o Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios (tema III). Lisboa: LNEC, 2003, pp. 1027-1036.

FLORES-COLEN, I. - *Metodologia de avaliação do desempenho em serviço de fachadas rebocadas na óptica da manutenção predictiva*. Dissertação de Doutoramento, Instituto Superior Técnico, 2008.

FLORES-COLEN, I.; BRITO, J. – *A influência de alguns parâmetros na fiabilidade de estratégias de manutenção em edifícios correntes*. In 3.o Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios (tema III). Lisboa: LNEC, 2003, pp. 1018-1026.

FREITAS, V. - *Patologia e reabilitação de edifícios*. In 1.o encontro nacional sobre patologia e reabilitação de edifícios. Porto: FEUP, 2003, pp. 19-20.

FREITAS, SS.; FREITAS, VP.; BARREIRA, E. *Aplicação da termografia de infravermelho ao diagnóstico do destacamento do revestimento de fachadas*. XII Congreso Latinoamericano de Patología de la Construcción y XIV Congreso de Control de Calidad en la Construcción CONPAT, 2013.

FREITAS, V.; SOUSA, M. – *Reabilitação de edifícios – do diagnostico à conclusão de obra*. In 3.o Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios. Lisboa: LNEC, 2003, pp. 1157-1166.

GARCIA, J. *Sistema de inspeção e diagnóstico de revestimentos epóxicos em pisos industria*. Dissertação de Mestrado em Construção. IST, Lisboa, 2006.

GEHO - *Encustas de Patologia*. Madrid, Febreo, 1992.

GIONGO, J. – *Concreto armado: projeto estrutural de edificios*. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. Brasil, 2007

GONÇALVES, C. - *Anomalias Não Estruturais em Edifícios Correntes. Desenvolvimento de um Sistema de Apoio à Inspeção, Registo e Classificação*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Coimbra, 2004.

GONÇALVES, C.; BRITO, J.; PEREIRA, T. - *Desenvolvimento de um sistema de apoio à inspeção de edifícios correntes*. In 3.o Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios (Tema III). Lisboa: LNEC, 2003, pp. 1167-1175.

GUERRERO, I.; OCAÑA, S.- *Aplicabilidad de la Termografía para la Inspección de los Edificios Rurales: Caso de una Comarca Española. Informes de la construcción*. Vol. 55. n.º 488, 12/2003, Espanha, (2003).

HENSHELL, J. – *Tools and methodologies*. 2nd International Symposium on Building Pathology, Durability and Rehabilitation (tema 1), LNEC. Lisboa, 2003, pp. 3-9.

JÁCOME, C. C; MARTINS, J. G. - *Reabilitação: Identificação e tratamento de patologias em edifícios*. Universidade Fernando Pessoa, 2005.

MAIA, J. *Inspecções e Diagnósticos – Tecnologia para a Manutenção e Reabilitação de Estruturas*. ISQ – Instituto de Soldadura e Qualidade, 2007.

MACHADO, L. – *Catálogo de técnicas de diagnóstico em elementos não estruturais de edifícios correntes*. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, IST. Lisboa 2014

MODENA, C., VALLUZZI, M.R. (2003), - *Repair techniques for creep and long-term damage of massive structures*, Advances in Architecture, v 15, Structural Studies, Repairs, and Maintenance of Heritage Architecture, VIII, 2003, p 141-150

LANZINHA, J. - *Reabilitação de edifícios. Metodologia de diagnóstico e intervenção*. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil. Covilhã: Universidade da Beira Interior, 2006.

LANZINHA, J.; FREITAS, V.; GOMES, J. - *Metodologia de diagnóstico exigencial de apoio à reabilitação de edifícios de habitação*. In PATORREB 2003 - 1.o Encontro Nacional sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios. Porto: FEUP, 2003, pp. 465-475.

LANZINHA, J.; FREITAS, V.; GOMES, J. - *Exploração de metodologia de diagnóstico exigencial de apoio à reabilitação de edifícios de habitação*. In PATORREB 2006 - 2.o Encontro Nacional sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios. Porto: FEUP, 2006, pp. 585-596.

LIZZI, F. – *Il consolidamento del terreno e dei fabbricati*. D'ario Flaccovio Editore. Palermo 1989.

LOURENÇO, Z., COSTA, J. P. – *Reabilitação de Betão Armado utilizando técnicas eletroquímicas*. In 3.o Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios (tema III). Lisboa: LNEC, 2003, pp. 1027-1036.

OLIVEIRA, J. - *Avaliação de Estruturas de Edifícios em Concreto Armado com Vistas à Reabilitação*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Católica de Pernambuco, 2008

PADRÃO, J. - *Técnicas de Inspeção e Diagnóstico em Estruturas*. Dissertação de mestrado em Estruturas de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2004.

PEREIRA, E. - *Ensaio de "Pull Off" para avaliar a resistência à compressão do concreto: uma alternativa aos ensaios*. Revista Ibracon de estruturas e materiais normalizados no Brasil. Volume 5, Numero 6. Brasil 2012.

PÉREZ, Y.A.; GRABOWSKI, S. L.; PADARATZ, I. J.; BARRA, B. S. – *Aplicação do método eco-impacto para a estimativa da espessura de concreto em pavimentos rígidos*. CBR&C BRASVIAS, Cataratas del iguazú. Brasil 2011

PIPA, M. - *Evolução da Regulamentação de Estruturas em Portugal*. LNEC, 2006

RIBEIRO, T., CÓIAS, V. - *"Construdoctor": Um Serviço de Pré- Diagnóstico via internet*. 3º Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios (Tema III: Parque Edificado Recente). LNEC, Lisboa, 2003: 1037 – 1046.

RIPPER, T. – *Reabilitação Optimizada de Estruturas de Betão Armado*. Construção Magazine, nº22, 4º Trimestre 2007.

RODRIGUES, M. - *Caracterização de materiais e sistemas construtivos através de ensaios laboratoriais e "in situ"*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2010.

RODRIGUES, R.; SILVA, F. – *Análise estatística da patologia em edifícios correntes*. In Congresso Construção 2007 - 3.º Congresso Nacional, UC. Coimbra 2007.

RODRIGUES, R.; WESTCOT, P. - *Sistema pericial de apoio ao diagnóstico de patologias em edifícios*. In PATORREB2003 - 1.º Encontro Nacional sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios. Porto: FEUP, 2003, pp. 425-436.

SAMPAIO, C. - *Caracterização do betão através de técnicas não-destrutivas*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2010.

SALTA, M. - *Prevenção da Corrosão no betão armado*. Seminários de materiais de ambientes marítimos. Funchal, 2007.

SIMAS, M. – *Sistemas de proteção do betão face a carbonatação*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2007.

SOUSA, M. - *Patologia da construção: elaboração de um catálogo*. Dissertação de Mestrado em Construção de Edifícios. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2004.

SOUSA, M.; FREITAS, P.; - *Patologia da construção: um catálogo* - 2nd international symposium, LNEC. Lisboa, 2003, pp. 401-408.

TAVARES, A.; COSTA, A.; VARUM, H. – *Manual de Reabilitação e Manutenção de Edifícios, Guia de Intervenção*. Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, INOVADOMUS. Aveiro, 2011

TEOTÓNICO, J. M. - *A Laboratory Manual for Architectural Conservations*. International Centre for the Study of Preservation of Cultural Property (ICCROM), 1988.

VASCONCELOS PAIVA, J.; CANSADO CARVALHO, E. ; CAVALHEIRO SILVA, A. – *Patologia das Construções*. 1º Encontro Sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios de Habitação, Julho de 1985, LNEC, Lisboa.

VALLUZZI, M.R., PORTO, F., MODENA, C. (2004). “*Behaviour and modelling of strengthened three-leaf stone masonry walls*” RILEM Materials and Structures; v 37, n 267, April 2004, pp. 184-192

VIEITEZ CHARMOSA, J.A. – *Patologia Estrutural. Aspectos Químicos, Normativa e Estadística*. Tesis Docotoral, UPN, Março, 1984.

## REFERENCIAS WEBGRÁFICAS

[W1] - <http://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/ecoblog/mgondiaj/files/2013/03/Estructuras-de-hormigon-armado.jp> . Acedido em 18 de Outubro de 2013

[W2] - <http://equipedeobra.pini.com.br/construcao-reforma/59/conceitos-estruturais-conheca-e-entenda-como-funcionam-alguns-dos-284523-1.aspx>. Acedido em 23 de Outubro de 2013

[W3] - [http://www-ext.lnec.pt/LNEC/DE/NESDE/divulgacao/Edif\\_post\\_1960.html](http://www-ext.lnec.pt/LNEC/DE/NESDE/divulgacao/Edif_post_1960.html). Acedido em 23 Setembro de 2013

[W4] - <http://www.solostocks.pt/venda-produtos/instrumentos-oticos/outros-instrumentos-oticos/boroscopio-ve310-685614> Acedido a 15 de Setembro 2014

[W5] - <http://www.directindustry.com/prod/proceq/concrete-test-hammers-7242-52715.html>. Acedido em 19 de Março de 2014

[W6] – <http://www.prppg.ufpr.br/ppgcc/taxonomy/term/47?page=4>.. Acedido em 22 de Junho de 2014

[W7] – <http://www.oz-diagnostico.pt/fichas/1F%20007.pdf> Acedido em 14 de Setembro de 2014

[W8] – [http://www-pub.iaea.org/mtcd/publications/pdf/tcs-17\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/mtcd/publications/pdf/tcs-17_web.pdf). Acedido a 14 de Setembro de 2014

[W9] – [http://www.estig.ipbeja.pt/~pdnl/Subpaginas/Conservacao%20de%20edificios\\_files/Documentos/Aulas/BA/BA%20-%20NDT\\_web.pdf](http://www.estig.ipbeja.pt/~pdnl/Subpaginas/Conservacao%20de%20edificios_files/Documentos/Aulas/BA/BA%20-%20NDT_web.pdf). Acedido a 22 de Setembro de 2014

[W10] – <http://www.oz-diagnostico.pt/fichas/1F%20022.pdf>. Acedido a 21 de Setembro de 2014

[W11] – [http://www.pdig.pt/ensaios/medicao\\_profundidade.html](http://www.pdig.pt/ensaios/medicao_profundidade.html). Acedido a 14 de outubro de 2014.

[W12] - <http://portuguese.alibaba.com/product-free/chloride-ion-meter-dt-2501a--100778084.html>. Acedido a 11 de Outubro de 2014.

[W13] – <http://www.proceq.com/po/produtos/teste-de-concreto/resistividade-da-superficie.html>

[W14] – <http://www.amperis.com/pt/produtos/camaras-termograficas/camara-termografica-irdl700e/>. Acedido a 11 de Setembro de 2014

[W15] – [http://www.digeo.it/?page\\_id=32](http://www.digeo.it/?page_id=32). Acedido a 4 de Outubro de 2014

[W16] – <http://www.oz-diagnostico.pt/fichas/1F%20016.pdf>. Acedido a 4 de Outubro de 2014

[W17] – <http://reabilitacaodeedificios.dashofer.pt/?s=modulos&v=capitulo&c=12059>. Acedido a 5 de Outubro de 2014



# **ANEXO**



## **A.1 Referências bibliográficas do catálogo**

### **FICHA 01 TPS OBSERVAÇÃO BOROSCÓPICA DE FENDAS**

- [1.1] - <http://www.structurearchives.org/article.aspx?articleID=1144>. Acedido a 14 de Setembro de 2014.
- [1.2] - PADRÃO, J. - *Técnicas de Inspeção e Diagnóstico em Estruturas*. Dissertação de mestrado em Estruturas de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2004.
- [1.3] - CÓIAS, V. - *Inspeções e ensaios na reabilitação de edifícios*. Lisboa: IST Press, Setembro de 2006. ISBN 972-8469-53-5
- [1.4] - FERREIRA, J. – *Técnicas de diagnóstico de patologias em edifícios*. Dissertação de Mestrado em Construção. Porto: FEUP, 2010.
- [1.5] - <http://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/structures/bridge/13028/index.cfm>. Acedido a 3 de Outubro de 2014.
- [1.6] - <http://www.oz-diagnostico.pt/fichas/1F%20025.pdf> . Acedido a 15 de Setembro de 2015

### **FICHA 2 TPS MONITORIZAÇÃO DA ABERTURA DE FENDAS E FISSURAS COM FISSURÓMETRO**

- [2.1] – ABREU, D. M. - *Técnicas de Diagnósticos Utilizadas em Engenharia Civil*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, FEUP. Porto, 2013
- [2.2] - CÓIAS, V. - *Inspeções e ensaios na reabilitação de edifícios*. Lisboa: IST Press, Setembro de 2006. ISBN 972-8469-53-5
- [2.3] – JOHNSON, R. W., - *The significance of cracks in low-rise buildings*, Structural Survey, Vol. 20, Number 5, pp. 155-161, 2002.
- [2.4] - <http://reabilitacaodeedificios.dashofer.pt/?s=modulos&v=capitulo&c=12059>. Acedido a 5 de Setembro de 2014.
- [2.5] - PADRÃO, J. - *Técnicas de Inspeção e Diagnóstico em Estruturas*. Dissertação de mestrado em Estruturas de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2004.
- [2.6] - FERREIRA, J. – *Técnicas de diagnóstico de patologias em edifícios*. Dissertação de Mestrado em Construção. Porto: FEUP, 2010.
- [2.7] – PEREIRA, A., - *Sistema de inspeção e diagnóstico de estuques correntes em paramentos interiores*, Lisboa: Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, 2008.

### **FICHA 3 TPS MEDIÇÃO COM ALONGÂMETRO DE DESLOCAMENTOS E FISSURAS**

[3.1] – ALVES, A. – Reabilitação e reforço de pontes de alvenaria. Dissertação para a obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico. Lisboa, 2009

[3.2] - CÓIAS, V. - *Inspeções e ensaios na reabilitação de edifícios*. Lisboa: IST Press, Setembro de 2006. ISBN 972-8469-53-5

[3.3] - <http://reabilitacaodeedificios.dashofer.pt/?s=modulos&v=capitulo&c=12059>

[3.4] – PADRÃO, J. - *Técnicas de Inspeção e Diagnóstico em Estruturas*. Dissertação de mestrado em Estruturas de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2004

### **FICHA 04 TAM ENSAIO ESCLEROMÉTRICO – ESCLERÓMETRO DE SCHMIDT**

[4.1] - CÓIAS, V. - *Inspeções e ensaios na reabilitação de edifícios*. Lisboa: IST Press, Setembro de 2006. ISBN 972-8469-53-5

[4.2] - GONÇALVES, A. - *Estudo da influência dos factores de aplicação no desempenho de argamassas de revestimento recorrendo a técnicas de ensaio “in situ”*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2010.

[4.3] - [http://aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/esclerometro\\_14jun2011.pdf](http://aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/esclerometro_14jun2011.pdf). Acedido a 15 de Setembro de 2014.

[4.4] - <http://patologiadaconstrucao.blogspot.pt/2012/09/para-realizar-pericias-e-avaliacoes.html>. Acedido a 15 de Setembro de 2014.

[4.5] – SAMPAIO, C. – Caracterização do betão através de técnicas não destrutivas. Dissertação de mestrado em engenharia civil. FEUP, Porto, 2010.

[4.6] – AMARAL, S. – Inspeção e diagnóstico de edifícios correntes. Estudo de um caso real. Trabalho para obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil. ISEL, Lisboa, 2013.

[4.7] - <http://www.oz-diagnostico.pt/fichas/1F%20001.pdf>. Acedido a 15 de Setembro de 2014.

[4.8] - EVANGELISTA, - A. Avaliação da resistência do concreto usando diferentes ensaios não destrutivos. Tese de Doutoramento em Ciências em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ-Brasil, 2002.

### **FICHA 05 TAM EXTRAÇÃO DE CAROTES DE BETÃO PARA DETERMINAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS DE RESISTÊNCIA**

[5.1] PIRES, S. – *Estudo comparativo da resistência a compressão do betão em provetes normalizados e em estrutura betonada*. Dissertação para obtenção do grau de mestre em engenharia dos materiais. Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, 2011

[5.2] CÓIAS, V. - *Inspeções e ensaios na reabilitação de edifícios*. Lisboa: IST Press, Setembro de 2006. ISBN 972-8469-53-5

[5.3] PADRÃO, J. - *Técnicas de Inspeção e Diagnóstico em Estruturas*. Dissertação de mestrado em Estruturas de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2004.

[5.4] - <http://www.prppg.ufpr.br/ppgcc/taxonomy/term/47?page=4>.. Acedido em 22 de Junho de 2014

#### **FICHA 06 TAM ENSAIO ESTÁTICOS DE CURTA DURAÇÃO EM ESTRUTURAS**

[6.1] - CÓIAS, V. - *Inspeções e ensaios na reabilitação de edifícios*. Lisboa: IST Press, Setembro de 2006. ISBN 972-8469-53-5

[6.2] - PADRÃO, J. - *Técnicas de Inspeção e Diagnóstico em Estruturas*. Dissertação de mestrado em Estruturas de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2004

#### **FICHA 07 TPOE ENSAIO DE ULTRASSONS EM BETÃO**

[7.1] – <http://reabilitacaodeedificios.dashofer.pt/?s=modulos&v=capitulo&c=12052> . Acedido a 15 de Setembro de 2014.

[7.2] - CÓIAS, V. - *Inspeções e ensaios na reabilitação de edifícios*. Lisboa: IST Press, Setembro de 2006. ISBN 972-8469-53-5.

[7.3] – SANTOS, L. - *Análise “in-situ” do comportamento mecânico de argamassas de revestimento de fachadas*. Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2012.

[7.4] - IAEA. - *Guidebook on non-destructive testing of concrete structures*. Viena, Austria, 2002.

[7.5] - SAMPAIO, C. *Caracterização do betão através de técnicas não-destrutivas*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2010.

[7.6] - GONÇALVES, A. *Estudo da influência dos fatores de aplicação no desempenho de argamassas de revestimento recorrendo a técnicas de ensaio “in-situ”*. Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2012.

[7.7] - CEN, NP EN 12504-4 - *Ensaio do betão nas estruturas. Parte 4: Determinação da velocidade de propagação dos ultrassons*, 2004.

[7.8] - FLORES-COLEN, I. - *Metodologia de avaliação do desempenho em serviço de fachadas rebocadas na ótica da manutenção preditiva*. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, Lisboa: Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2009.

[7.9] - MENDONÇA, B. *Estudo do desempenho das argamassas hidráulicas. Influência do ligante*. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Lisboa: Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2007.

[7.10] – RIBEIRO, J. – *Aplicação de ultrassons na caracterização de estruturas de betão*. Dissertação para obtenção do grau de mestre em engenharia civil. Universidade Nova de Lisboa, Lisboa 2013.

#### **FICHA 08 TPOE AVALIAÇÃO DA INTEGRIDADE DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS PELO MÉTODO IMPACTO-ECO**

[8.1] – CÓIAS, V. - *Inspecções e ensaios na reabilitação de edifícios*. Lisboa: IST Press, Setembro de 2006. ISBN 972-8469-53-5

[8.2] - PADRÃO, J. - *Técnicas de Inspeção e Diagnóstico em Estruturas. Dissertação de mestrado em Estruturas de Engenharia Civil*, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2004.

[8.3] – PEREZ, Y.; MOMM, L.; GRABOWSKI, S.; PADARATZ, I.; BARA, B. – *Estimativa da espessura de concreto em pavimentos rígidos*. Congresso CBR&C BRASVIAS, Universidade Federal de Santa Catarina. Brasil, 2011.

#### **FICHA 09 TRQE AVALIAÇÃO DA TAXA DE CORROSÃO DE ARMADURAS – RESISTÊNCIA DE POLARIZAÇÃO**

[9.1] - CÓIAS, V. - *Inspecções e ensaios na reabilitação de edifícios*. Lisboa: IST Press, Setembro de 2006. ISBN 972-8469-53-5

[9.2] - BUONO, L. - *Corrosão de armaduras em estruturas de concreto armado - Ensaio eletroquímicos*. Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2006.

[9.3] - Execução de observações, inspeções e ensaios in situ não destrutivos ou reduzidamente intrusivos, de levantamento, diagnóstico e controlo de qualidade. Caderno de encargos - Condições técnicas especiais, Parte III.

[9.4] - VIEIRA, G; MOLIN, D; LIMA, F. *Resistência e durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados provenientes de resíduos de construção e demolição*. Engenharia Civil, UM, Número 19, 2004.

[9.5] - CASCUDO, O. - *O controle da corrosão de armaduras de concreto*. Editora PINI, São Paulo, 1997

[9.6] - PADRÃO, J. - *Técnicas de Inspeção e Diagnóstico em Estruturas*. Dissertação de mestrado em Estruturas de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2004

[9.4] - FERREIRA, J. – *Técnicas de diagnóstico de patologias em edifícios*. Dissertação de Mestrado em Construção. Porto: FEUP, 2010.

[9.5] - [http://www-pub.iaea.org/mtcd/publications/pdf/tcs-17\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/mtcd/publications/pdf/tcs-17_web.pdf). Acedido a 14 de Setembro de 2014

### **FICHA 10 TRQE AVALIAÇÃO DA PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO**

[10.1] - OLIVEIRA, J. *Avaliação de estruturas de edifícios em concreto armado com vistas à reabilitação*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil da Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2008.

[10.2] - CÓIAS, V. - *Inspecções e ensaios na reabilitação de edifícios*. Lisboa: IST Press, Setembro de 2006. ISBN 972-8469-53-5

[10.3] - SIMAS, M. *Sistemas de protecção do betão face à carbonatação*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2007.

[10.4] - <http://www.peritos.eng.br/ferramentas/fenolfaleina>. Acedido a 11 de Setembro de 2014.

[10.5] - CHANG, C., CHEN, J. *The experimental investigation of concrete carbonation depth*, Cement and Concrete Research, 2006.

[10.6] - GONÇALVES, A., SALTA, M. - *Métodos de caracterização da resistência dos betões em ambientes agressivos*. Prevenção da Corrosão em Estruturas de Betão Armado, Seminário, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Outubro, pp. 13-55; Portugal, 1996.

[10.7] - FLORES-COLEN, I. - *Metodologia de Avaliação do Desempenho em Serviço de Fachadas Rebocadas na Ótica da Manutenção Predicativa*. Dissertação de Doutoramento em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa, 2009.

### **FICHA 11 TRQE TÉCNICA DE MEDIÇÃO DOS POTENCIAIS ELÉTRICOS – DETECÇÃO DA CORROSÃO ATIVA DAS ARMADURAS**

[11.1] - CÓIAS, V. - *Inspecções e ensaios na reabilitação de edifícios*. Lisboa: IST Press, Setembro de 2006. ISBN 972-8469-53-5

[11.2] - MAIA, J. - *Inspecções e Diagnóstico. Tecnologias para a manutenção e reabilitação de estruturas*. Núcleo de Pontes, Geotecnia E Reabilitação Estrutural Direcção de Construção Civil, ISQ - Instituto de Soldadura e Qualidade, Oeiras, 2007.

[11.3] - ROCHA, F.- *Leituras de potencial de corrosão em estruturas de concreto armado: Influência da relação água/cimento, da temperatura, da contaminação por cloretos, da espessura de cobrimento e do teor de umidade do concreto*. PPGCEC (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil da Universidade Federal do Paraná), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010

[11.4] - STM C 876 - *Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete*, 2009.

[11.5] – AMARAL, S. – *Inspecção e diagnóstico de edifícios correntes. Estudo de um caso real*. Trabalho para obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil. ISEL, Lisboa, 2013.

#### **FICHA 12 TRQE DETEÇÃO DO TEOR DE CLORETOS DO BETÃO**

[12.1] – SILVA, T. – *Análise técnico-económica de alguns tipos de reparação de estruturas de betão armado expostas a um ambiente marítimo*. Dissertação para a obtenção do grau de mestre em engenharia civil. IST, Lisboa, 2007.

[12.2] - CÓIAS, V. - *Inspecções e ensaios na reabilitação de edifícios*. Lisboa: IST Press, Setembro de 2006. ISBN 972-8469-53-5.

[12.3] - PADRÃO, J. - *Técnicas de Inspecção e Diagnóstico em Estruturas*. Dissertação de mestrado em Estruturas de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2004.

[12.4] - LAGE, J. – *Estudo da influência da amostragem e da metodologia de colheita de betão em pó para a determinação de cloretos*. Dissertação para obtenção do grau de mestre em engenharia civil. IST, Lisboa, 2013.

[12.5] – AMARAL, S. – *Inspecção e diagnóstico de edifícios correntes. Estudo de um caso real*. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil. ISEL, Lisboa, 2013.

#### **FICHA 13 TRQE MEDIÇÃO DA RESISTIVIDADE DO BETÃO – DETEÇÃO DA CORROSÃO ATIVA DAS ARMADURAS**

[13.1] - MEDEIROS, M. – *Estudo das variáveis que influenciam nas medidas de resistividade de estruturas de concreto armado*. Revista Engenharia civil UM, Número 12, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – São Paulo, Brasil 2001

[13.2] - <http://www.proceq.com/po/produtos/teste-de-concreto/resistividade-da-superficie.html>.  
Acedido a 17 de Setembro de 2014.

[13.3] - SAHUNICO, M. – *Utilização de métodos não destrutivos e semi-destrutivos na avaliação de pontes de concreto*. Dissertação para a obtenção do grau de mestre em Engenharia. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.

[13.4] - PADRÃO, J. - *Técnicas de Inspeção e Diagnóstico em Estruturas*. Dissertação de mestrado em Estruturas de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2004.

[13.5] - CÓIAS, V. - *Inspeções e ensaios na reabilitação de edifícios*. Lisboa: IST Press, Setembro de 2006. ISBN 972-8469-53-5.

[13.3] - *Execução de observações, inspeções e ensaios in situ não destrutivos ou reduzidamente intrusivos, de levantamento, diagnóstico e controlo de qualidade*. Caderno de encargos - Condições técnicas especiais, Parte III.

#### **FICHA 14 TPRE ENSAIO TERMOGRÁFICO**

[14.1] – MENDONÇA, L. - *Termografia de infra vermelhos. Inspeção do betão* Revista Engenharia & Vida, nº 16, Setembro 2005, pp. 53-57

[14.2] - CÓIAS, V. - *Inspeções e ensaios na reabilitação de edifícios*. Lisboa: IST Press, Setembro de 2006. ISBN 972-8469-53-5

[14.3] – BARREIRA, E.; FREITAS, V. P.; DELGADO, J. M. P. Q.; RAMOS, N. M. M. – *Thermography applications in the study of buildings hygrothermal behavior*. LFC – Laboratório de física de construções, FEUP, 2006.

[14.4] – MÁRIO, M. – *Uso da termografia como ferramenta não destrutiva para avaliação de manifestações patológicas ocultas*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil, 2011.

[14.5] – AMARAL, S. F. M. – *Inspeção e diagnóstico de edifícios correntes. Estudo de um caso real*. Trabalho de projeto para a obtenção do grau de mestre em engenharia civil. ISEL, Lisboa, 2013.

[14.6] - SOUSA, L., - *Aplicação de Termografia no Estudo do Isolamento Térmico de Edifícios*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, 2010.

[14.7] – GROSSO, M. – *Análise termográfica de defeitos de corrosão em aços revestidos por materiais compósitos*. Projeto de graduação para obtenção do título de Engenheiro Metalúrgico, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Brasil, 2011.

[14.8] – RAO, D. S. P. – *Infrared thermography and its applications in civil engineering*. The Indian Concrete Journal, 2008.

[14.9] – BARREIRA, S. B. M. – *Aplicação da termografia ao estudo do comportamento higrotérmico dos edifícios*. Dissertação para obtenção do grau de mestre, FEUP. Porto, 2004.

[14.10] - ABREU, D. M. - *Técnicas de Diagnósticos Utilizadas em Engenharia Civil*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, FEUP. Porto, 2013.

[14.11] - <http://www.spybuilding.com/private/admin..> Acedido a 5 de Setembro de 2014.

[14.12] - <http://www.amperis.com/pt/produtos/camaras-termograficas/camara-termografica-irdl700e/>. Acedido a 5 de Setembro de 2014.

[14.13] - <http://www.clickplus.pt/p50596>. Acedido a 5 de Setembro de 2014.

[14.14] - <http://www.cercae.com/p/termografia-certificacion-energetica.html>. Acedido a 5 de Setembro de 2014.

## **FICHA 15 TEEM DETEÇÃO DE ARMADURAS E AVALIAÇÃO DO SEU DIÂMETRO E RECOBRIMENTO**

[15.1] – GOUVEIA, J. - *Degradação do betão por fenómenos de carbonatação: consequências nas armaduras das edificações após anos 50 na cidade Lisboa*. Dissertação para a obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Lisboa, 2010.

[15.2] - SAHUNICO, M. – *Utilização de métodos não destrutivos e semi-destrutivos na avaliação de pontes de concreto*. Dissertação para a obtenção do grau de mestre em Engenharia. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.

[15.3] - CÓIAS, V. - *Inspeções e ensaios na reabilitação de edifícios*. Lisboa: IST Press, Setembro de 2006. ISBN 972-8469-53-5 [15.4] - ABREU, D. M. - *Técnicas de Diagnósticos Utilizadas em Engenharia Civil*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, FEUP. Porto, 2013.

[15.5] - AMARAL, S. F. M. – *Inspeção e diagnóstico de edifícios correntes. Estudo de um caso real*. Trabalho de projeto para a obtenção do grau de mestre em engenharia civil. ISEL, Lisboa, 2013.

[15.6] - PADRÃO, J. - *Técnicas de Inspeção e Diagnóstico em Estruturas*. Dissertação de mestrado em Estruturas de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2004

## **FICHA 16 TEEM MEDIÇÃO DE INCLINAÇÃO EM ESTRUTURAS – INCLINÓMETRO**

[16.1] - CÓIAS, V. - *Inspeções e ensaios na reabilitação de edifícios*. Lisboa: IST Press, Setembro de 2006. ISBN 972-8469-53-5

[16.2] - MARQUES, L. – Monotorização estática e dinâmica: aplicações. Tese de mestrado em engenharia civil. Universidade do Minho. Escola de Engenharia. Braga 2007

[16.3] – FAIRA, R. – Procedimentos com vista à monitorização de estruturas – teste do sonar e ensaio da ponte do pinhão. Dissertação para obtenção do grau de mestre em engenharia civil. FEUP, Porto, 2008

## **FICHA 17 THd METODO DE FIGG – PERMEABILIDADE APARENTE DO BETÃO AO AR E ÁGUA**

[17.1].[http://www.upf.br/cetecservicos/index.php?option=com\\_content&view=article&id=13:ensaios-da-dureza-do-concreto&catid=1:ultimas-noticias&Itemid=8](http://www.upf.br/cetecservicos/index.php?option=com_content&view=article&id=13:ensaios-da-dureza-do-concreto&catid=1:ultimas-noticias&Itemid=8). Acedido a 5 de Setembro de 2014.

[17.2] - CÓIAS, V. - *Inspeções e ensaios na reabilitação de edifícios*. Lisboa: IST Press, Setembro de 2006. ISBN 972-8469-53-5 [14.3] – FERREIRA, R. – Avaliação de ensaios de durabilidade do betão. Dissertação para a obtenção do grau de mestre em engenharia civil. Escola de Engenharia da Universidade do Minho. Guimarães, 2000.

[17.4] – SENTONE, D. – Desenvolvimento de método para medida de permeabilidade superficial de revestimentos de argamassa. Dissertação para a obtenção do título de Mestre em Engenharia. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.