



# SEGURANÇA SÍSMICA DAS CONSTRUÇÕES INFORMAÇÃO DE SUPORTE COM RECURSO A ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS "IN-SITU"

Carlos Mesquita, Eng<sup>o</sup>. / Oz-Ida  
Direcção Técnica



## 1. Introdução

### Levantamento construtivo/estrutural

- Levantamento arquitectónico
- Levantamento dimensional
- Caracterização dos materiais
  - Natureza
  - Propriedades mecânicas
- Caracterização do solo/fundação

### Levantamento de anomalias estruturais

- Detecção de sintomas de deficiente desempenho



Avaliação do risco de corrosão activa das armaduras através da medição das potencialidades electricas

## 2. Levantamento construtivo/estrutural

### 2.1 - Levantamento arquitectónico

3

Diagnostico,  
Levantamento  
e Controlo de Qualidade  
em Estruturas

Informação de suporte com recurso a Ensaios Não Destrutivos "in-situ"

Avaliação do risco de corrosão activa das armaduras através da medição das potencialidades electricas

## 2. Levantamento construtivo/estrutural

### 2.2 - Levantamento dimensional

Diagnostico,  
Levantamento  
e Controlo de Qualidade  
em Estruturas

Informação de suporte com recurso a Ensaios Não Destrutivos "in-situ"

Avaliação do risco de corrosão activa das armaduras através da medição das potências eléctricas

## 2.2 – Levantamento dimensional

- Termografia (ASTM C1060)

The image shows two FLIR thermal camera screenshots. The top one shows a room with a temperature of 13.9°C and a date of 2010-05-12 10:55:35. The bottom one shows a similar scene with a temperature of 17.0°C and a date of 2010-05-12 10:32:43. To the right, there is a structural diagram of a wall with various points marked for inspection. A central photograph shows a man in a brown vest using a handheld device in a room.

**Informação de suporte com recurso a Ensaios Não Destrutivos "in-situ"**

Avaliação do risco de corrosão activa das armaduras através da medição das potências eléctricas

## 2.2 – Levantamento dimensional

- Impacto-eco – medição da espessura de betão (ASTM C1383-98a)

**Impact-echo principle**

The diagram illustrates the impact-echo principle. It shows a concrete slab of thickness  $T$  with an impact point  $P$  and a displacement transducer  $S$ . The resulting waves include a surface wave  $R$  and successive P-wave arrivals  $S$ . The time interval  $\Delta t$  between the first and second arrivals is related to the slab thickness by the equation  $\Delta t = 2T / C_p$ .

**Surface displacement**

The graph shows the surface displacement over time. The first peak is the R-wave, and subsequent peaks are successive P-wave arrivals. The time interval  $\Delta t$  is marked between the first and second peaks.

**Frequency spectrum**

The frequency spectrum shows a peak at frequency  $f$ . The relationship between frequency and thickness is given by  $f = \frac{1}{\Delta t}$  and  $T = C_p / (2f)$ .

The screenshot shows the software interface for impact-echo testing. It displays two waveforms: a top one with a cursor at 2048 samples and a bottom one with a cursor at 439 kHz. The analysis results are as follows:

kHz	A	B	C
1	4.39	4.39	4.39
2	4.39	4.39	4.39
3	4.39	4.39	4.39
4	4.39	4.39	4.39


Additional parameters shown: Thickness: 450 mm, Wave Speed: 3950 m/s, Thickness Freq: 4.39 kHz, kHz Max: 60.

**Informação de suporte com recurso a Ensaios Não Destrutivos "in-situ"**

Avaliação do risco de corrosão activa das armaduras através da medição das potências eléctricas

## 2.3 – Caracterização dos materiais

- Constituição – observações boroscópicas



Furo de inspecção FI-1  
Escala: 1:5

Betonilha de regularização  
Revestimento do pavimento  
Leca  
Betão  
Revestimento do tecto

[cm]

7

0% Diagnóstico, Levantamento e Controlo de Qualidade em Estruturas

Informação de suporte com recurso a Ensaios Não Destrutivos "in-situ"

apcer INCT

Avaliação do risco de corrosão activa das armaduras através da medição das potências eléctricas

## 2.3 – Caracterização dos materiais

- Constituição – Levantamento de armaduras com o pacómetro (BS 1881: Part 204)

Calibração



Correlação entre a medição real e a efectuada com o micro-covermeter

micro (mm)

real (mm)

$y = 0.8166x + 1.8458$   
 $R^2 = 0.9098$

0% Diagnóstico, Levantamento e Controlo de Qualidade em Estruturas

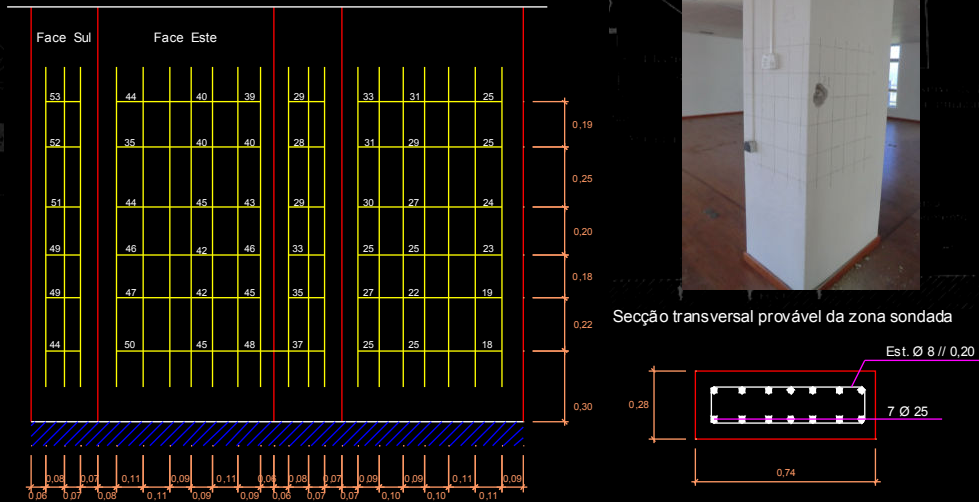
Informação de suporte com recurso a Ensaios Não Destrutivos "in-situ"

apcer INCT

## 2.3 – Caracterização dos materiais

- Constituição – Levantamento de armaduras com o pacómetro

Zona Z1 - Pilar Tipo P2



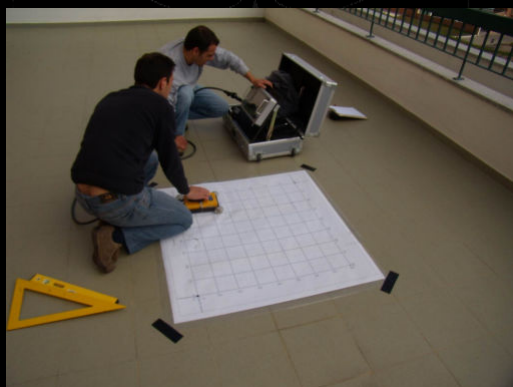
Informação de suporte com recurso a Ensaios Não Destrutivos "in-situ"



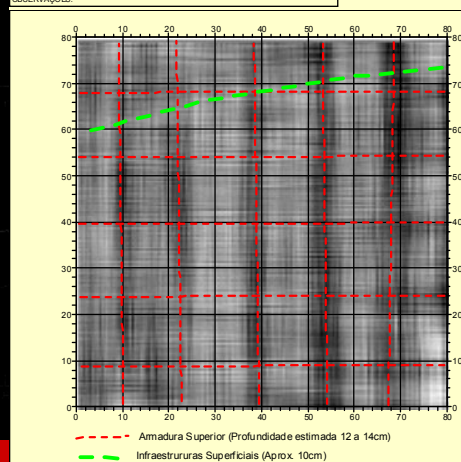
## 2.3 – Caracterização dos materiais

- Constituição – Levantamento de armaduras através de georadar (ASTM D6432)

Técnica de detecção e inspeção não destrutiva baseada na emissão e na recepção de radiação electromagnética



REF: GRELHA: G3 - AREA A3	DIMENSÕES: X: 80cm	Y: 80cm
ESP. ENTR E PERF IS: 0,1m	AMOSTRAGEM ESPACIAL: 0,05m	
FREQUENCIA CENTRAL: 1,8GHz		
DATA EXECUÇÃO:		
OBSERVAÇÕES:		



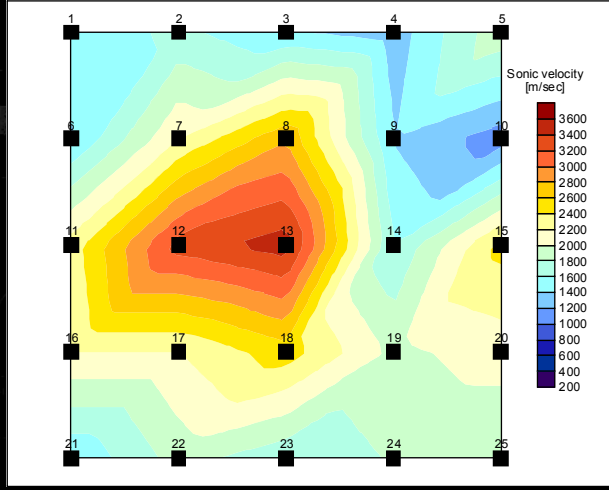
Informação de suporte com recurso a Ensaios Não Destrutivos "in-situ"



### 2.3 – Caracterização dos materiais

- Constituição/resistência – Ensaios sónicos em alvenaria

Igreja de São Francisco, Horta



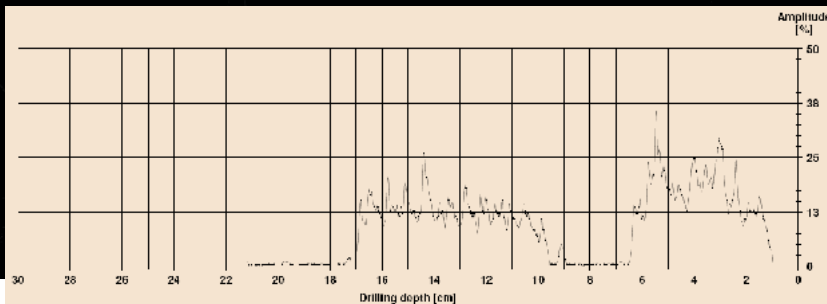
Informação de suporte com recurso a Ensaios Não Destrutivos "in-situ"



11

### 2.3 – Caracterização dos materiais

- Resistência - ensaios de resistografia em elementos de madeira



Informação de suporte com recurso a Ensaios Não Destrutivos "in-situ"



12

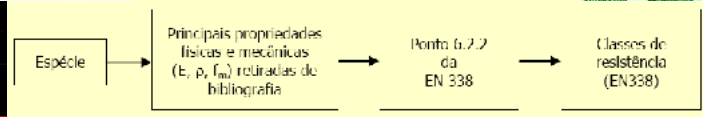
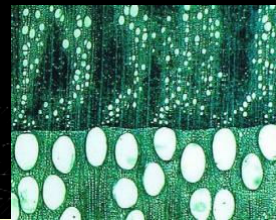
## 2.3 – Caracterização dos materiais

### • Resistência – Classes de resistência de madeira em serviço

- Identificação da espécie botânica e principais propriedades mecânicas (massa volúmica) através de ensaios laboratoriais de provetes de pequeno volume (2x2x5cm) recolhidos de zonas consideradas representativas;
- Identificação das principais características físicas e mecânicas das espécies presentes com base na bibliografia existente;
- Com base no ponto 6.2.2 da norma NP EN 338 e nas características mecânicas assumidas, aferir uma classe resistente.



Castanea sativa, Mill., vulgo castanho  
Densidade entre 540 e 650 kg/m<sup>3</sup>



13

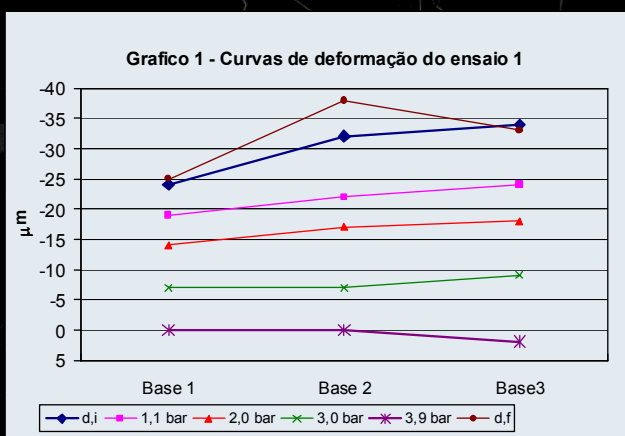


Informação de suporte com recurso a Ensaios Não Destrutivos "in-situ"



## 2.3 – Caracterização dos materiais

### • Resistência - ensaios das alvenarias com macacos planos SFJ (ASTM C1196-09)



14



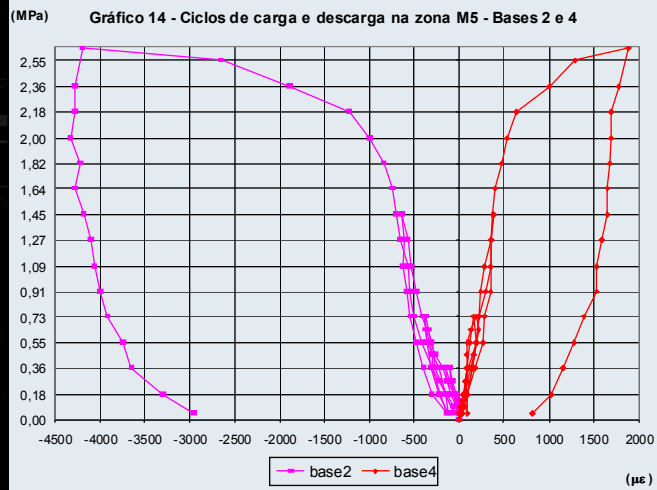
Informação de suporte com recurso a Ensaios Não Destrutivos "in-situ"



## 2.3 – Caracterização dos materiais

- Resistência - ensaios das alvenarias com macacos planos SFJ

(ASTM C1197-09)



Informação de suporte com recurso a Ensaios Não Destrutivos "in-situ"



15

## 2.3 – Caracterização dos materiais

- Resistência - ensaios de rotura sobre amostras de grande dimensão



Informação de suporte com recurso a Ensaios Não Destrutivos "in-situ"

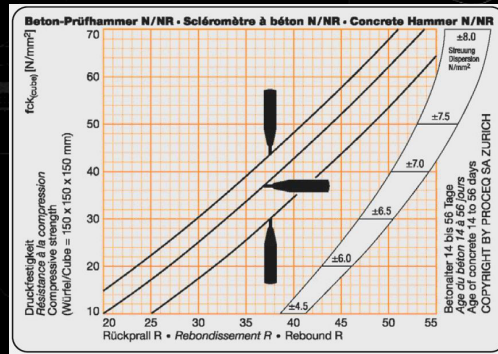


16



## 2.3 – Caracterização dos materiais

- Resistência - ensaios esclerométricos em betões (NP EN 12504-2)



17

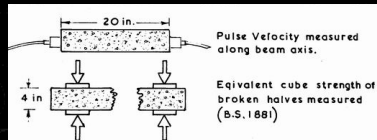


Informação de suporte com recurso a Ensaios Não Destrutivos "in-situ"



## 2.3 – Caracterização dos materiais

- Resistência – ensaios ultra-sónicos em betões (NP EN 12504-4)



The Correlation graph below was obtained by measuring pulse velocity and equivalent cube strength of beams as shown above

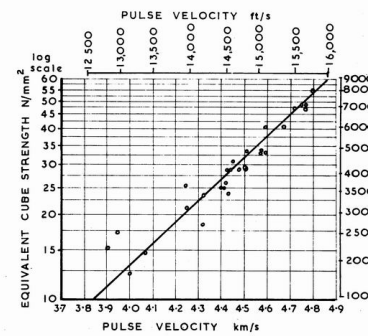
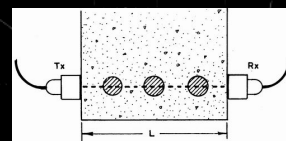


Fig.11 TYPICAL Strength-Velocity Correlation for Concrete



$L_1$  = Total length of path through bar diameters.

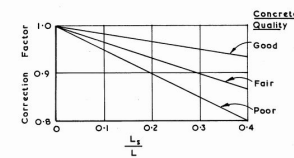


Fig.5: Influence of steel reinforcement on pulse velocity. Bars at right angles to path.

18



Informação de suporte com recurso a Ensaios Não Destrutivos "in-situ"



## 2.3 – Caracterização dos materiais

- Resistência - ensaios de rotura de betões sobre carotes (NP EN 12504-1)



19



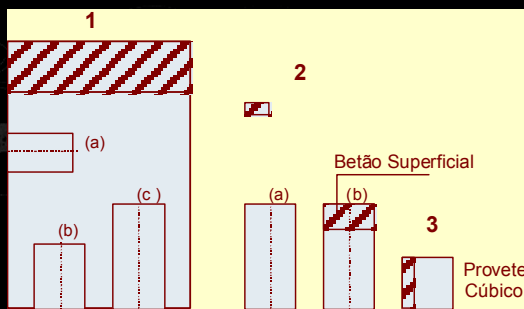
Informação de suporte com recurso a Ensaios Não Destrutivos "in-situ"



## 2.3 – Caracterização dos materiais

- Resistência - ensaios de rotura de betões sobre carotes

Conversão dos resultados segundo a Concrete Society



$$P_{(1b)} \cong 1,08 P_{(1a)}$$

$$P_{(2a)} = 1,06 P_{(1c)}$$

$$P_{(2b)} \cong \frac{1}{1,15} P_{(2a)}$$

$$f_{cm} = f_{cm,cl} \times \left(1 \pm \frac{12\%}{\sqrt{n}}\right) \times 1,25 \times 1,25$$

$$f_{ck} = f_{cm} \times (1 - 1,64 \times \delta) = 0,75 \times f_{cm}$$

$$P_{(1c)} \cong \frac{2}{1,5 + \frac{\ell}{\varnothing}} P_{(1b)}$$

$$P_{(3a)} \approx 1,25 P_{(2b)}$$

Processamento dos resultados segundo a NP EN 13791-2008

$$f_{ck, is} = f_{m(n), is} - k \quad \text{ou} \quad f_{ck, is} = f_{is, menor} + 4$$

n	3 a 6	7 a 9	10 a 14
k	7	6	5

20

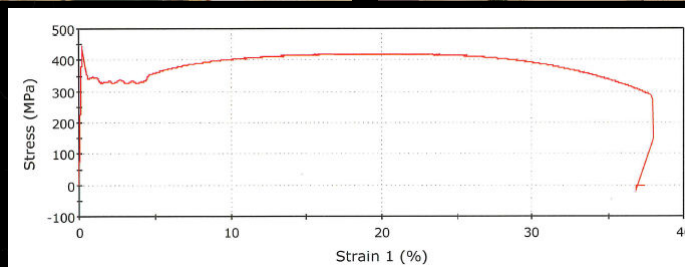
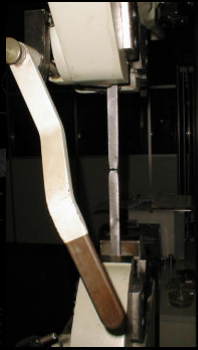


Informação de suporte com recurso a Ensaios Não Destrutivos "in-situ"



## 2.3 – Caracterização dos materiais

- Resistência - ensaios de rotura de aço sobre amostras (ISO 6892-1:2009)



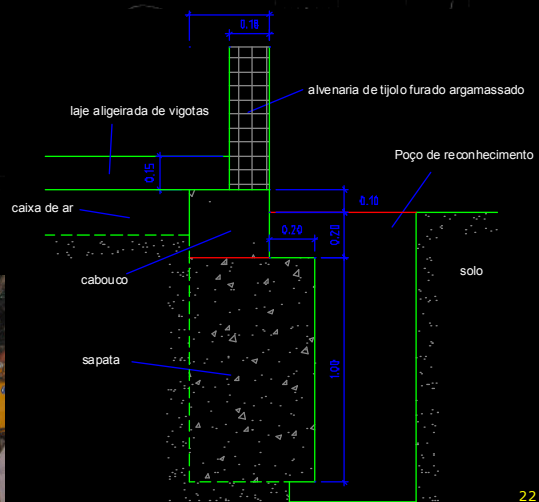
Informação de suporte com recurso a Ensaios Não Destrutivos "in-situ"



21

## 2.4 – Caracterização do solo/fundação

- Geometria – poços/sondagens



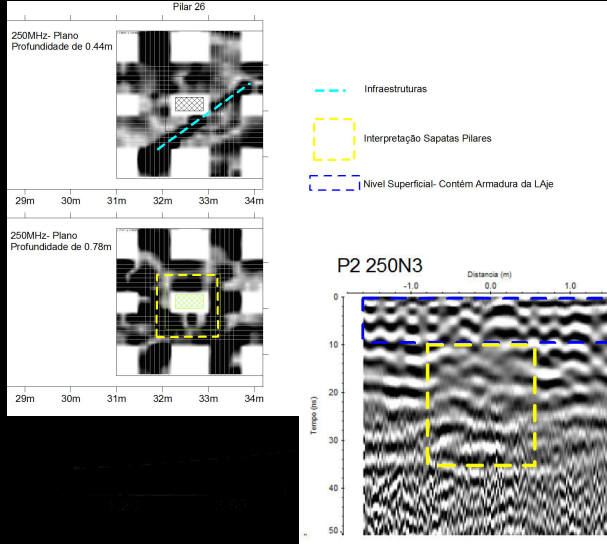
Informação de suporte com recurso a Ensaios Não Destrutivos "in-situ"



22

## 2.4 – Caracterização do solo/fundação

### • Geometria - Georadar



Avaliação do risco de corrosão activa das armaduras através da medição das potências eléctricas

Medição da Resistência Dinâmica Aparente (Rd) e Capacidade de Carga (p)

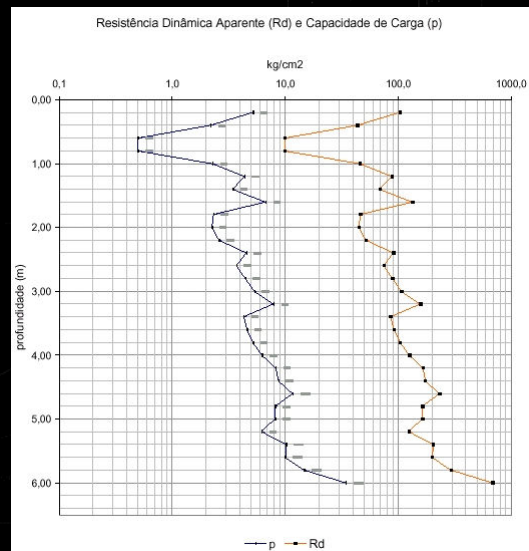


Informação de suporte com recurso a Ensaios Não Destrutivos "in-situ"



## 2.4 – Caracterização do solo/fundação

### • Ensaios geotécnicos

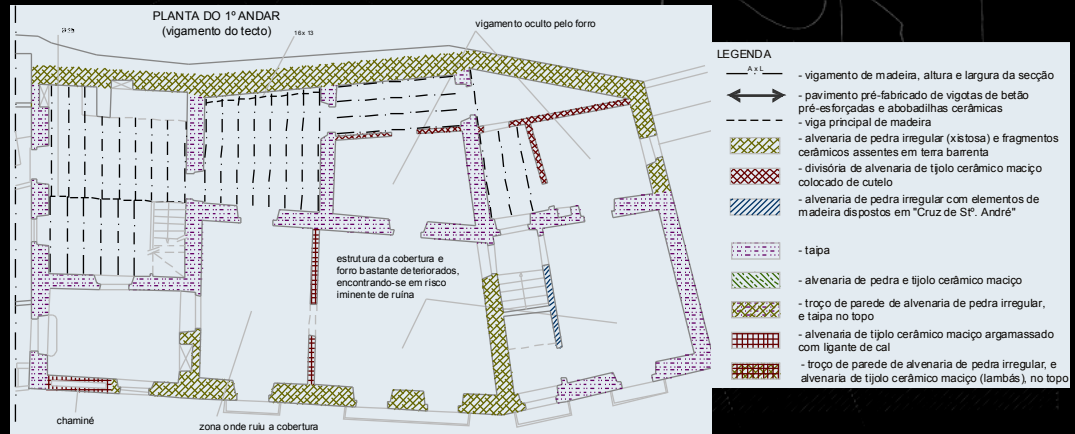


Informação de suporte com recurso a Ensaios Não Destrutivos "in-situ"



## 2.5 – Exemplos de levantamentos estruturais

### Casa do Lanternim, Mértola



25



Diagnóstico,  
Levantamento  
e Controlo de Qualidade  
em Estruturas

Informação de suporte com recurso a Ensaios Não Destrutivos "in-situ"



## 2.5 – Exemplos de levantamentos estruturais

### Edifício pombalino



26



Diagnóstico,  
Levantamento  
e Controlo de Qualidade  
em Estruturas

Informação de suporte com recurso a Ensaios Não Destrutivos "in-situ"



Avaliação do risco de corrosão activa das armaduras através da medição das potencialidades eléctricas

## 2.5 – Exemplos de levantamentos estruturais

### Edifício pombalino

7

Diagnóstico,  
Levantamento  
e Controlo de Qualidade  
em Estruturas

**Informação de suporte com recurso a Ensaios Não Destrutivos "in-situ"**

Avaliação do risco de corrosão activa das armaduras através da medição das potencialidades eléctricas

## 2.5 – Exemplos de levantamentos estruturais

### Antiga Fábrica FEU, Portimão

28

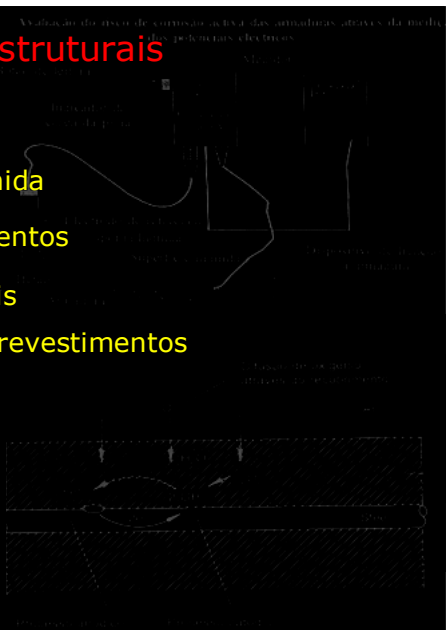
Diagnóstico,  
Levantamento  
e Controlo de Qualidade  
em Estruturas

**Informação de suporte com recurso a Ensaios Não Destrutivos "in-situ"**

### 3. Levantamento de anomalias estruturais

- Inspeção visual

- Fissuras com orientação bem definida
- Deformações excessivas de pavimentos
- Desaprumos de elementos verticais
- Empolamento e descolamento de revestimentos
- Corrosão severa das armaduras
- Lacunas da secção resistente



29



Informação de suporte com recurso a Ensaios Não Destrutivos "in-situ"



### 3. Levantamento de anomalias estruturais

#### Fissuras e deformações



30

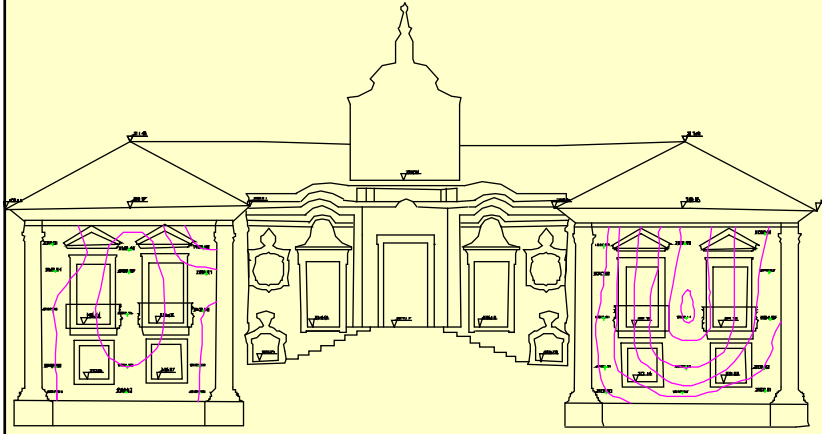


Informação de suporte com recurso a Ensaios Não Destrutivos "in-situ"



### 3. Levantamento de anomalias estruturais

#### Casa de Mateus, Vila Real



31

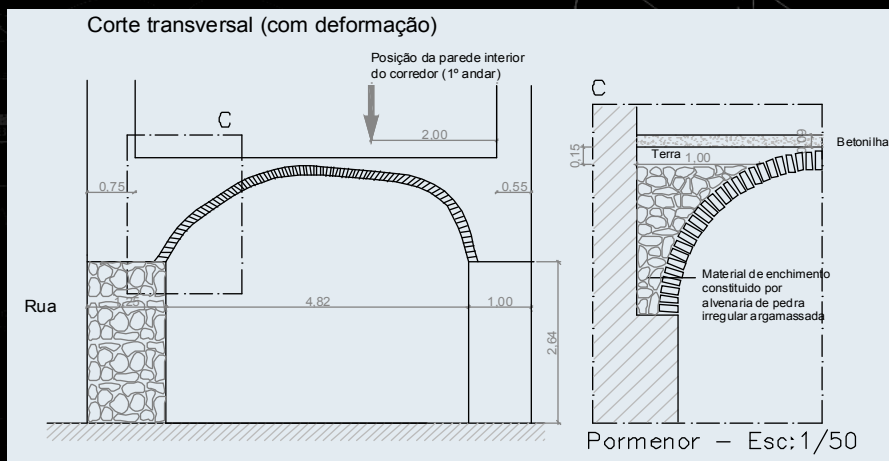


Informação de suporte com recurso a Ensaios Não Destrutivos "in-situ"



### 3. Levantamento de anomalias estruturais

#### Convento de S. Francisco, Elvas



32



Informação de suporte com recurso a Ensaios Não Destrutivos "in-situ"





Avaliação do risco de corrosão activa das armaduras através da medição das potências electricas

### 3. Levantamento de anomalias estruturais



ataque biótico de fungos



ataque activo de térmitas



**Palácio dos Ferrazes, Porto**

**LEGENDA:**

<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: yellow; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Vestígios de ataque localizado/ligero (&lt;1cm de perimetral) de larvas de ciclo larvar</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: orange; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Vestígios de ataque intenso (&gt;1cm de perimetral) de insectos de ciclo larvar</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: red; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Ataque intenso activo de insectos sociais (térmitas) - redução de secção &gt; 50%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: blue; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Vestígios de ataque ligeiro combinado de fungos xilófagos e insectos de ciclo larvar (&lt;1cm)</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: cyan; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Vestígios de ataque combinado de fungos xilófagos e insectos de ciclo larvar (&gt;1cm)</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: green; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Vestígios de ataque combinado de insectos sociais (térmitas) e larvas de ciclo larvar</li> </ul>
--	--

**Informação de suporte com recurso a Ensaios Não Destrutivos "in-situ"**





Avaliação do risco de corrosão activa das armaduras através da medição das potências electricas

### 3. Levantamento de anomalias estruturais

#### Alterações / Deterioração



Corte de armaduras





Corrosão



**Informação de suporte com recurso a Ensaios Não Destrutivos "in-situ"**





#### 4. Qualificação dos agentes

- Dispor de Sistema de Gestão da Qualidade (NP EN ISO 9001:2008)
- Implementação de Planos anuais de Formação para qualificação dos operadores, por técnica de inspecção e ensaio
- Calibração e manutenção dos equipamentos de inspecção, medição e ensaio, de acordo com um plano elaborado anualmente
- Implementação de procedimentos que permitam a avaliação dos fornecedores relevantes para a qualidade
- Realização periódica de Auditorias da Qualidade e, frequentemente, auditorias pontuais às intervenções em obra;
- Definição da forma de controlo das Não Conformidades através do desenvolvimento e acompanhamento de Acções Correctivas e Preventivas.
- Elaboração de Planos da Qualidade, tendo por objectivo localizar e descrever, no ciclo da realização da prestação do serviço, as acções de controlo a efectuar pelo executante, de forma planeada e sistemática.

35

#### 5. Notas finais

- Procurou-se com esta apresentação realçar a importância dos ensaios não destrutivos, "in-situ", no levantamento estrutural e no levantamento de anomalias das construções, indispensáveis para a verificação da segurança estrutural, no caso as acções sísmicas.
- De facto, existe hoje um vasto conjunto de técnicas de ensaio e de métodos de diagnóstico, muitas mostradas na apresentação, que permitem caracterizar, tanto quanto se queira, as construções e o seu desempenho estrutural.
- Procurou-se, igualmente, chamar a atenção para a Qualificação dos agentes intervenientes, devendo dispor de um Sistema de Gestão de Qualidade (NP EN ISO 9001:2008), devidamente implementado, cujo âmbito deverá abranger o tipo de serviço a prestar e que garanta, nomeadamente, a adequada formação dos operadores e a calibração dos equipamentos utilizados.

36

Avaliação do risco de corrosão activa das armaduras através da medição dos potenciais eléctricos

Obrigado pela V. atenção

[www.oz-diagnostico.pt](http://www.oz-diagnostico.pt)

37

02 Diagnóstico, Levantamento e Controlo de Qualidade em Estruturas

Informação de suporte com recurso a Ensaios Não Destrutivos "in-situ"

apcer TNet