

Oz, L.^{da}

**Diagnóstico, Levantamento e Controlo de Qualidade
em Estruturas e Fundações**

**CAMPANHA DE ENSAIOS PARA AVALIAÇÃO DAS
PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS MATERIAIS EXISTENTES
NO TOPO NORTE DO ESTÁDIO MUNICIPAL DE LEIRIA**

Processo Nº.: 2 211/00

Trabalho realizado a pedido de:

Câmara Municipal de Leiria

Lisboa, julho de 2020

ÍNDICE

2

FICHA TÉCNICA DO PROCESSO	30
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31

Anexos

Anexo I – Registo fotográfico

Figuras 1 a 3	I.1
Figuras 4 a 7	I.2
Figuras 8 a 11	I.3
Figuras 12 a 15	I.4
Figuras 16 a 19	I.5
Figuras 20 a 23	I.6
Figuras 24 a 27	I.7
Figuras 28 a 31	I.8
Figuras 32 a 35	I.9
Figuras 36 a 39	I.10
Figuras 40 a 43	I.11
Figuras 44 a 47	I.12
Figuras 48 a 50	I.13
Figuras 51 e 52	I.14
Figuras 53 e 54	I.15
Figuras 55 e 56	I.16

Anexo II

Quadro 1	II.1
Gráficos 1 a 3.....	II.2
Gráficos 4 a 6.....	II.3
Gráficos 7 a 9.....	II.4
Gráfico 10	II.5
Quadro 2.....	II.6
Quadro 3.....	II.7
Quadro 4.....	II.9
Quadro 5.....	II.10

Anexo III

- Desenho N.º 1 Localização das zonas de ensaios e representação de
 – de ensaios. Planta do piso -2.
- Desenho N.º 2 – Localização das zonas de ensaios. Planta do piso 0.

- Desenho N.º 3 – Localização das zonas de ensaios e representação de ensaios. Planta do piso 2.
- Desenho N.º 4 – Localização das zonas de ensaios e representação de ensaios. Planta do piso 5.
- Desenho N.º 5 – Localização das zonas de ensaios e representação de ensaios. Planta do piso 8.

Anexo IV

Boletins com os resultados dos ensaios de compressão uniaxial dos betões, emitidos pela APEB – Associação Portuguesa de Empresas de Betão Pronto.

Anexo V

Boletim com os resultados dos ensaios de tração dos aços, emitido pelo CINFU – Centro de Formação Profissional da Indústria da Fundição.

Anexo VI

Documento “Ensaaios de Vibração Ambiental dos Edifícios dos Corpos Centrais e Torre Poente do Topo Norte do Estádio Municipal de Leiria”.

Anexo VII

Documento explicativo da questão levantada pelo Cliente, sobre a possibilidade de ocorrência de modos de vibração abaixo de 1Hz.

CAMPANHA DE ENSAIOS PARA AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS MATERIAIS EXISTENTES NO TOPO NORTE DO ESTÁDIO MUNICIPAL DE LEIRIA

1. INTRODUÇÃO

O estudo em título, cometido à Oz Lda., pela Câmara Municipal de Leiria, tem como objetivo a avaliação dos parâmetros de durabilidade e de resistência dos betões e do aço das armaduras do edifício pertencente ao topo norte do Estádio Municipal de Leiria, seguindo, tanto quanto possível, a metodologia prevista no plano de ensaios disponibilizado.

Para o efeito, foram levados a cabo ensaios não destrutivos e/ou reduzidamente intrusivos “in-situ” e, também, em laboratório, de avaliação da qualidade e resistência dos betões e do aço das armaduras, e, ainda, de avaliação dos parâmetros de durabilidade, com base nas especificações, quantidades e localizações indicadas no plano de ensaios, nomeadamente, nas plantas dos pisos do edifício.

Complementarmente, foram realizados, também, ensaios de registo da vibração ambiental nos diversos corpos do edifício em estudo, para a identificação modal dos mesmos.

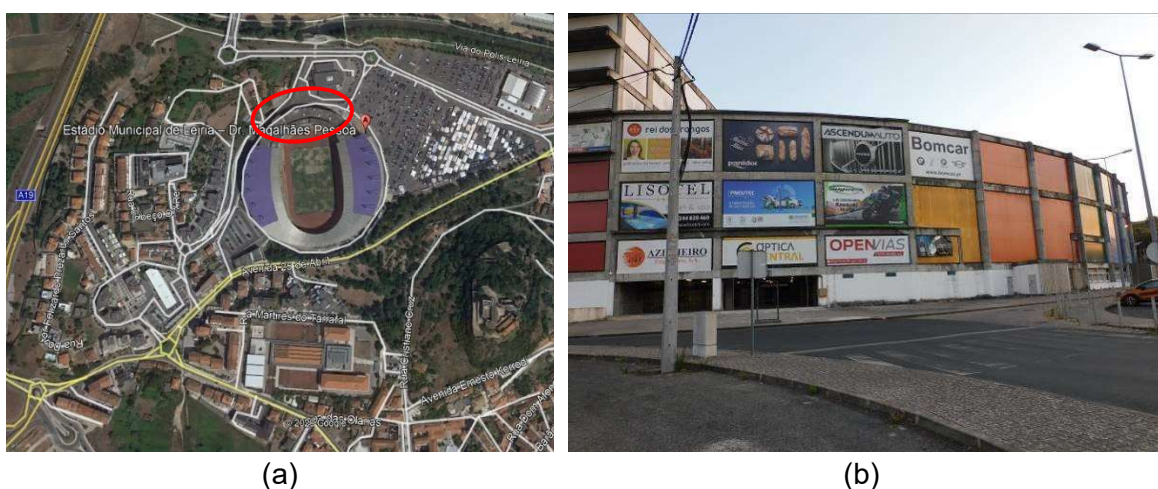


Figura I - Edifício em estudo, pertencente ao topo norte do estádio: (a) localização e (b) vista parcial. *Fonte: GoogleEarth.*

O presente relatório descreve os trabalhos realizados, apresenta a informação recolhida, sua análise e as conclusões. Inclui, também, os desenhos e o registo fotográfico dos ensaios realizados e de outros aspetos considerados relevantes para o estudo.

2. METODOLOGIA UTILIZADA

2.1 CONSIDERAÇÕES PRÉVIAS

O estudo foi conduzido, tanto quanto possível, de acordo com a metodologia prevista na proposta adjudicada. O plano de ensaios disponibilizado foi maioritariamente seguido no decorrer dos trabalhos, com pontuais, alterações no tipo de ensaios e na localização dos mesmos, devidamente aprovadas pelo Cliente. De salientar a substituição dos ensaios de resistência à penetração, inicialmente previstos, por ensaios de rotura à compressão uniaxial de provetes de betão extraídos dos elementos estruturais.

Os trabalhos de campo decorreram entre 14 de julho e 17 de julho e no dia 22 de julho do ano corrente. Para a realização dos trabalhos previstos, foi mobilizada uma equipa de técnicos de ensaios, com equipamentos em bom estado de operacionalidade e devidamente calibrados, ou verificados, sob a coordenação de um Eng.º Civil, com experiência em diagnóstico e reabilitação de estruturas.

Para apoio do estudo, foram disponibilizadas, pelo Cliente, as plantas do plano de ensaios dos diversos pisos do edifício em estudo, em formato dwg.

2.2 ENSAIOS PARA CARACTERIZAÇÃO DE ELEMENTOS DE BETÃO ARMADO

Teve-se em vista a avaliação, por amostragem, de parâmetros fundamentais dos elementos de betão armado, de acordo com o definido no plano de ensaios disponibilizado.

A realização dos ensaios teve como objetivo caracterizar os elementos estruturais do edifício, através de: avaliação da qualidade e resistência atual dos betões, recorrendo a ensaios de ultrassons, ensaios esclerométricos e laboratoriais de rotura à compressão de provetes de betão; determinação da tensão de cedência dos aços, recorrendo a ensaios laboratoriais de rotura à tração; avaliação do estado de passivação das armaduras e risco de corrosão, com medição do recobrimento das armaduras e da profundidade de carbonatação do betão; identificação modal dos diversos corpos do edifício, através de ensaios com registo de vibração ambiental.

2.2.1 Avaliação da qualidade e resistência dos betões

2.2.1.1 Avaliação da qualidade dos betões através de ensaios ultrassónicos

Os ensaios ultrassónicos, através da medição do tempo de propagação do sinal acústico e dependendo da disposição dos transdutores, permitem, basicamente, obter informação sobre as características mecânicas, homogeneidade e sobre a presença de descontinuidades na superfície e no interior da secção ensaiada, conforme técnica descrita no ponto 3.2.

Foram realizados **10 ensaios** nos elementos de betão (**3 ensaios em pilares e 7 ensaios em lajes**, distribuídos a vários níveis do edifício), sendo os resultados apresentados em quadros e gráficos do anexo II.

2.2.1.2 Avaliação indireta da resistência dos betões através de ensaios esclerométricos

Consistiu na avaliação, por amostragem, da resistência superficial dos betões dos elementos estruturais em estudo, de forma indireta, através do equipamento esclerómetro “Schmidt”, cuja técnica se encontra descrita no ponto 3.3.

Foram realizados **10 ensaios** esclerométricos nos mesmos elementos de betão que foram objeto de avaliação da qualidade dos betões através de ensaios ultrassónicos (**3 ensaios em pilares e 7 ensaios em lajes**, distribuídos a vários níveis do edifício), sendo os resultados apresentados num quadro do anexo II.

2.2.1.3 Avaliação da resistência atual dos betões através de ensaios de compressão

Consistiu na realização de ensaios laboratoriais de rotura à compressão uniaxial de provetes cilíndricos de betão retirados das carotes extraídas, com caroteadora elétrica munida de coroa diamantada.

Conforme técnica do ensaio, constante do ponto 3.4 do relatório, os locais dos furos das carotes foram previamente sondados com o pacómetro para se evitar o seccionamento dos varões mais exteriores durante o corte do betão.

Face à intervenção de reconstrução futura no edifício e tendo em conta que, de acordo com o plano de ensaios, a maioria das zonas coincidem com demolições previstas nos elementos estruturais, não foram feitas quaisquer reparações nas sondagens/orifícios realizados, uma vez que resultariam inúteis, tratando-se duma situação que foi devidamente exposta e aprovada pelo Cliente.

Foi feita a caracterização visual das carotes antes da preparação e dos ensaios dos provetes, levados a cabo pela APEB – Associação Portuguesa das Empresas de Betão Pronto, apresentando-se no anexo IV cópia dos boletins com os resultados obtidos.

Foram realizados um total de 30 ensaios sobre provetes extraídos de paredes, em zonas onde se encontram previstas aberturas de vãos, (6 un.) e de zonas maciças de lajes (24 un.), a vários níveis do edifício, cujos resultados são apresentados num quadro, constante do anexo II.

Para aferição fiável da secção estrutural das lajes e das paredes de betão armado dos pisos, recorreu-se, aos orifícios das carotes extraídas que atravessaram a totalidade das secções dos elementos, tendo sido, também, realizados furos de inspeção de reduzido diâmetro (furos realizados com martelo elétrico munido de broca), nos casos em que as carotes não atingiram a totalidade da espessura do elemento.

As medições efetuadas encontram-se evidenciadas nas plantas dos pisos, elaboradas a partir das plantas do plano de ensaios disponibilizado, constantes do anexo III.

2.2.2 Avaliação da resistência do aço das armaduras

Consistiu na realização de **3 ensaios** laboratoriais de determinação da tensão de cedência à tração de varões, extraídos com rebarbadora elétrica, de secções maciças de elementos de laje, cujas zonas estruturais encontram-se previstas demolir.

Depois de verificada a integridade das amostras, estas foram entregues no laboratório do CINFU – Centro de Formação Profissional da Indústria da Fundição, onde foram levados a cabo os ensaios de tração de acordo com a técnica descrita no ponto 3.5 do relatório, cujos boletins com os resultados obtidos constam do anexo V, apresentando-se num quadro do anexo II, a compilação dos referidos resultados.

2.3 ENSAIOS DE DURABILIDADE – CORROSÃO DAS ARMADURAS

A avaliação sumária da importância da corrosão das armaduras, envolve a realização de ensaios “in-situ”, correntes, nomeadamente, a medição do recobrimento das armaduras com o pacómetro, a determinação da profundidade de carbonatação dos betões e, também, a determinação do teor de cloretos junto das armaduras para despistagem (ensaio não previsto neste estudo, dado que a presença de cloretos é mais frequente em zonas marítimas,

piscinas ou unidades fabris), cujos resultados obtidos são confrontados a fim de se extraírem conclusões sobre a durabilidade e estado de conservação dos elementos de betão armado.

2.3.1 Medição da profundidade de carbonatação dos betões e medição do recobrimento das armaduras com o pacómetro

A profundidade de carbonatação dos betões traduz-se num parâmetro fundamental para o estudo da durabilidade, em relação à corrosão das armaduras. Confrontando-se o referido parâmetro com o recobrimento das armaduras, é possível avaliar sumariamente o estado de passivação do aço.

Os ensaios foram conduzidos de acordo com as técnicas descritas nos pontos 3.1 e 3.6 do relatório, totalizando **3 ensaios (1 ensaio em pilar e 2 ensaios em lajes)**. Os resultados obtidos são apresentados num quadro do anexo II.

2.4 ENSAIOS DE VIBRAÇÃO AMBIENTAL NOS DIVERSOS CORPOS DO EDIFÍCIO

Os ensaios de registo da vibração ambiental incidiram nos três corpos do edifício em estudo, e foram realizados nos pisos mais elevados, que se encontram acessíveis. A recolha dos registos englobou um total de 8 pontos, a diferentes níveis e localizações, sendo que para ponto foram obtidos entre 2 e 4 registos de vibração ambiente, cada um com uma duração individual de 120 segundos e com uma frequência de amostragem de 200Hz.

O modo de execução dos ensaios e de processamento dos resultados, bem como os resultados obtidos e respetivas conclusões são apresentados no documento **“Ensaio de Vibração Ambiental dos Edifícios dos Corpos Centrais e Torre Poente do Topo Norte do Estádio Municipal de Leiria”**, elaborado pelo Prof. Jorge Miguel Proença, do IST – Instituto Superior Técnico, que consta do anexo VI.

2.5 LOCALIZAÇÃO DAS ZONAS DE ENSAIOS

A localização esquemática das zonas de ensaios realizadas encontra-se representada nos desenhos n.ºs 1 a 5 do anexo III. As figuras do anexo I, ilustram os ensaios realizados.

3. TÉCNICA DOS ENSAIOS

3.1 DETECÇÃO DE ARMADURAS E MEDIÇÃO DOS RECOBRIMENTOS COM UM PACÓMETRO

O equipamento utilizado nestes ensaios, o pacómetro, é constituído pelo sensor e pela unidade de processamento que permite obter informação até 100 mm de profundidade.

Depois de se ligar o equipamento e de se verificar o estado, selecciona-se o modo de deteção de armaduras “quickscan” e prossegue-se com a determinação da posição e direcção dos varões, movendo-se o scanner sobre a superfície do elemento a sondar. Quando se verificar o máximo sinal, o aparelho encontrar-se-á na posição e direcção exatas da armadura e nesse instante marca-se o local onde foi efetuada a medição.

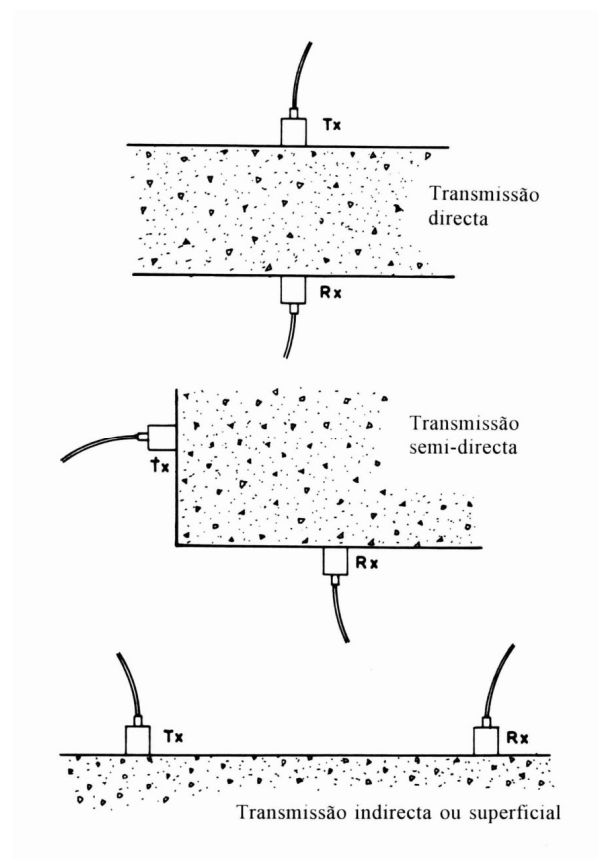
Os ensaios deverão ser realizados em locais onde a superfície é regular, afastados de zonas metálicas que possam influenciar os resultados.

Devem ser tidas em consideração algumas limitações na utilização do aparelho, nomeadamente em zonas com elevada densidade de armadura ou com recobrimentos elevados. Nesses locais é muito difícil, por vezes impossível, a determinação da disposição das armaduras e consequente avaliação do diâmetro.

De acordo com o fabricante, a precisão da medição do recobrimento de armaduras é, em média, $\pm 10\%$ do recobrimento real.

3.2 ENSAIOS ULTRASSÓNICOS

O ensaio ultrassónico nos betões consiste na determinação da velocidade de propagação de um impulso ultrassónico, entre dois pontos de medida (ver esquema abaixo), tendo em vista obter informação sobre as características mecânicas, homogeneidade e sobre a presença de descontinuidades no interior da secção.



O impulso ultrassónico é gerado num ponto do elemento em estudo através de um transdutor emissor (Tx, no esquema), a partir de um sinal elétrico. Depois de atravessar o betão, o sinal ultrassónico é captado por um outro transdutor, recetor, (Rx, no esquema), colocado num outro ponto, que o transforma novamente em sinal elétrico. O tempo gasto no percurso é medido eletronicamente na unidade de medida central, sendo assim possível calcular a velocidade de propagação.

Existem três métodos possíveis para a realização deste tipo de ensaios (ver esquema):

- Direto;
- Semi-direto;
- Indireto.

Os métodos direto e semi-direto têm como finalidade a avaliação das características de resistência mecânica e de homogeneidade e deteção de descontinuidades no betão. O método indireto aplica-se, fundamentalmente, na determinação da profundidade de fissuras bem definidas e avaliação da qualidade superficial do betão. No presente estudo foi utilizado o método indireto, conforme mencionado no plano de ensaios disponibilizado pelo Cliente.

As superfícies a ensaiar devem encontrar-se lisas, sem descontinuidades superficiais visíveis, sendo muito conveniente usar uma massa de contato entre os transdutores e a superfície, de modo a melhorar a transmissão acústica.

O equipamento de ensaio é composto por uma unidade de leitura e por dois transdutores. Faz ainda parte do conjunto uma barra de “INVAR”, onde o tempo de propagação do sinal ultrassónico é conhecido, para calibração/regulação do equipamento.

De acordo com as considerações de Whitehurst [1], podem-se classificar os betões de: excelente qualidade quando os valores obtidos da velocidade de propagação são superiores a 4500 m/s; boa, regular e medíocre qualidade quando os valores obtidos estão compreendidos entre 3500 e 4500 m/s, 3000 e 3500 m/s e 2000 e 3000 m/s, respetivamente; e má qualidade quando os valores obtidos são inferiores a 2000 m/s (ver Quadro I).

Quadro I – Qualidade do betão em função da velocidade de propagação dos ultra-sons

Velocidade (m/s)	Qualidade do betão
> 4500	Excelente
3500 a 4500	Bom
3000 a 3500	Regular
2000 a 3000	Medíocre
< 2000	Mau

3.3 AVALIAÇÃO INDIRETA DA RESISTÊNCIA DOS BETÕES ATRAVÉS DE ENSAIOS ESCLEROMÉTRICOS

Os ensaios, em geral, são realizados diretamente no betão, sobre uma superfície lisa, previamente preparada, sem particular concentração de agregados, distante das armaduras (previamente localizadas), e com o esclerómetro perpendicular à superfície a ensaiar. Quando necessário a superfície é preparada, utilizando-se um material abrasivo, de forma a eliminar partículas soltas, eventualmente existentes, que possam influenciar os resultados.

Com o cilindro de compressão estendido, aperta-se o equipamento contra a superfície a ensaiar, comprimindo a mola até se atingir uma determinada intensidade, para a qual o martelo é automaticamente projetado contra o cilindro ficando registado, por meio de ponteiro, a distância percorrida depois do choque contra a superfície. Esta distância é expressa em percentagem do comprimento inicial da mola de choque e designa-se por índice esclerométrico.

Para minorar o erro devido a possíveis zonas com concentração ou insuficiência de agregados e proximidade de armaduras, em cada ensaio, são executadas 12 leituras, distribuídas numa área cujo círculo deve ter um diâmetro aproximado de 15 cm. O índice é obtido através da média das 12 leituras, eliminando as leituras parciais que difiram mais de 7 pontos da média

das leituras. Se existirem mais de 2 leituras parciais nesta situação, deve-se eliminar o conjunto de 12 leituras efetuadas e repeti-las noutro local.

Por se tratar de um ensaio de resistência superficial, os valores obtidos devem ser interpretados com algumas reservas, devendo ser validados através de ensaios complementares como, por exemplo, ensaios de rotura à compressão sobre provetes. No entanto, o ensaio é útil para medir a uniformidade do betão, verificar se existe um determinado nível mínimo de resistência e decidir sobre a necessidade de fazer ensaios complementares. A tensão média de rotura à compressão (relativamente a cubos ou cilindros) e a dispersão são obtidas através da correlação com o índice esclerométrico. Pode-se, também, estimar a tensão característica do conjunto de ensaios, admitindo-se que a distribuição dos valores segue a lei normal, ou seja, através da seguinte expressão:

$$f_{ck} = f_{cm} \times (1 - 1,64 \times \delta) = 0,75 \times f_{cm} , \text{ para } \delta = 15\%.$$

O equipamento utilizado foi o esclerómetro “Schmidt”, o qual é periodicamente verificado numa bigorna própria para o efeito.

3.4 ENSAIOS DE COMPRESSÃO UNIAXIAL SOBRE PROVETES CILÍNDRICOS

A recolha das carotes é feita de forma a interferir o mínimo com as armaduras, utilizando-se previamente o detetor de armaduras (pacómetro).

Antes da preparação dos provetes para ensaio é feita a caracterização visual das carotes extraídas, indicando-se as suas dimensões, a eventual presença de varões e a sua posição na carote, o aspeto do betão, a dimensão dos inertes e a eventual presença de descontinuidades visíveis importantes.

Posteriormente os topos dos provetes são cortados e retificados em laboratório de forma a ficarem com a altura igual ao diâmetro (no caso, ± 94 mm).

Os ensaios de rotura à compressão simples dos provetes, são realizados em laboratório de acordo com a norma NP EN 12504-1:2009 [2].

A conversão dos valores das tensões de rotura é feita segundo a publicação da “Concrete Society”, [3], tendo em vista a obtenção da resistência real em obra do betão, e da resistência de referência do betão. Esta publicação considera vários fatores que têm em conta

- A direção da carotagem;
- A relação altura/diâmetro do provete;
- A presença de armaduras;
- A relação entre a resistência “in-situ” e em cubos.

Para normalizar os valores da tensão de rotura das carotes com diferentes dimensões, para o provete cilíndrico padrão, com $\phi = h$, é necessário efetuar a seguinte correção:

$$F_{cil} = \frac{2,5}{1,5 + \frac{\phi}{h}} \times F_{car}, \text{ para carotes extraídas horizontalmente,}$$

$$F_{cil} = \frac{2,3}{1,5 + \frac{\phi}{h}} \times F_{car}, \text{ para carotes extraídas verticalmente,}$$

A resistência média do betão referida a cubos pode ser estimada por:

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

em que:

- f_{cm} : tensão média (adota-se o limite inferior);
- $f_{cm,ci}$: tensão média dos provetes cilíndricos;
- n : número de provetes (correção em relação ao nº. de provetes);

Tendo em conta que o valor da tensão de rotura dum provete cilíndrico com $\phi = h$, é idêntico ao da tensão de rotura obtido sobre um provete cúbico, a resistência média de referência em moldes “standard” do betão pode ser estimada por:

$$f_{cm(standard)} = f_{cm} \times 1,25$$

- 1,25: tem em conta a resistência de referência em moldes “standard” (varia entre 1,2 e 1,3).

Admitindo-se, que a distribuição dos valores segue a lei normal, o valor característico pode ser obtido através de:

$$f_{ck} = f_{cm} \times (1 - 1,64 \times \delta) = 0,75 \times f_{cm}, \text{ para } \delta = 15\%.$$

O equipamento é composto por caroteadora, coroas diamantadas e respetivos acessórios, máquina de corte das carotes, máquina de retificação dos topos e prensa.

3.5 ENSAIO DE TRAÇÃO SOBRE PROVETES DE AÇO

O ensaio de rotura à tração dos provetes de aço é executado, em laboratório, segundo as normas NP EN 6892-1:2012 [4]. Os parâmetros registados são, entre outros, os valores da tensão de cedência, da tensão de rotura e da extensão após rotura, com diagramas força-deslocamento e tensão-extensão.

O provete de ensaio é obtido, normalmente, de uma amostra de aço, extraída por corte com rebarbadora, cuja localização deverá ser criteriosamente seleccionada de forma a causar um dano mínimo ao elemento estrutural sondado.

Este ensaio envolve a deformação de um provete por tração até à rotura, a fim de determinar os vários parâmetros caracterizadores do seu comportamento mecânico.

Os ensaios devem, em geral, ser efetuados à temperatura ambiente entre 10 e 35 °C, especificando-se para ensaios efetuados sob condições controladas a temperatura de referência de 23 °C $\pm$ 5 °C.

As principais grandezas envolvidas no ensaio são as que seguidamente se descrevem:

- Dimensões do provete;
- Comprimento inicial entre referências (L_0): Comprimento entre referências antes da aplicação da força.
- Comprimento final entre referências (L_u): Comprimento entre referências após a rotura do provete.
- Extensão após rotura (A): Alongamento remanescente após rotura ($L_u - L_0$), expresso em percentagem do comprimento inicial entre referências (L_0).
- Força máxima (F_m): Maior força suportada pelo provete durante o ensaio, após a cedência. Para materiais sem cedência, é o máximo valor durante o ensaio.
- Tensão convencional: Força, em qualquer instante do ensaio, dividida pela área da secção inicial da zona útil (S_0) do provete.
- Tensão de rotura à tracção (R_m): Tensão convencional correspondente à força máxima (F_m).

- Tensão de cedência: Num ensaio em que um material metálico exhibe um efeito de cedência, existe um instante do ensaio em que ocorre uma deformação plástica sem aumento da força. Neste troço, distinguem-se:
 - Tensão de cedência superior (R_{eH}): Valor da tensão convencional no instante em que se observa a primeira queda da força.
 - Tensão de cedência inferior (R_{eL}): Menor valor da tensão convencional durante a cedência, desprezando-se eventuais fenómenos transitórios.
 - Tensão limite convencional de proporcionalidade (R_p): Tensão convencional a que corresponde uma deformação extensométrica permanente igual a uma percentagem especificada do comprimento L_e (0,2 %, por exemplo).

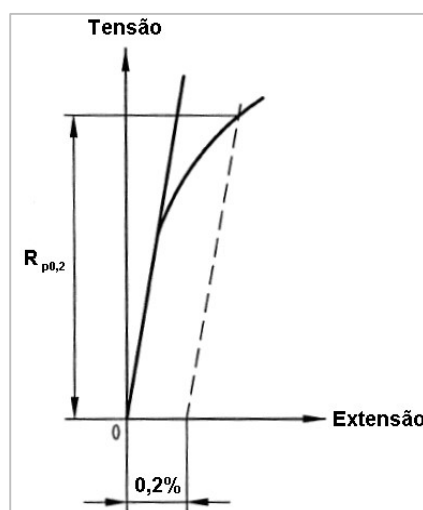


Figura II – Determinação da tensão de cedência/limite de proporcionalidade a 0,2%.

3.6 MEDIÇÃO DA PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO DOS BETÕES

Para a medição da profundidade da frente de carbonatação de um betão aplica-se uma solução alcoólica de fenolftaleína sobre a superfície recém-exposta, isto é, logo a seguir à execução do furo de ensaio.

É essencial a correta limpeza do furo para se obter a necessária fiabilidade dos resultados. Para tal poder-se-á utilizar uma bomba de ar manual para se remover o pó de betão (cimento e agregados) resultante da perfuração do betão.

Note-se que o ensaio deixa de ter validade se existirem resíduos de pó das zonas interiores não carbonatadas (com alcalinidade elevada) nas zonas carbonatadas do furo do ensaio.

Utilizando um nebulizador com uma solução alcoólica de fenolftaleína, molham-se as superfícies internas do furo de ensaio e observa-se a sua coloração. A zona carbonatada apresentar-se-á incolor e a não carbonatada uma coloração rosada, sendo possível medir a profundidade da frente de carbonatação, a qual corresponde à transição de uma zona para a outra. Para tal deve-se utilizar uma régua ou fita métrica graduada em milímetros, ou dispositivo de medição equivalente.

4. INFORMAÇÃO RECOLHIDA E SUA ANÁLISE

4.1 ENSAIOS PARA CARACTERIZAÇÃO DE ELEMENTOS DE BETÃO ARMADO

4.1.1 Avaliação da qualidade e resistência dos betões

4.1.1.1 Avaliação da qualidade dos betões através de ensaios ultrassónicos

Os resultados dos ensaios de ultra sons são apresentados no quadro 1 e nos gráficos 1 a 10 do anexo II. As figuras do anexo I, ilustram os ensaios realizados.

Os ensaios realizados pelo método indireto, revelaram que os betões superficiais apresentam qualidade excelente a boa, uma vez que os tempos de propagação do sinal ultrassónico são, globalmente, bastante reduzidos, correspondendo a velocidades obtidas elevadas.

4.1.1.2 Avaliação indireta da resistência dos betões através de ensaios esclerométricos

Os resultados dos ensaios esclerométricos são apresentados no quadro 2 do anexo II. As figuras do anexo I, ilustram os ensaios realizados.

Da análise dos valores médios obtidos da resistência estimada do esclerómetro, verifica-se que os resultados da tensão média de rotura obtidos nos pilares e nas lajes são semelhantes, revelando valores elevados, de 63 MPa nos elementos verticais – pilares e >64 MPa nos elementos horizontais - lajes, apresentando baixa dispersão, traduzida pelo valor do coeficiente de variação. Os valores mínimos registados foram respetivamente de 48MPa em pilares e 50MPa em lajes.

De realçar que os ensaios com o esclerómetro, por si só, não são adequados para estimar a resistência, mas sim a uniformidade e a dureza superficial do betão.

4.1.1.3 Avaliação da resistência atual dos betões através de ensaios de compressão

4.1.1.3.1 Caracterização visual das carotes

Na caracterização visual das carotes, realizada antes da preparação dos provetes para ensaio (ver quadro 3 do anexo II e as figuras 50 a 55 do anexo I), constatou-se que o betão apresenta aspeto compacto com alguns vazios, de 1 a 9mm de diâmetro, sendo constituído por agregados grosseiros de natureza predominantemente calcária, que, em geral, apresentam distribuição homogénea. Com formas angulares, os agregados grosseiros, possuem dimensões máximas, aparentes, a variar entre 13mm e 22mm.

4.1.1.3.2 Ensaaios de compressão uniaxial sobre provetes de betão

Os resultados dos ensaios de rotura à compressão uniaxial dos betões constam dos relatórios da APEB apresentados no anexo IV. As figuras do anexo I, ilustram os ensaios realizados e os provetes extraídos.

Analisando os resultados dos ensaios de compressão sobre as carotes extraídas de elementos estruturais verticais (paredes) e horizontais (lajes), a diferentes níveis do edifício, apresentados no quadro 4 do anexo II, verifica-se que os valores da resistência à compressão dos lotes de betões ensaiados apresentam dispersão reduzida, traduzida pelo valor do coeficiente de variação, aferindo-se valores característicos da tensão de rotura atual à compressão de 68,9MPa, nas paredes, e de 72,0MPa, nas lajes, correspondendo a betões da classe C55/67.

4.1.2 Avaliação da resistência do aço das armaduras

Da análise visual das amostras (ver figura 56, do anexo I), antes dos ensaios laboratoriais, verifica-se que as superfícies dos varões A1 a A3 (extraídos de zonas maciças de lajes) são nervuradas. Denota-se, ainda, que as amostras extraídas não apresentam indícios de corrosão superficial.

Os resultados dos ensaios de rotura à tração, realizados sobre amostras de aço (A1 a A3), constam do boletim da CINFU – Centro de Formação Profissional da Indústria da Fundição, apresentado no anexo V.

O quadro II, a seguir, sintetiza os resultados dos ensaios. Da análise dos resultados verifica-se que se tratam de aços da classe de resistência A500.

Quadro II – Resultados dos ensaios de rotura à tração

Amostra	Elemento estrutural	Localização	Dimensões (mm)		Rp _{0,2%} (MPa)	Rm (MPa)	A (%)
			Comprimento	Diâmetro			
A1	Laje	Pavimento do piso 2 (Zona Z(2).3)	305	10	532,0	613,5	25,0
A2			305	10	601,4	692,9	23,4
A3		Pavimento do piso 2 (Zona Z(2).1)	250	10	536,8	614,5	25,4

4.2 ENSAIOS DE DURABILIDADE – CORROSÃO DAS ARMADURAS

4.2.1 Avaliação sumária da corrosão das armaduras

4.2.1.1 Algumas considerações sobre a corrosão das armaduras

Na generalidade das estruturas de betão armado, os dois principais fatores que originam a despassivação do aço das armaduras (início da fase de propagação da corrosão) são a carbonatação do betão e/ou a presença de cloretos em excesso ao nível das armaduras. O primeiro fator caracteriza-se por taxas de corrosão relativamente baixas, que vão deteriorando lentamente toda a extensão das superfícies expostas dos elementos estruturais, enquanto o segundo fator (cloretos em excesso) caracteriza-se por taxas de corrosão elevadas, que vão deteriorando localmente os elementos estruturais, mas rapidamente.

O progresso da frente de carbonatação para o interior da secção de betão dos elementos estruturais é aproximadamente proporcional da raiz quadrada da idade da obra, afetado de um coeficiente, função da qualidade do betão, da humidade existente, etc.. As armaduras com recobrimento reduzido ou cujo betão superficial é de fraca qualidade serão as primeiras a sofrer a despassivação do aço, correspondendo ao início da fase da propagação da corrosão.

A presença simultânea de água e oxigénio nos poros de betão vão determinando a evolução da taxa de corrosão do aço das armaduras e, consequentemente, a velocidade de deterioração dos elementos estruturais. Normalmente, as zonas onde o contacto com a humidade é muito frequente e demorado, são as que sofrem os danos mais extensos e severos.

Os efeitos da corrosão, em fase mais avançada, comprometem a segurança estrutural, quer pela redução da aderência entre as armaduras e o betão, quer pela redução da área de aço.

4.2.1.2 Determinação da profundidade de carbonatação dos betões e medição do recobrimento das armaduras com o pacómetro

No quadro 5 do anexo II, apresentam-se os resultados da medição da profundidade da frente de carbonatação do betão dos ensaios realizados num elemento estrutural vertical (pilar) e em dois elementos estruturais horizontais (faces superiores de lajes).

Relativamente aos valores médios das medições da profundidade de carbonatação, nos elementos ensaiados, verificam-se as seguintes variações:

- 16mm no ensaio localizado no pilar;
- Entre 3 e 31mm nos ensaios localizados nas lajes.

Analisando os resultados obtidos e confrontando com os valores dos recobrimentos medidos com o pacómetro, verifica-se que a profundidade média da frente de carbonatação do betão é superior ao valor médio e mínimo do recobrimento na zona de ensaios realizada no pilar (zona Z(2).5), indiciando uma situação de desp passivação do aço (frente de carbonatação ultrapassando o nível das armaduras), pelo que nessa zona já desp assivada, dependendo da disponibilidade de água e oxigénio, a corrosão do aço vai evoluindo progressivamente.

De referir que, nas restantes zonas de ensaios, realizadas nas faces superiores das lajes (zona Z(5).4, realizada no piso 5, e zona Z(8).1, realizada no piso 8), não são, para já, identificadas situações de desp assivação do aço. Importa salientar, no entanto, o elevado valor de profundidade média da frente de carbonatação na laje de pavimento do piso 8 (zona Z(8).1), de 31mm, que embora seja, ainda, inferior ao recobrimento mínimo e médio das armaduras, leva a prever que, dependendo da disponibilidade de água e oxigénio, no futuro venha a aumentar progressivamente o risco de corrosão do aço deste elemento de laje.

4.3 ENSAIOS DE VIBRAÇÃO AMBIENTAL NOS DIVERSOS CORPOS DO EDIFÍCIO

Os resultados dos ensaios de vibração ambiental nos diversos corpos do edifício, bem como as respetivas análises constam do anexo VI.

No anexo VII, consta, ainda, o documento explicativo da questão levantada pelo Cliente, sobre a possibilidade de ocorrência de modos de vibração abaixo de 1Hz.

5. CONCLUSÕES

Da análise da informação recolhida e dos resultados dos ensaios efetuados, podem extrair-se as seguintes conclusões:

- O estudo teve em vista a caracterização dos elementos de betão armado, relativamente à avaliação do estado de conservação da estrutura do edifício, quanto ao risco de corrosão e a determinação da resistência dos betões e dos aços utilizados, tendo em conta o definido no plano de ensaios fornecido pelo Cliente. Englobou, também, a realização de ensaios de registo de vibração ambiental, para identificação modal dos três corpos do edifício em estudo.
- Os ensaios ultrassónicos realizados pelo método indireto, revelaram que os betões superficiais apresentam, globalmente, qualidade boa a excelente.
- Os resultados da avaliação indireta da resistência dos betões através dos ensaios esclerométricos revelam valores médios estimados da tensão de rotura elevados, da ordem de 63MPa nos elementos verticais (pilares) e >64MPa nos elementos horizontais (lajes).
- Os betões das carotes extraídas de paredes e lajes, destinadas a ensaios de compressão uniaxial, têm aspeto compacto, embora com alguns vazios, em geral de pequena dimensão, apresentando agregados grosseiros de natureza

predominantemente calcária, que se encontram homogeneamente distribuídos na pasta de cimento, com formas angulares e dimensões máximas, aparentes, a variar entre 13mm e 22mm.

- Os valores dos resultados laboratoriais da tensão de rotura à compressão são elevados, variando entre 59,5MPa e 83,3MPa nas paredes, enquanto nas lajes variam entre 58,8MPa e 83,8MPa.
- Os valores da tensão de cedência, obtidos nas amostras de aço (amostras A1 a A3, extraídas de lajes do pavimento do piso 2), variam entre 532MPa e 601,4MPa, e os valores de rotura ocorreram entre os 613,5MPa e os 692,9MPa, levando a concluir que o aço empregue nos elementos ensaiados será da classe atual de resistência A500.
- Nos ensaios de durabilidade realizados, de salientar que a profundidade da frente de carbonatação do betão é superior ao valor médio e mínimo de recobrimento, apenas, no pilar ensaiado, indiciando, neste caso uma situação de despassivação do aço. Nas lajes, importa mencionar que o valor da profundidade média da frente de carbonatação obtido na face superior da laje do pavimento do piso 8, de 31mm, embora seja, ainda, inferior ao recobrimento mínimo e médio das armaduras, leva a prever que, dependendo da disponibilidade de água e oxigénio, no futuro venha a aumentar progressivamente o risco de corrosão do aço deste elemento de laje.
- Da análise dos resultados dos ensaios de vibração ambiental verificou-se que:

Embora não se conheçam em detalhe as estruturas, em betão armado, dos três corpos, tem-se como relevante que os corpos A e B apresentam estruturas reticuladas, predominantemente com pilares (com capitéis) e lajes fungiformes, e o corpo C dispõe, ainda, de duas caixas de elevador/escadas nas extremidades circunferenciais, o que

deverá aumentar consideravelmente a rigidez, podendo ocasionar um acoplamento entre os movimentos de translação e de torção.

A análise e processamento dos registos permitiu extrair inferências relativamente às frequências fundamentais dos corpos e respetivas tipologias. Sumarizando, por corpo podem inferirse as principais conclusões:

Corpo A:

- modo fundamental predominantemente de translação segundo X com frequência da ordem de 2,15 Hz;
- modo fundamental predominantemente de translação segundo Y com frequência de 2,2 Hz;
- 2º modo predominantemente de translação segundo X com frequência de 4,1 Hz;
- 2º modo predominantemente de translação segundo Y com frequência de 5,1 Hz.

Corpo B:

- modo fundamental predominantemente de translação segundo X muito claro com frequência da ordem de 2,18 Hz;
- o modo fundamental predominantemente de translação segundo Y é menos notório, admitindo-se que o mesmo ocorre com frequência de 2,25 Hz;
- verifica-se a ocorrência de um modo que se manifesta em ambas as direções horizontais, embora com muito maior predominância segundo Y, que poderá ser um modo de translação oblíqua ou um modo de torção, para uma frequência próxima de 3,7 Hz.

Corpo C:

- modo fundamental predominantemente de translação segundo X com frequência da ordem de 2,25 Hz, não se podendo excluir que esse modo possa resultar da interação com o corpo B;
- modos com possível acoplamento entre a translação segundo Y e a torção com frequências de 3,45 Hz e 3,75 Hz.

Ainda, sobre os ensaios de medição de vibrações ambientes, deve ter-se em conta, na sua análise, que foram realizados em condições de vibração ambiente (de muito baixa amplitude), com as estruturas com reduzida carga/massa (correspondente a um nível de acabamento que poderia qualificar-se como “em tosco”) e com características de rigidez correspondentes. Cumulativamente, poderão considerar-se outras alterações, como sejam a consideração de elementos não estruturais rigidificantes, como sejam paredes de alvenaria (que se julga neste caso não existirem), consideração explícita do travamento conferido pelas lajes de escada, ajustes na modelação das paredes resistentes do corpo C (aspeto condicionante para a sua rigidez). Finalmente, poderá revelar-se necessário considerar a interação entre os corpos contíguos, no pressuposto de que as juntas de dilatação não são totalmente funcionais.

Lisboa, julho de 2020

Coordenação



Catarina Infante
Eng.^a Civil

Visto



Tiago Ribeiro
Eng.^o Civil

FICHA TÉCNICA DO PROCESSO

1 - Técnicos de Inspeções e Ensaios:

Ernesto Moreira (Técnico de Inspeções e Ensaios, Oz, Lda.) está qualificado para as técnicas referidas no presente relatório:

Deteção de armaduras, medição do recobrimento e determinação do seu diâmetro, de acordo com a Instrução IN.O.PCD.11/47/48 (validade da qualificação 01.10.2023);

Ensaios de ultra-sons em betão, de acordo com a Instrução IN.O.PCD.05 (validade da qualificação 01.10.2024);

Ensaios Esclerométricos, de acordo com a Instrução IN.O.PCD.02 (validade da qualificação 01.10.2024);

Ensaios de compressão simples sobre carotes de betão, de acordo com a Instrução IN.O.PCD.09 (validade da qualificação 01.10.2024);

Determinação da profundidade de carbonatação de betões, argamassas e outros materiais cimentícios, de acordo com a Instrução IN.O.PCD.21 (validade da qualificação 01.10.2024).

2 – Equipamentos de ensaio (relevantes):

<u>Designação</u>	<u>Código interno</u>	<u>Validade Calibração</u>
Ferrosan (detetor de armaduras)	Fscan.343	03.10.2020
Equipamento Ultrassons	Pun.04	Calibrado antes do uso
Esclerómetro	Esc.217	18.09.2020
Caroteadora DD120	Caro.246	Não aplicável
Paquímetro	Paq.255	21.05.2021
Fita métrica	Fit.334	11.11.2020
Distanciómetro laser	Dist.310	05.06.2021
Martelo combinado Hilti TE50	Mar.286	N.A.

3 – Serviços externos:

<u>Fornecedor</u>	<u>Serviço</u>	<u>Certificado/ Acreditado</u>
APEB – Associação Portuguesa de Empresas de Betão Pronto	Ensaios de rotura à compressão	✓
CINFU – Centro de Formação Profissional da Indústria da Fundição	Ensaios de tração do aço	✓
Eng.º Jorge Miguel Proença, do IST – Instituto Superior Técnico	Ensaios de vibração ambiental	

4 – Desenho:

Bruno Silva, Desenhador, Oz, Lda.

Referências Bibliográficas

- [1] - Whitehurst. (1951). "Soniscope tests concrete structures".
- [2] – NP EN 12504-1:2009 – "Ensaio do betão nas estruturas. Parte 1: Carotes. Ensaio à compressão".
- [3] – Concrete Society Technical Report No. 11, "Concrete core testing for strength", 1976.
- [4] – NP EN 6892-1:2012 – "Materiais metálicos. Ensaaios de tração. Parte 1: Método de ensaio à temperatura ambiente".



ANEXOS



ANEXO I

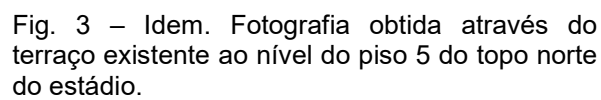
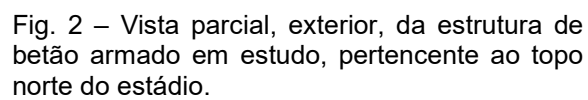
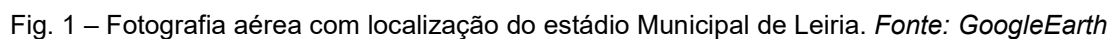




Fig. 4 – Ensaios “in situ”. Exemplo da avaliação da resistência superficial do betão, através do ensaio esclerométrico.



Fig. 5 – Idem. Exemplo de realização do ensaio ultrassónico, pelo método indireto, em elementos de betão.



Fig. 6 – Idem. Exemplo da extração de carote destinada a ensaios laboratoriais (ensaio de compressão).



Fig. 7 – Ensaios “in situ” realizados em pilares/paredes. Piso -2. Zona Z(-2).1, com realização de ensaios esclerométricos e ultrassónicos, através do método indireto, na face oeste do pilar.

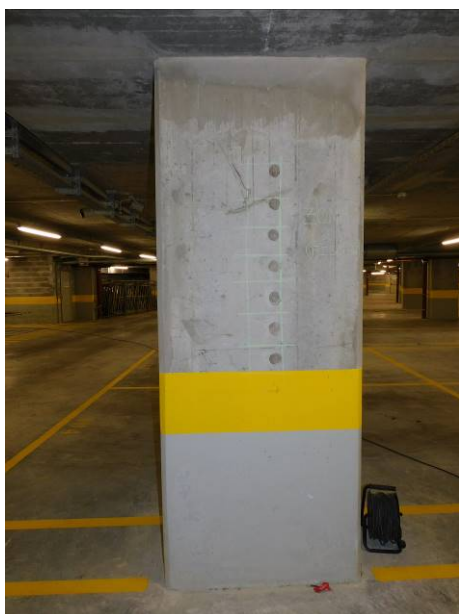


Fig. 8 – Idem. Idem. Zona Z(-2).2, com realização de ensaios esclerométricos e ultrassónicos, através do método indireto, na face oeste do pilar.

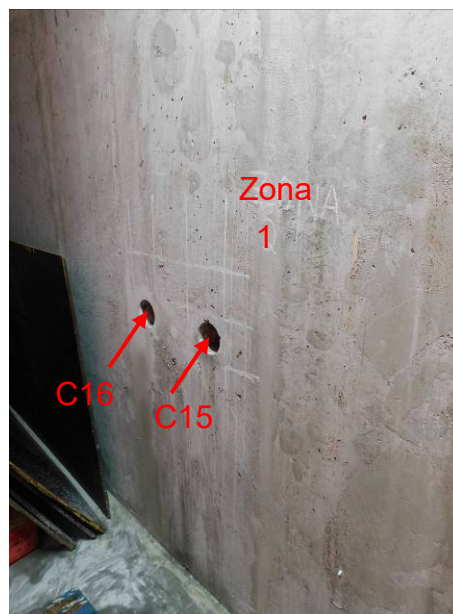


Fig. 9 – Idem. Piso 0. Zona Z(0).1, com extração de duas carotes (designadas de C15 e C16) destinadas a ensaios laboratoriais (ensaios de compressão).



Fig. 10 – Idem. Idem. Idem. Pormenor de medição da espessura da parede, através do orifício de extração da carote C16, com 0,19m.

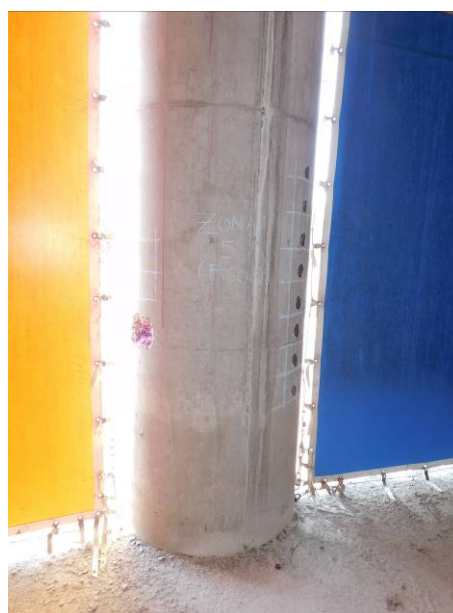


Fig. 11 – Idem. Piso 2. Zona Z(2).5, com realização de ensaios esclerométricos e ultrassónicos, através do método indireto, na face sul/este do pilar, e ensaio de carbonatação na face sul/oeste. Ensaio executado ao nível do piso 1, devido à existência duma laje recuada, no piso superior.



Fig. 12 – Idem. Idem. Idem. Pormenor da zona de ensaios esclerométricos e ultrassónicos realizados no pilar.



Fig. 13 – Idem. Idem. Idem. Pormenor da sondagem realizada para medição da profundidade de carbonatação.

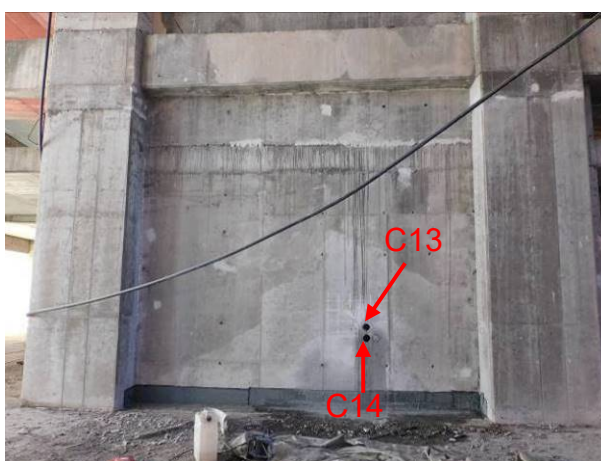


Fig. 14 – Idem. Idem. Zona Z(2).6, com extração de duas carotes (designadas de C13 e C14) destinadas a ensaios laboratoriais (ensaios de compressão).



Fig. 15 – Idem. Idem. Idem. Pormenor de medição da espessura da parede, com 0,20m, através do furo de inspeção realizado no orifício de extração da carote C13.

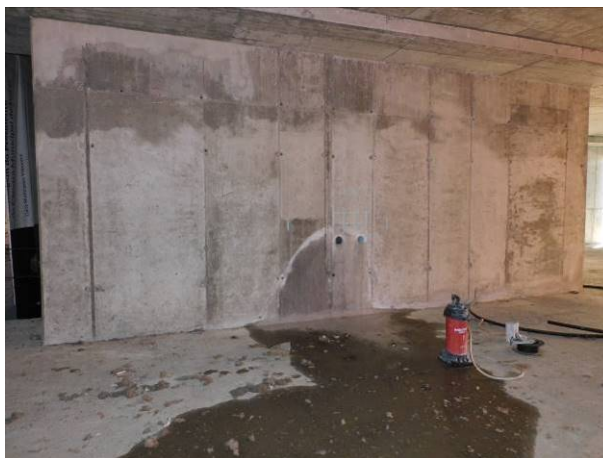


Fig. 16 – Idem. Idem. Zona Z(2).7, com extração de duas carotes (designadas de C26 e C27) destinadas a ensaios laboratoriais (ensaios de compressão).



Fig. 17 – Idem. Idem. Idem. Pormenor. De referir a medição da espessura da parede, com 0,20m, através da carote C27 extraída.

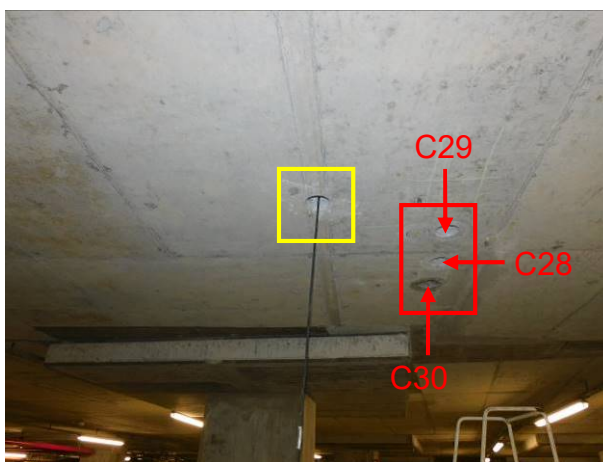


Fig. 18 – Ensaaios “in situ” realizados em lajes de pavimento. Piso 0. Zona Z(0).2, com extração de três carotes (designadas de C28, C29 e C30, assinaladas a encarnado) destinadas a ensaios laboratoriais (ensaios de compressão). Extração de carote adicional, para aferição da espessura da laje (assinalada a amarelo).



Fig. 19 – Idem. Idem. Idem. Pormenor da carote adicional extraída para aferição da espessura da laje. Laje constituída por duas camadas independentes, a primeira camada de betão armado, com 0,22m de espessura, sobre a qual assenta a segunda camada, de betão (com aparente ausência de armaduras), com 0,065m.



Fig. 20 – Idem. Piso 2. Zona Z(2).1, com deteção da malha de armaduras na face superior da laje, com recurso ao equipamento detetor de armaduras (pacómetro), para extração de três carotes (designadas de C4, C5 e C6) destinadas a ensaios laboratoriais (ensaios de compressão) e realização de janela de inspeção para extração dum varão (amostra designada de A3) destinado a ensaio laboratorial de tração.

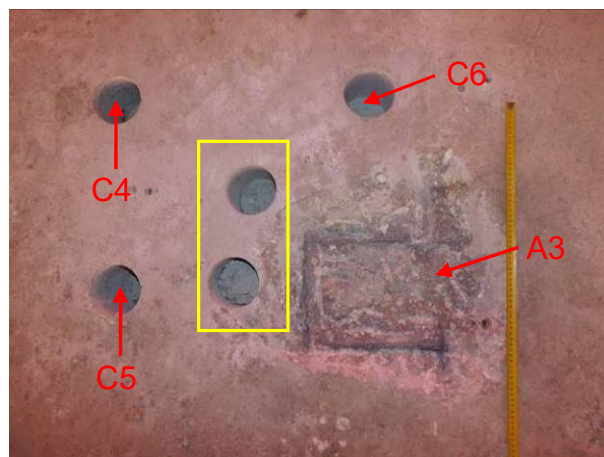


Fig. 21 – Idem. Idem. Idem. Pormenor. Presença de dois orifícios (assinalados a amarelo) em que as carotes extraídas revelaram comprimento insuficiente para ensaio laboratorial.



Fig. 22 – Idem. Idem. Idem. Pormenor de medição da espessura da laje, com 0,21m, através do furo de inspeção realizado no orifício de extração da carote C6.



Fig. 23 – Idem. Idem. Zona Z(2).1, com realização de ensaios esclerométricos e ultrassónicos, através do método indireto, na face inferior da laje.



Fig. 24 – Idem. Piso 2. Zona Z(2).2, com deteção da malha de armaduras na face superior da laje, com recurso ao equipamento detetor de armaduras (pacómetro), para extração de três carotes (designadas de C10, C11 e C12) destinadas a ensaios laboratoriais (ensaios de compressão).

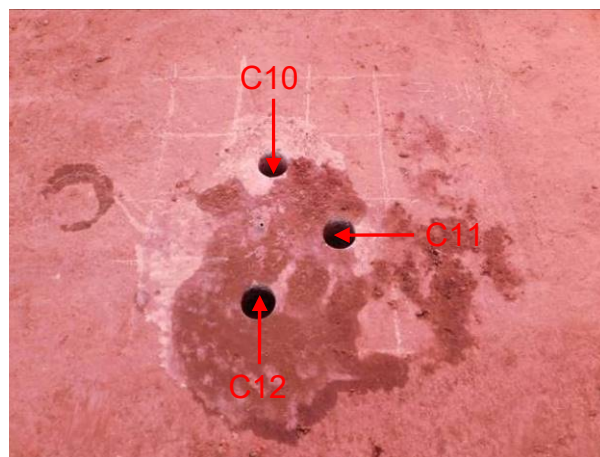


Fig. 25 – Idem. Idem. Idem. Pormenor.



Fig. 26 – Idem. Idem. Idem. Pormenor de medição da espessura da laje, com 0,20m, através do furo de inspeção realizado no orifício de extração da carote C11.



Fig. 27 – Idem. Idem. Zona Z(2).2, com realização de ensaios esclerométricos e ultrassónicos, através do método indireto, na face inferior da laje.



Fig. 28 – Idem. Piso 2. Zona Z(2).3, com deteção da malha de armaduras na face superior da laje, com recurso ao equipamento detetor de armaduras (pacómetro), para extração de três carotes (designadas de C7, C8 e C9) destinadas a ensaios laboratoriais (ensaios de compressão) e realização de janela de inspeção para extração de dois varões (amostras designadas de A1 e A2) destinados a ensaios laboratoriais de tração.

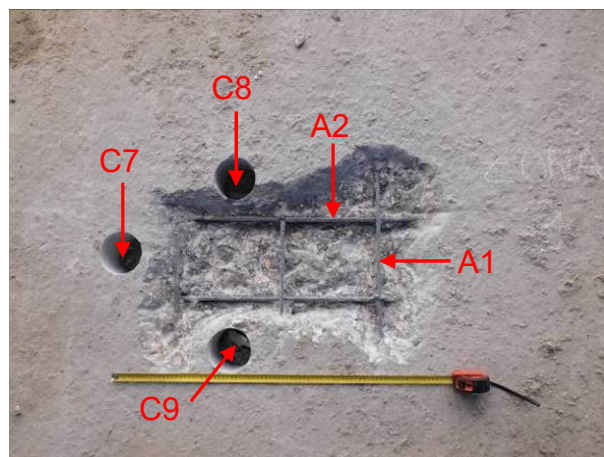


Fig. 29 – Idem. Idem. Idem. Pormenor.

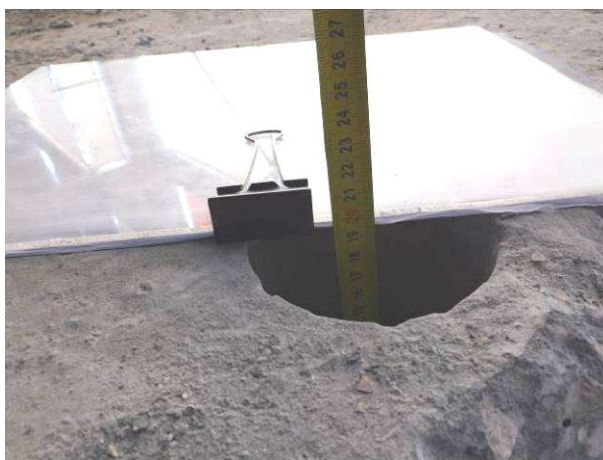


Fig. 30 – Idem. Idem. Idem. Pormenor de medição da espessura da laje, com 0,20m, através do furo de inspeção realizado no orifício de extração da carote C7.



Fig. 31 – Idem. Idem. Zona Z(2).3, com realização de ensaios esclerométricos e ultrassónicos, através do método indireto, na face inferior da laje.



Fig. 32 – Idem. Piso 2. Zona Z(2).4, com deteção da malha de armaduras na face superior da laje, com recurso ao equipamento detetor de armaduras (pacómetro), para extração de três carotes (designadas de C1, C2 e C3) destinadas a ensaios laboratoriais (ensaios de compressão).



Fig. 33 – Idem. Idem. Idem. Pormenor. Presença dum orifício (assinalado a amarelo) em que a carote extraída revelou comprimento insuficiente para ensaio laboratorial.



Fig. 34 – Idem. Idem. Idem. Pormenor de medição da espessura da laje, com 0,20m, através do furo de inspeção realizado no orifício de extração da carote C1.



Fig. 35 – Idem. Idem. Zona Z(2).4, com realização de ensaios esclerométricos e ultrassónicos, através do método indireto, na face inferior da laje.

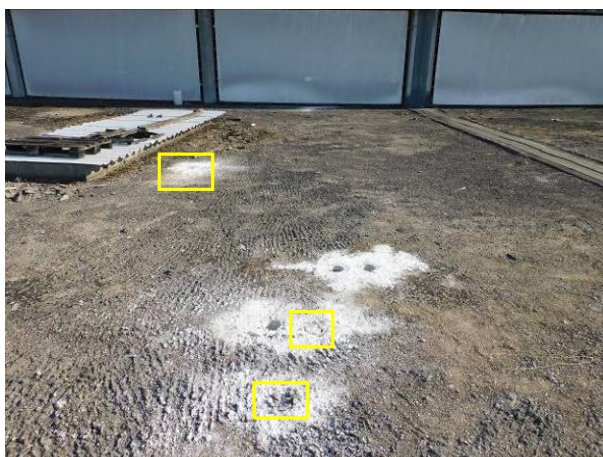


Fig. 36 – Idem. Piso 5. Zona Z(5).1, com deteção da malha de armaduras na face superior da laje, com recurso ao equipamento detetor de armaduras (pacómetro), para extração de três carotes (designadas de C20, C21 e C22) destinadas a ensaios laboratoriais (ensaios de compressão). Presença de orifícios (assinalados a amarelo) em que a tentativa de extração de carotes foi mal sucedida, devido aos comprimentos insuficientes para ensaio laboratorial.

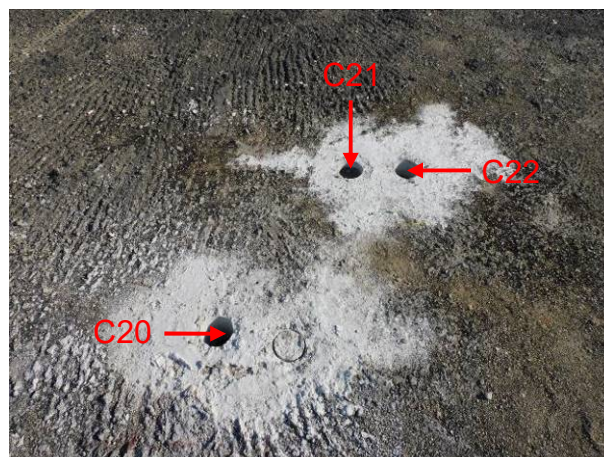


Fig. 37 – Idem. Idem. Idem. Pormenor. De referir a medição da espessura da laje, com 0,19m, através da carote C20 extraída.

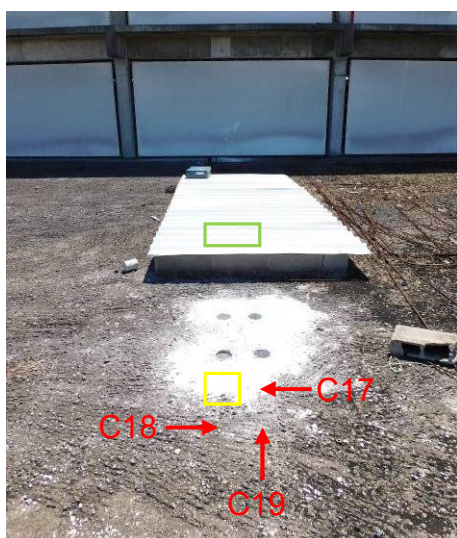


Fig. 38 – Idem. Piso 5. Zona Z(5).2, com deteção da malha de armaduras na face superior da laje, com recurso ao equipamento detetor de armaduras (pacómetro), para extração de três carotes (designadas de C17, C18 e C19) destinadas a ensaios laboratoriais (ensaios de compressão). Presença de orifício (assinalado a amarelo) em que a tentativa de extração de carote foi mal sucedida, devido ao comprimento insuficiente para ensaio laboratorial. Localização da zona da sondagem realizada para medição da profundidade de carbonatação (assinalada a verde).



Fig. 39 – Idem. Idem. Idem. Pormenor de medição da espessura da laje, com 0,19m, através do furo de inspeção realizado no orifício de extração da carote C18.



Fig. 40 – Idem. Idem. Zona Z(5).2, com sondagem realizada para medição da profundidade de carbonatação.



Fig. 41 – Idem. Idem. Idem. Pormenor.

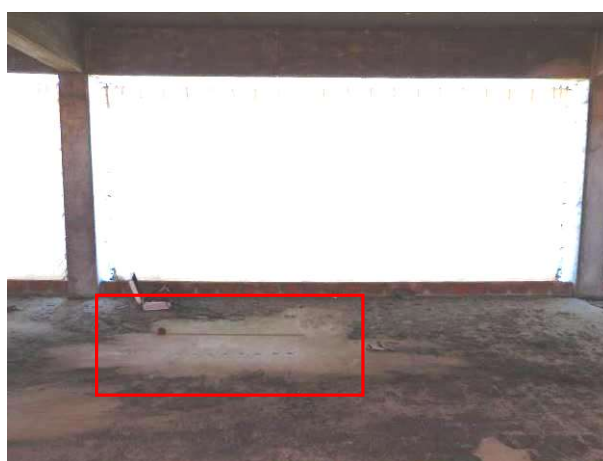


Fig. 42 – Idem. Idem. Zona Z(5).3, com realização de ensaios esclerométricos e ultrassónicos, através do método indireto, na face superior da laje.

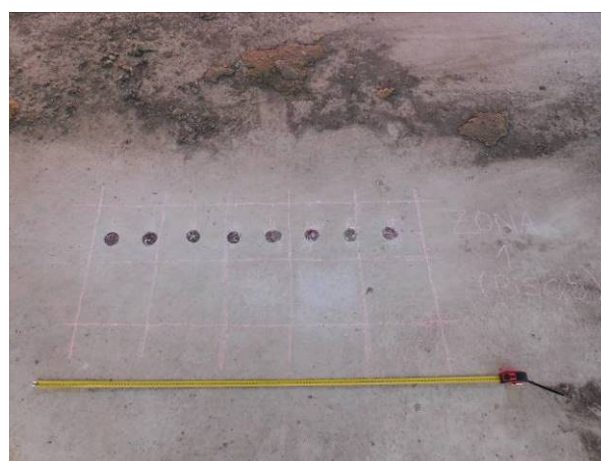


Fig. 43 – Idem. Idem. Idem. Pormenor.



Fig. 44 – Idem. Idem. Zona Z(5).4, com realização de ensaios esclerométricos e ultrassónicos, através do método indireto, na face superior da laje.

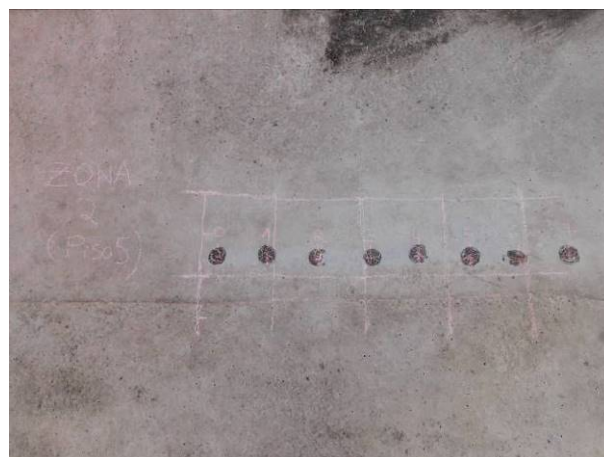


Fig. 45 – Idem. Idem. Idem. Pormenor.

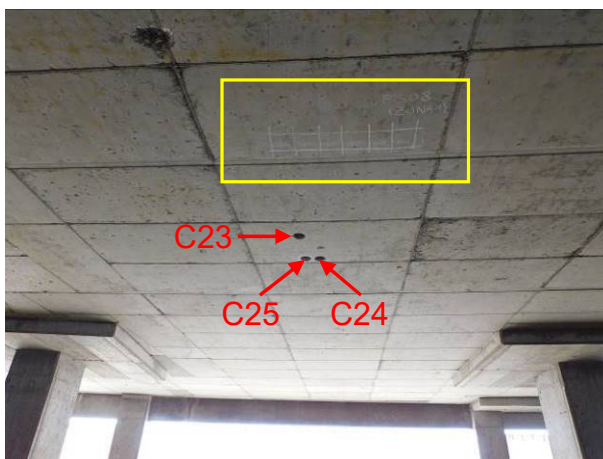


Fig. 46 – Idem. Piso 7. Zona Z(8).1, com deteção da malha de armaduras na face inferior da laje de pavimento do piso 8, com recurso ao equipamento detetor de armaduras (pacómetro), para extração de três carotes (designadas de C23, C24 e C25) destinadas a ensaios laboratoriais (ensaios de compressão). Localização da zona de ensaios esclerométricos e ultrassónicos, através do método indireto (assinalada a amarelo).



Fig. 47 – Idem. Piso 8. Pormenor da sondagem realizada na face superior da laje, para medição da profundidade de carbonatação. Furo de inspeção realizado para medição da espessura da laje.



Fig. 48 – Idem. Idem. Pormenor de medição da espessura da laje, com 0,355m, através do furo de inspeção realizado.



Fig. 49 – Idem. Idem. Pormenor da sondagem realizada para medição da profundidade de carbonatação.



Fig. 50 – Avaliação da resistência atual dos betões. Carotes extraídas de paredes – C13, C14, C26 e C27 (paredes do piso 2), C15 e C16 (paredes do piso 0), destinadas ao ensaio de rotura à compressão, antes da preparação dos provetes. Betões de aspeto compacto, com agregados grosseiros, predominantemente, de natureza calcária que, em geral, apresentam distribuição homogénea. Com formas angulares, os agregados grosseiros, possuem dimensões até 22mm.



Fig. 51 – Avaliação da resistência atual dos betões. Carotes extraídas de lajes – C28 a C30 (lajes do pavimento do piso 0), destinadas ao ensaio de rotura à compressão, antes da preparação dos provetes. Betões de aspeto compacto, com agregados grosseiros, predominantemente, de natureza calcária que, em geral, apresentam distribuição homogénea. Com formas angulares, os agregados grosseiros, possuem dimensões até 21mm.



Fig. 52 – Avaliação da resistência atual dos betões. Carotes extraídas de lajes – C1 a C6 (lajes do pavimento do piso 2), destinadas ao ensaio de rotura à compressão, antes da preparação dos provetes. Betões de aspeto compacto, com agregados grosseiros, predominantemente, de natureza calcária que, em geral, apresentam distribuição homogénea. Com formas angulares, os agregados grosseiros, possuem dimensões até 21mm.



Fig. 53 – Avaliação da resistência atual dos betões. Carotes extraídas de lajes – C7 a C12 (lajes do pavimento do piso 2), destinadas ao ensaio de rotura à compressão, antes da preparação dos provetes. Betões de aspeto compacto, com agregados grosseiros, predominantemente, de natureza calcária que, em geral, apresentam distribuição homogénea. Com formas angulares, os agregados grosseiros, possuem dimensões até 22mm.



Fig. 54 – Avaliação da resistência atual dos betões. Carotes extraídas de lajes – C17 a C22 (lajes do pavimento do piso 5), destinadas ao ensaio de rotura à compressão, antes da preparação dos provetes. Betões de aspeto compacto, com agregados grosseiros, predominantemente, de natureza calcária que, em geral, apresentam distribuição homogénea. Com formas angulares, os agregados grosseiros, possuem dimensões até 22mm.



Fig. 55 – Avaliação da resistência atual dos betões. Carotes extraídas de lajes – C23 a C25 (lajes do pavimento do piso 8), destinadas ao ensaio de rotura à compressão, antes da preparação dos provetes. Betões de aspeto compacto, com agregados grosseiros, predominantemente, de natureza calcária que, em geral, apresentam distribuição homogénea. Com formas angulares, os agregados grosseiros, possuem dimensões até 19mm.

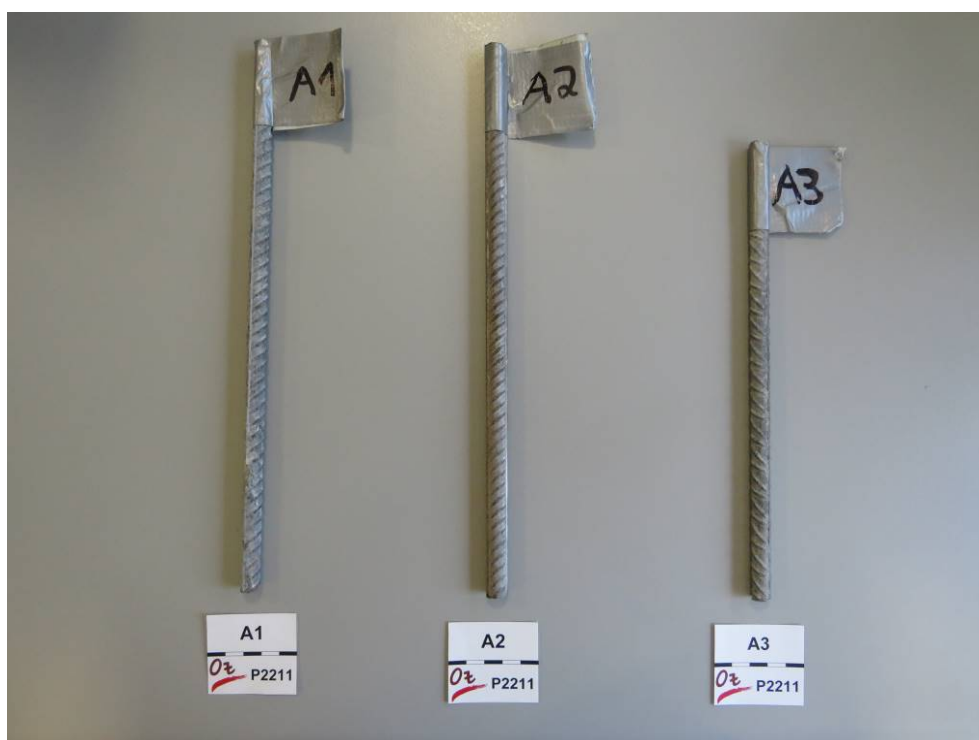


Fig. 56 – Avaliação da resistência do aço das armaduras. Caracterização visual das amostras de varões A1 a A3 (extraídas de lajes do pavimento do piso 2). Antes da preparação dos provetes para realização dos ensaios, verificou-se que a superfície das amostras é nervurada e não apresentam indícios de corrosão superficial.



ANEXO II

Quadro 1 - Resultados dos ensaios ultrassónicos dos betões
Velocidade de propagação / Qualidade do betão

Elemento Estrutural	Piso	Ensaio	Localização do ensaio no elemento estrutural	Método	Pontos	Dist. (m)	Média das leituras (µs)	Método indireto		Qualidade do betão
								Tempo T ⁽¹⁾ (µs)	Velocidade média (m/s)	
Pilar	-2	Zona Z(-2).1	Face oeste	Indireto	0 - 0	0,00	0,0	49,8	4722	Excelente
					0 - 1	0,15	29,1			
					0 - 2	0,30	57,1			
					0 - 3	0,45	91,2			
					0 - 4	0,60	122,3			
					0 - 5	0,75	155,1			
					0 - 6	0,90	189,6			
					0 - 7	1,05	220,1			
		Zona Z(-2).2	Face oeste	Indireto	0 - 0	0,00	0,0	50,3	4624	Excelente
					0 - 1	0,15	27,4			
					0 - 2	0,30	59,5			
					0 - 3	0,45	92,9			
					0 - 4	0,60	124,3			
					0 - 5	0,75	156,2			
					0 - 6	0,90	192,6			
					0 - 7	1,05	225,3			
	2	Zona Z(2).5	Face sul/este	Indireto	0 - 0	0,00	0,0	54,3	4618	Excelente
					0 - 1	0,15	31,5			
					0 - 2	0,30	67,0			
					0 - 3	0,45	99,0			
					0 - 4	0,60	130,0			
					0 - 5	0,75	160,0			
					0 - 6	0,90	192,4			
					0 - 7	1,05	230,5			
Laje de pavimento	2	Zona Z(2).1	Face inferior	Indireto	0 - 0	0,00	0,0	53,4	4599	Excelente
					0 - 1	0,15	30,0			
					0 - 2	0,30	62,3			
					0 - 3	0,45	98,6			
					0 - 4	0,62	134,6			
					0 - 5	0,77	167,1			
					0 - 6	0,92	197,3			
					0 - 7	1,07	231,6			
		Zona Z(2).2	Face inferior	Indireto	0 - 0	0,00	0,0	54,9	4630	Excelente
					0 - 1	0,15	30,1			
					0 - 2	0,30	66,6			
					0 - 3	0,45	104,2			
					0 - 4	0,60	132,1			
					0 - 5	0,75	158,8			
					0 - 6	0,90	195,2			
					0 - 7	1,05	227,4			
		Zona Z(2).3	Face inferior	Indireto	0 - 0	0,00	0,0	59,8	4463	Bom
					0 - 1	0,15	43,1			
					0 - 2	0,30	67,2			
					0 - 3	0,45	106,0			
					0 - 4	0,60	138,6			
					0 - 5	0,75	175,4			
					0 - 6	0,90	201,6			
					0 - 7	1,05	239,1			
		Zona Z(2).4	Face inferior	Indireto	0 - 0	0,00	0,0	51,7	4661	Excelente
					0 - 1	0,15	28,5			
					0 - 2	0,30	65,2			
					0 - 3	0,45	91,5			
					0 - 4	0,60	128,3			
					0 - 5	0,75	153,9			
					0 - 6	0,90	191,3			
					0 - 7	1,05	226,6			
	5	Zona Z(5).3	Face superior	Indireto	0 - 0	0,00	0,0	52,6	4703	Excelente
					0 - 1	0,15	27,6			
					0 - 2	0,30	64,3			
					0 - 3	0,45	98,0			
					0 - 4	0,60	126,8			
					0 - 5	0,75	159,3			
					0 - 6	0,90	190,8			
					0 - 7	1,05	221,3			
		Zona Z(5).4	Face superior	Indireto	0 - 0	0,00	0,0	55,2	4574	Excelente
					0 - 1	0,15	30,6			
					0 - 2	0,30	68,0			
	8	Zona Z(8).1	Face inferior	Indireto	0 - 3	0,45	101,9	60,7	4134	Bom
					0 - 4	0,60	131,2			
					0 - 5	0,75	165,0			
					0 - 6	0,90	195,9			
					0 - 7	1,05	229,7			
					0 - 0	0,00	0,0			
					0 - 1	0,15	31,7			
					0 - 2	0,30	68,5			
					0 - 3	0,45	117,0			
					0 - 4	0,60	149,1			
					0 - 5	0,75	187,8			
					0 - 6	0,90	215,4			
					0 - 7	1,05	248,5			

Notas:

- Método Indireto: Transdutores colocados na mesma face

⁽¹⁾ - Tempo estimado com reta (ver gráficos)

Gráfico 1 - Resultados dos ensaios ultrassónicos em pilares

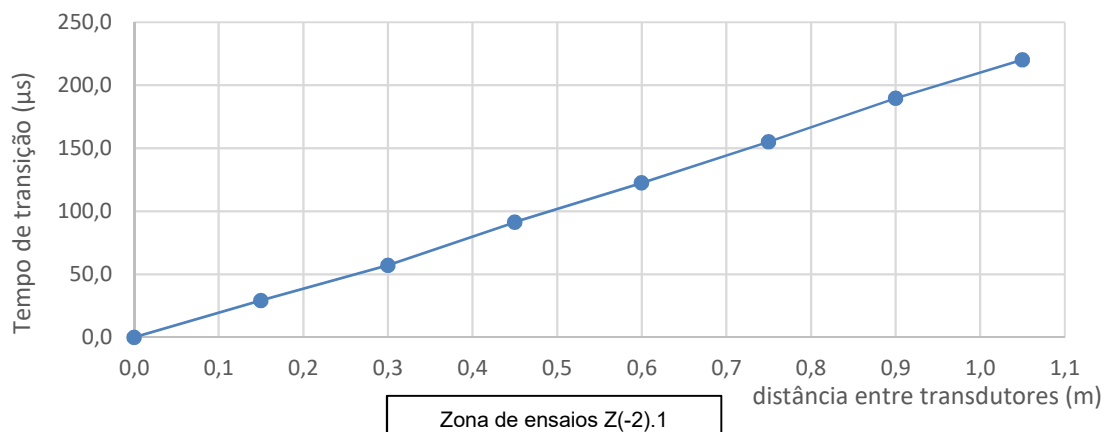


Gráfico 2 - Resultados dos ensaios ultrassónicos em pilares

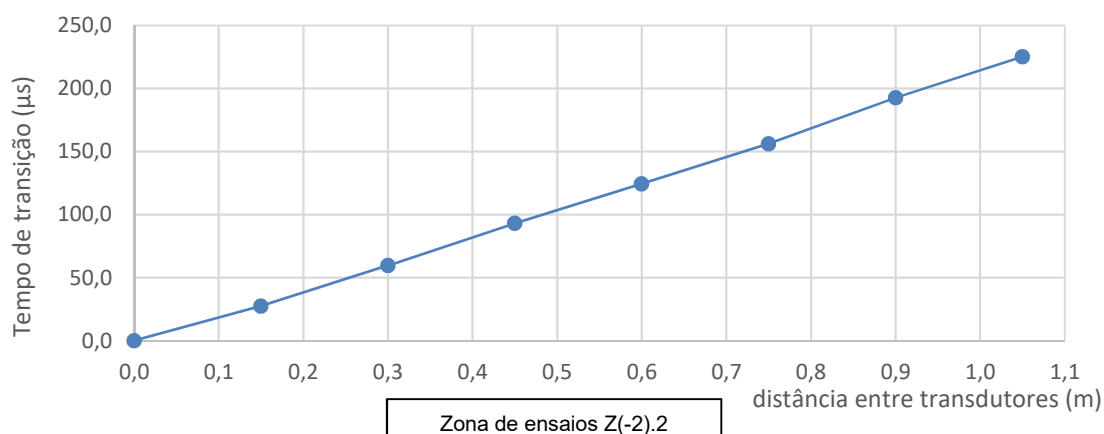


Gráfico 3 - Resultados dos ensaios ultrassónicos em pilares

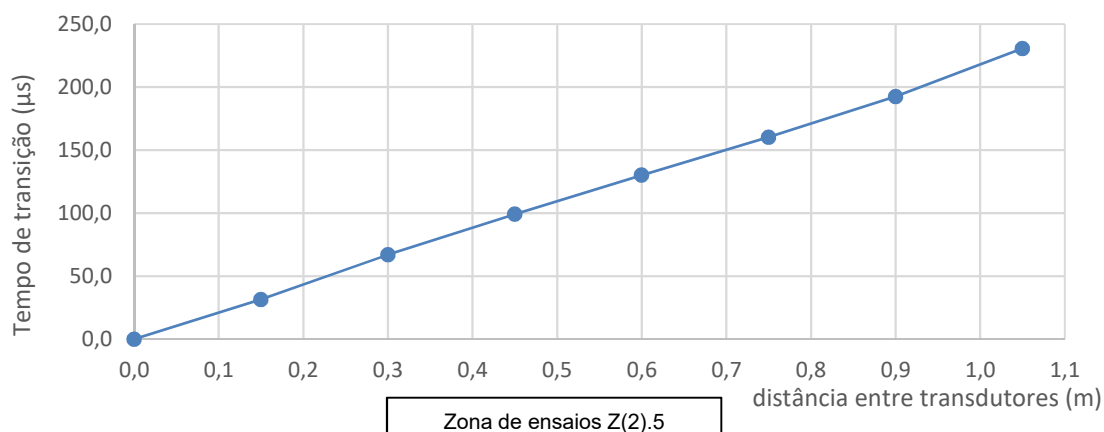


Gráfico 4 - Resultados dos ensaios ultrassónicos em lajes

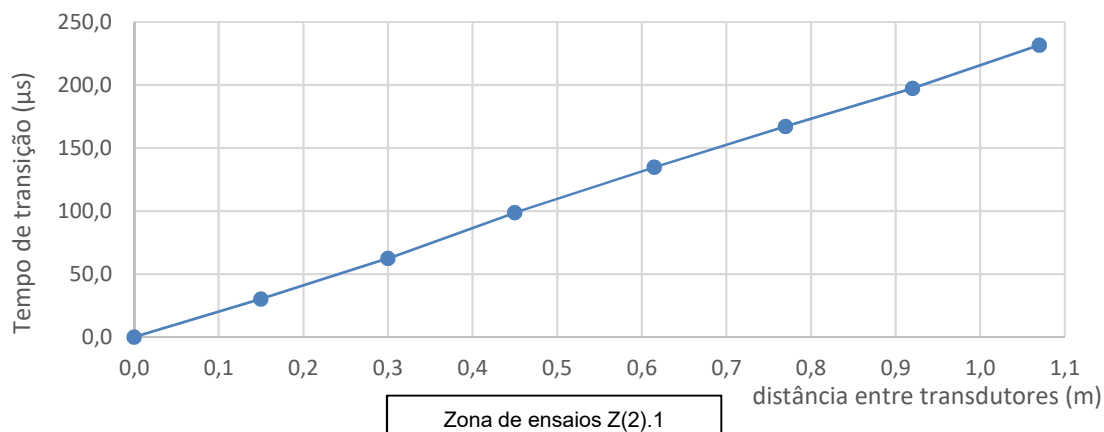


Gráfico 5 - Resultados dos ensaios ultrassónicos em lajes

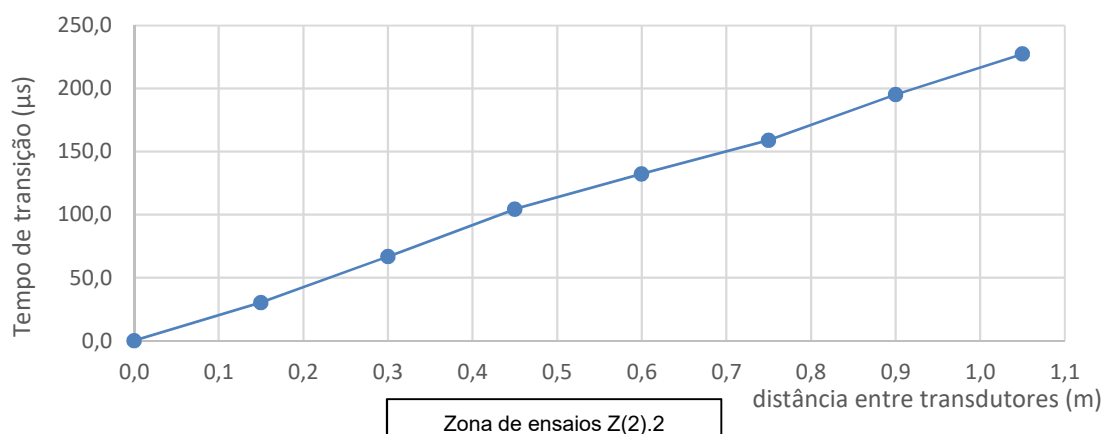


Gráfico 6 - Resultados dos ensaios ultrassónicos em lajes

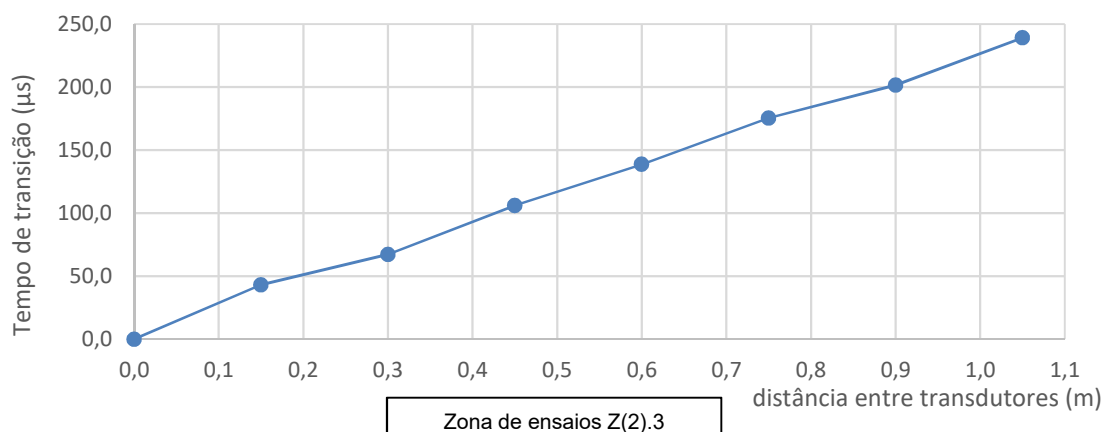


Gráfico 7 - Resultados dos ensaios ultrassónicos em lajes

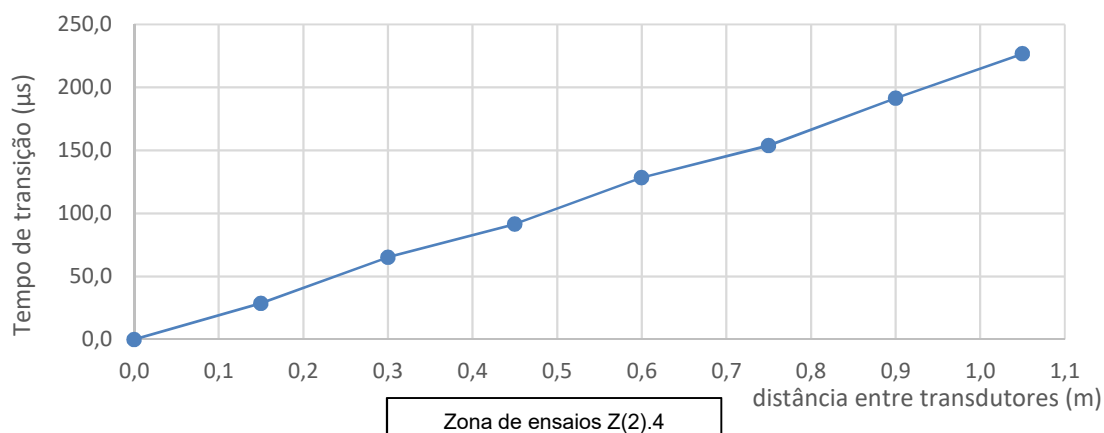


Gráfico 8 - Resultados dos ensaios ultrassónicos em lajes

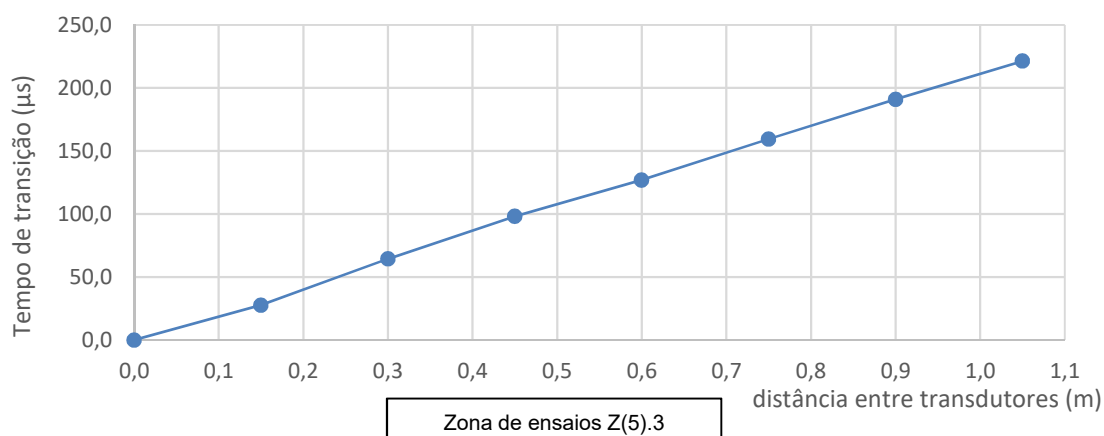


Gráfico 9 - Resultados dos ensaios ultrassónicos em lajes

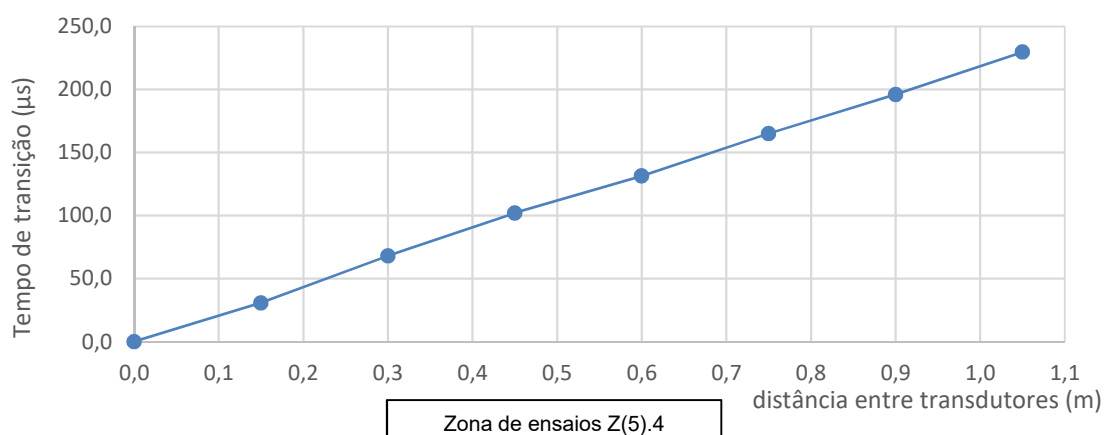
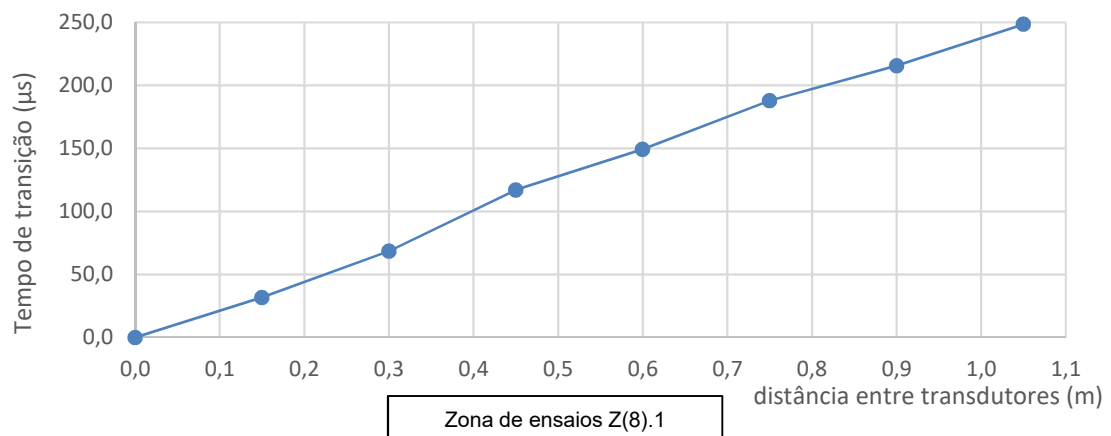


Gráfico 10 - Resultados dos ensaios ultrassónicos em lajes



Quadro 2 - Resultados dos ensaios esclerométricos

Elemento estrutural	Piso	Ensaio	Localização do ensaio no elemento estrutural	Ângulo do ensaio	Índice esclerométrico						$W_{\text{méd.}}$ (MPa)	Δ (Mpa)	Tensão de rotura		
					$R_{\text{min.}}$	$R_{\text{méd.}}$	$R_{\text{máx.}}$	D.P.	C.V.	Med.			Média (Mpa)	D.P.	C.V.
Pilar	-2	Zona Z(-2).1	Face oeste	0°	48	50	52	1,8	4%	50	60	7,75	63	2,3	4%
		Zona Z(-2).2		0°	50	52	54	1,2	2%	52	64	7,85			
	2	Zona Z(2).5	Face sul/oeste	0°	48	52	54	1,9	4%	52	64	7,85			
Laje de pavimento	2	Zona Z(2).1	Face inferior	90°	64	65	66	1,0	2%	64	>62	>7,80	>64	3,9	6%
		Zona Z(2).2		90°	62	63	64	1,0	2%	64	>62	>7,80			
		Zona Z(2).3		90°	54	57	58	1,6	3%	58	>62	>7,80			
		Zona Z(2).4		90°	60	63	64	1,3	2%	64	>62	>7,80			
	5	Zona Z(5).3	Face superior	-90°	50	54	56	1,7	3%	54	>70	>8,00			
		Zona Z(5).4		-90°	50	52	54	1,2	2%	52	70	8,00			
	8	Zona Z(8).1	Face inferior	90°	56	60	62	2,1	3%	60	>62	>7,80			

Legenda/Notas:

$R_{\text{méd.}}$ - Índice esclerométrico médio.

D.P. - Desvio padrão.

C.V. - Coeficiente de variação.

Med. - Mediana do índice esclerométrico.

$W_{\text{méd.}}$ - valor médio da tensão de rotura referente a provetes cúbicos.

Δ - valor médio da dispersão.

Quadro 3 - Caracterização visual das carotes

Elemento estrutural	Carote	Localização	Ensaio	Profundidade [cm]		Varões [mm]			Observações	Ensaio laboratoriais Resistência à compressão
				total*	rect.**	nº.	φ	rec.		
Parede	C15	Piso 0	Zona Z(0).1	16,0	-	-	-	-	Betão de aspeto compacto, embora com alguns vazios. Contém agregados grosseiros de natureza calcária que se encontram homogeneamente distribuídos pela pasta de cimento. Estes apresentam formas predominantemente angulares, com dimensão máxima de 20mm. Máxima dimensão do vazio de 3mm.	x
	C16			19,0	-	-	-	-	Idem C15. Máxima dimensão do agregado de 18mm. Vazios com dimensão máxima de 4mm.	x
	C13	Piso 2	Zona Z(2).6	13,0	-	-	-	-	Idem C15. Máxima dimensão do agregado de 13mm. Vazios com dimensão máxima de 4mm.	x
	C14			12,5	-	-	-	-	Idem C15. Máxima dimensão do agregado de 16mm. Vazios com dimensão máxima de 4mm.	x
	C26		Zona Z(2).7	18,5	-	-	-	-	Idem C15. Máxima dimensão do agregado de 17mm. Vazios com dimensão máxima de 5mm.	x
	C27			20,0	-	-	-	-	Idem C15. Máxima dimensão do agregado de 22mm. Vazios com dimensão máxima de 6mm.	x
Laje	C28	Piso 0	Zona Z(0).2	14,0	-	-	-	-	Idem C13. Máxima dimensão do agregado de 21mm. Vazios com dimensão máxima de 3mm.	x
	C29			14,0	-	-	-	-	Idem C13. Máxima dimensão do agregado de 13mm. Vazios com dimensão máxima de 6mm.	x
	C30			14,5	-	-	-	-	Idem C13. Máxima dimensão do agregado de 17mm. Vazios com dimensão máxima de 5mm.	x
	C1	Piso 2	Zona Z(2).4	13,5	-	-	-	-	Idem C13. Máxima dimensão do agregado de 18mm. Vazios com dimensão máxima de 4mm.	x
	C2			14,0	-	-	-	-	Idem C13. Máxima dimensão do agregado de 19mm. Vazios com dimensão máxima de 4mm.	x
	C3			13,0	-	-	-	-	Idem C13. Máxima dimensão do agregado de 16mm. Vazios com dimensão máxima de 4mm.	x
	C4		Zona Z(2).1	14,5	-	-	-	-	Idem C13. Máxima dimensão do agregado de 15mm. Vazios com dimensão máxima de 3mm.	x
	C5			14,0	-	-	-	-	Idem C13. Máxima dimensão do agregado de 17mm. Vazios com dimensão máxima de 6mm.	x
	C6			14,0	-	-	-	-	Idem C13. Máxima dimensão do agregado de 21mm. Vazios com dimensão máxima de 6mm.	x
	C7		Zona Z(2).3	13,5	-	-	-	-	Idem C13. Máxima dimensão do agregado de 15mm. Vazios com dimensão máxima de 5mm.	x
	C8			13,5	-	-	-	-	Idem C13. Máxima dimensão do agregado de 16mm. Vazios com dimensão máxima de 9mm.	x
	C9			13,5	-	-	-	-	Idem C13. Máxima dimensão do agregado de 16mm. Vazios com dimensão máxima de 4mm.	x

Quadro 3 - Caracterização visual das carotes

Elemento estrutural	Carote	Localização	Ensaio	Profundidade [cm]		Varões [mm]			Observações	Ensaio laboratoriais Resistência à compressão
				total*	rect.**	nº.	φ	rec.		
Laje	C10	Piso 2	Zona Z(2).2	15,0	-	-	-	-	Idem C13. Máxima dimensão do agregado de 22mm. Vazios com dimensão máxima de 6mm.	x
	C11			15,0	-	-	-	-	Idem C13. Máxima dimensão do agregado de 22mm. Vazios com dimensão máxima de 5mm.	x
	C12			15,0	-	-	-	-	Idem C13. Máxima dimensão do agregado de 21mm. Vazios com dimensão máxima de 5mm.	x
	C17	Piso 5	Zona Z(5).2	15,0	-	-	-	-	Idem C13. Máxima dimensão do agregado de 17mm. Vazios com dimensão máxima de 6mm.	x
	C18			15,0	-	-	-	-	Idem C13. Máxima dimensão do agregado de 22mm. Vazios com dimensão máxima de 5mm.	x
	C19			15,5	-	-	-	-	Idem C13. Máxima dimensão do agregado de 14mm. Vazios com dimensão máxima de 2mm.	x
	C20		Zona Z(5).1	19,0	-	1	10	26	Idem C13. Máxima dimensão do agregado de 20mm. Vazios com dimensão máxima de 4mm.	x
	C21			12,0	-	-	-	-	Idem C13. Máxima dimensão do agregado de 20mm. Vazios com dimensão máxima de 2mm.	x
	C22			12,0	-	-	-	-	Idem C13. Máxima dimensão do agregado de 16mm. Vazios com dimensão máxima de 1mm.	x
	C23	Piso 8	Zona Z(8).1	14,0	-	-	-	-	Idem C13. Máxima dimensão do agregado de 19mm. Vazios com dimensão máxima de 4mm.	x
	C24			16,0	-	-	-	-	Idem C13. Máxima dimensão do agregado de 19mm. Vazios com dimensão máxima de 4mm.	x
	C25			13,5	-	-	-	-	Idem C13. Máxima dimensão do agregado de 17mm. Vazios com dimensão máxima de 7mm.	x

Legenda/Notas:

- (*): A profundidade total é equivalente ao comprimento médio da carote.
- (**): A profundidade de rectificação é a distância desde a superfície até à secção da carote onde é efectuado o corte do provete para os ensaios laboratoriais.
- As carotes extraídas têm aproximadamente 94 mm de diâmetro.

Quadro 4 - Resultados dos ensaios de rotura à compressão uniaxial sobre provetes cilíndricos

Elemento estrutural	Carote	Localização	Ensaio	Tensão de rotura à compressão [MPa]					
				laboratório ⁽¹⁾	corrigido ⁽²⁾	fcm	DP	cv	fck ⁽³⁾
Parede	C15	Piso 0	Zona Z(0).1	59,5	74,0	83,2	11,3	14%	68,9
	C16			61,7	76,8				
	C13	Piso 2	Zona Z(2).6	68,6	85,4				
	C14			71,1	88,5				
	C26		Zona Z(2).7	83,3	103,7				
	C27			77,4	96,3				
Laje	C28	Piso 0	Zona Z(0).2	60,3	69,5	83,0	7,9	10%	72,0
	C29			59,8	68,9				
	C30			58,8	67,7				
	C1	Piso 2	Zona Z(2).4	75,5	87,0				
	C2			71,3	82,2				
	C3			71,8	82,7				
	C4		Zona Z(2).1	77,2	88,9				
	C5			73,9	85,1				
	C6			66,2	76,3				
	C7		Zona Z(2).3	81	93,3				
	C8			70,2	80,9				
	C9			81,6	94,0				
	C10		Zona Z(2).2	73,6	84,8				
	C11			75,5	87,0				
	C12			75,5	87,0				
	C17	Piso 5	Zona Z(5).2	83,3	96,0				
	C18			77,9	89,8				
	C19			80,2	92,4				
	C20		Zona Z(5).1	77	88,7				
	C21			83,8	96,6				
	C22	Piso 8	Zona Z(8).1	73,4	84,6				
	C23			77,8	89,6				
	C24			72,7	83,8				
	C25			73,8	85,0				

Legenda/Notas:

fcm - valor médio inferior da tensão de rotura do lote de provetes.

DP - valor do desvio padrão do lote de provetes.

cv - valor do coeficiente de variação do lote de provetes.

fck - valor característico da tensão do lote de provetes (admitindo-se uma distribuição normal).

(1) - valor obtido em laboratório referente a provetes cilíndricos com altura igual ao diâmetro.

(2) - valor referente a cubos corrigido de acordo com a metodologia da Concrete Society.

(3) - admite-se o valor do coef. de variação no cálculo do valor característico da tensão de rotura.

Quadro 5 - Resultados da medição da profundidade de carbonatação dos betões

Elemento estrutural	Piso	Ensaio	Localização do ensaio no elemento estrutural	Recobrimentos de betão medido com o pacómetro [mm]		Profundidade média de carbonatação dos betões [mm]
				Mínimo	Médio	
Pilar	2	Zona Z(2).5	Face oeste	11	14	16
Lajes de pavimento	5	Zona Z(5).2	Face superior	37	40	3
	8	Zona Z(8).1		1)	1)	31

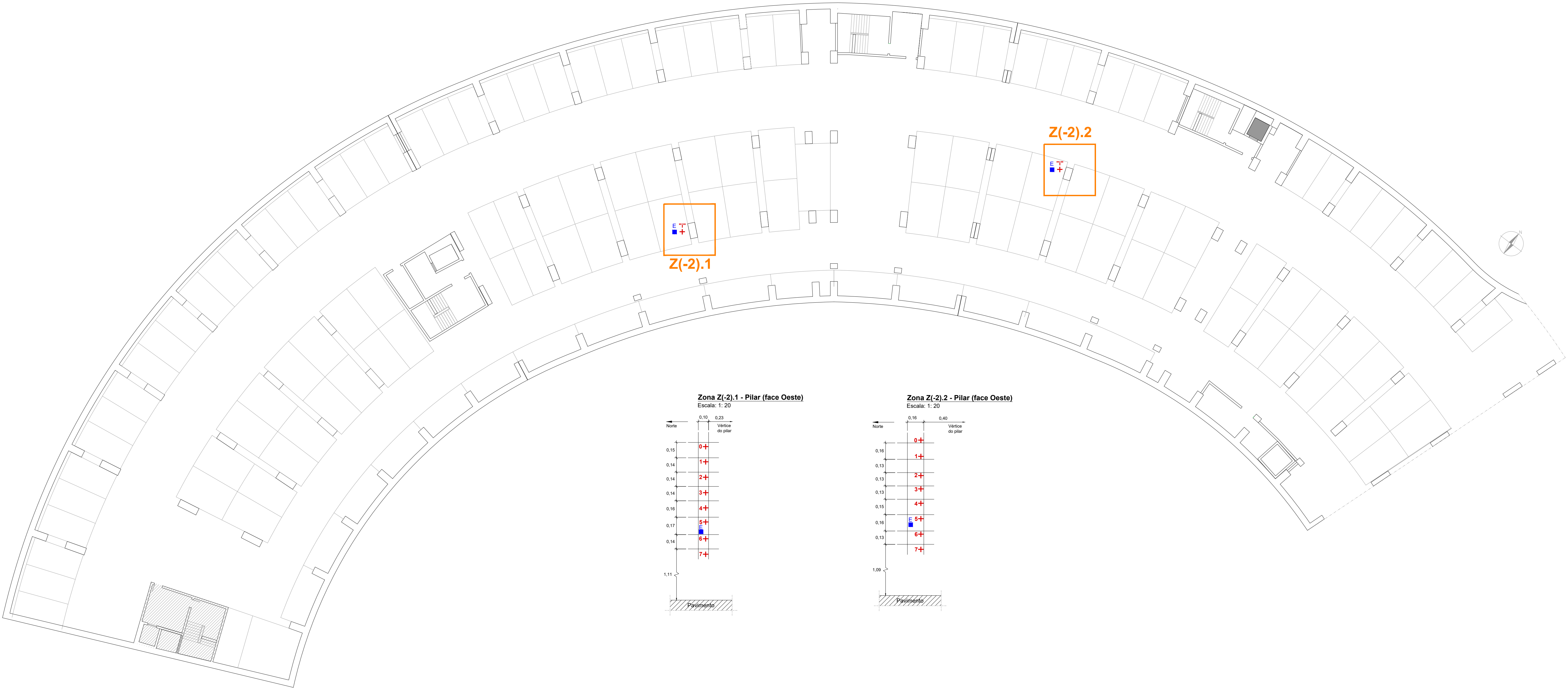
Legenda / Notas:

1) Valores de recobrimento superiores ao alcance máximo do equipamento detetor de armaduras - pacómetro (>100mm)

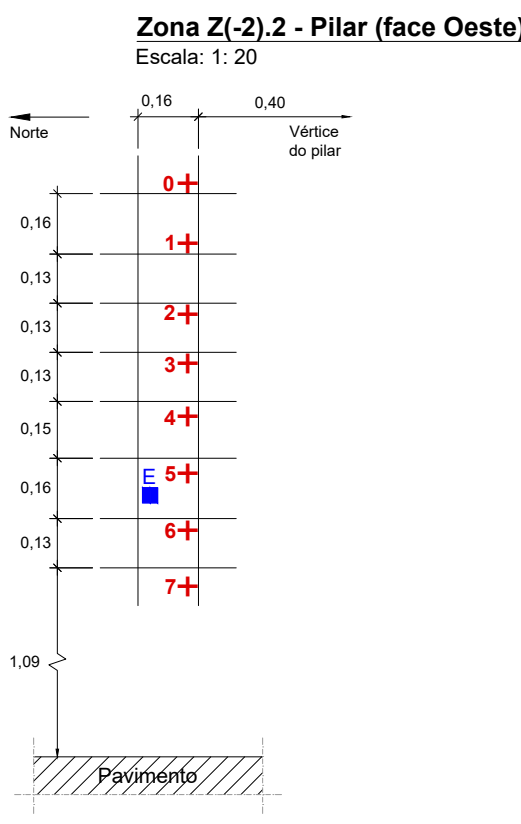
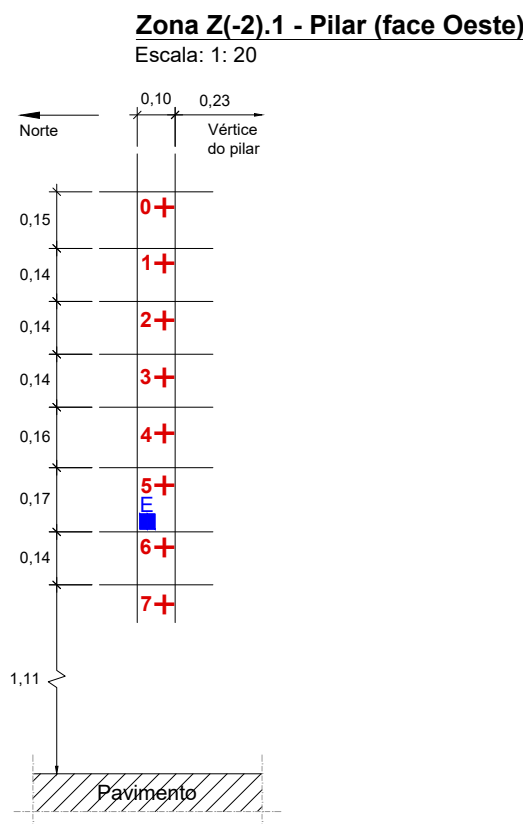
 - Zona de ensaios cuja profundidade média da carbonatação no betão é igual ou superior ao recobrimento mínimo e médio das armaduras.



ANEXO III



Planta do piso -2
Escala: 1:200



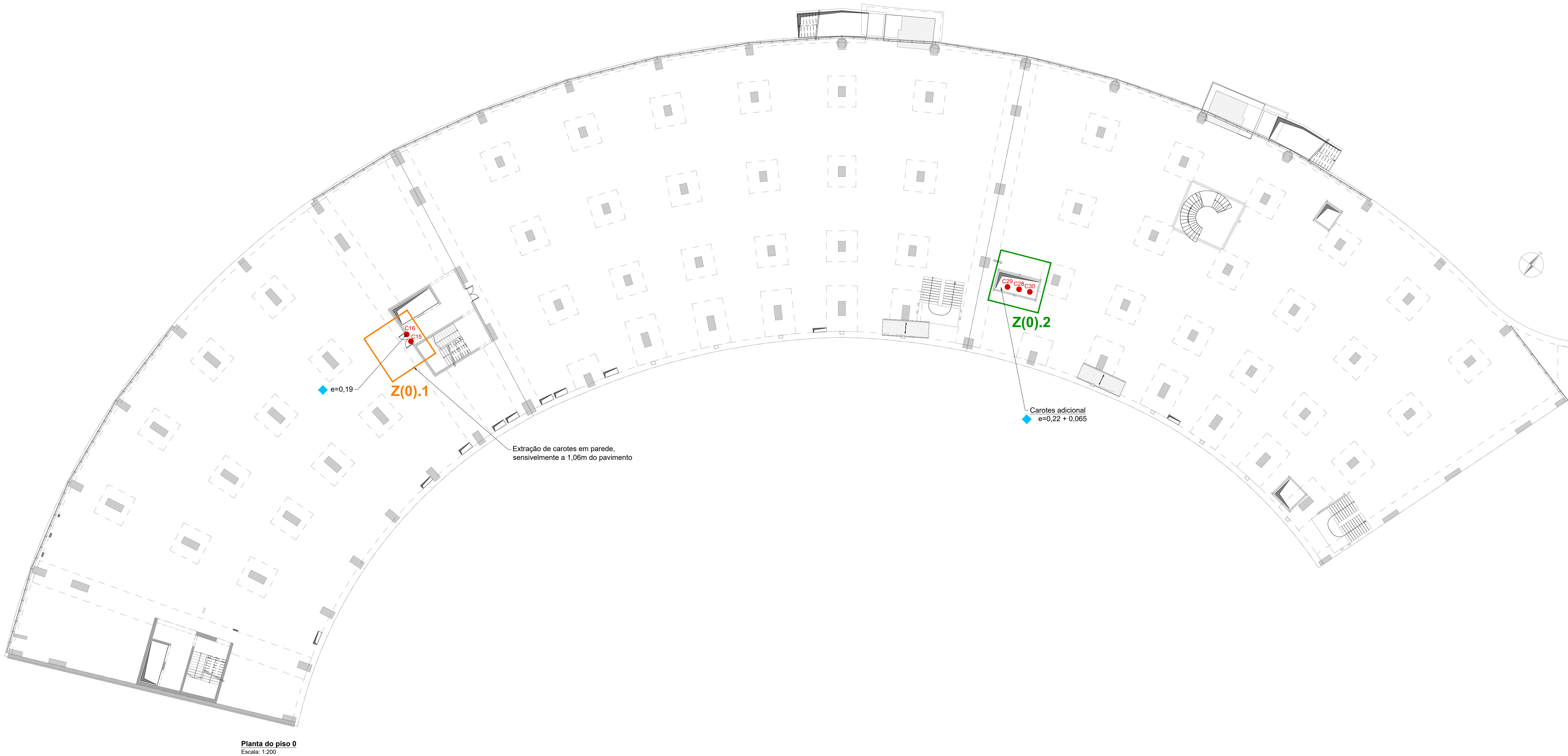
Legenda:

- Z("T"), "T" - Zona de ensaios Z"T" em pilares / paredes, no piso ("T")
- T+ - Ensaio ultrassónico "T" realizado através do método indireto
- E - Ensaio esclerométrico
- C"T" - Extração de carote C"T" para ensaio à compressão
- 0.00 - Medições realizadas "in situ", em metros

Nota: Desenho elaborado a partir de peças desenhadas fornecidas pelo Cliente.

	R. Professor Reinaldo dos Santos, 48 - B * 1500 - 508 Lisboa * Tel: 213 563 371 * Fax: 213 153 550 E-mail: gen@oz-diagnostico.pt / Internet: www.oz-diagnostico.pt
Proc. 2211/00	CAMPANHA DE ENSAIOS PARA AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS MATERIAIS EXISTENTES NO TOPO NORTE DO ESTÁDIO MUNICIPAL DE LEIRIA
Escalas 1: 200 1: 20	Localização das zonas de ensaios e representação de ensaios
Data jul / 20	Des. N.º 1
	subst. subst. por

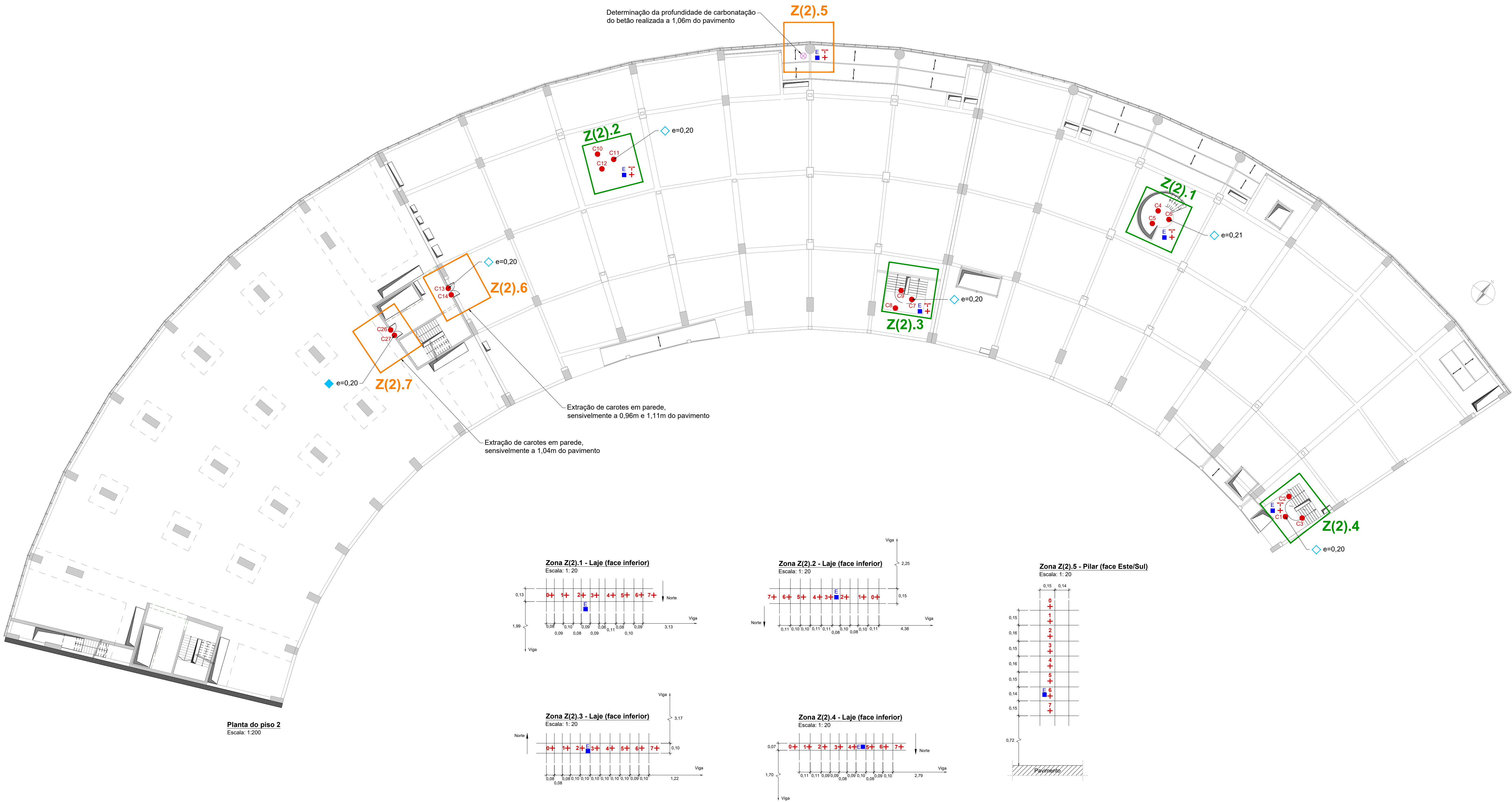
Este desenho é da exclusiva autoria e propriedade da Oz - diagnóstico, levantamento e controlo de qualidade em estruturas e fundações, lda. As informações nele contidas são, no entanto, livremente utilizáveis pelo Cliente, que poderá, com esse fim, reproduzir este desenho no todo ou em parte.



Nota: Desenho elaborado a partir de peças desenhadas fornecidas pelo Cliente.

 Diagnóstico, levantamento e Controlo de Qualidade em Estruturas e Fundações, Lda		R. Professor Reinaldo dos Santos, 48 - B * 1500 - 508 Lisboa * Tel: 213 563 371 * Fax: 213 153 550 E-mail: ger@oz-diagnostico.pt / Internet: www.oz-diagnostico.pt	
Proc. 2211/00	CAMPAÑA DE ENSAIOS PARA AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS MATERIAIS EXISTENTES NO TOPO NORTE DO ESTÁDIO MUNICIPAL DE LEIRIA		
Escala 1: 200	Localização das zonas de ensaios Planta do piso 0		Des. N.º 2
Data jul / 20			
			subst. subst. por

Legenda:	
	- Zona de ensaio Z("I") em pilares / paredes, no piso ("I")
	- Zona de ensaio Z("I") em lajes, no piso ("I")
	- Extração de carote C("I") para ensaio à compressão
	- Espessura do elemento estrutural aferida através do orifício de extração de carote, em metros



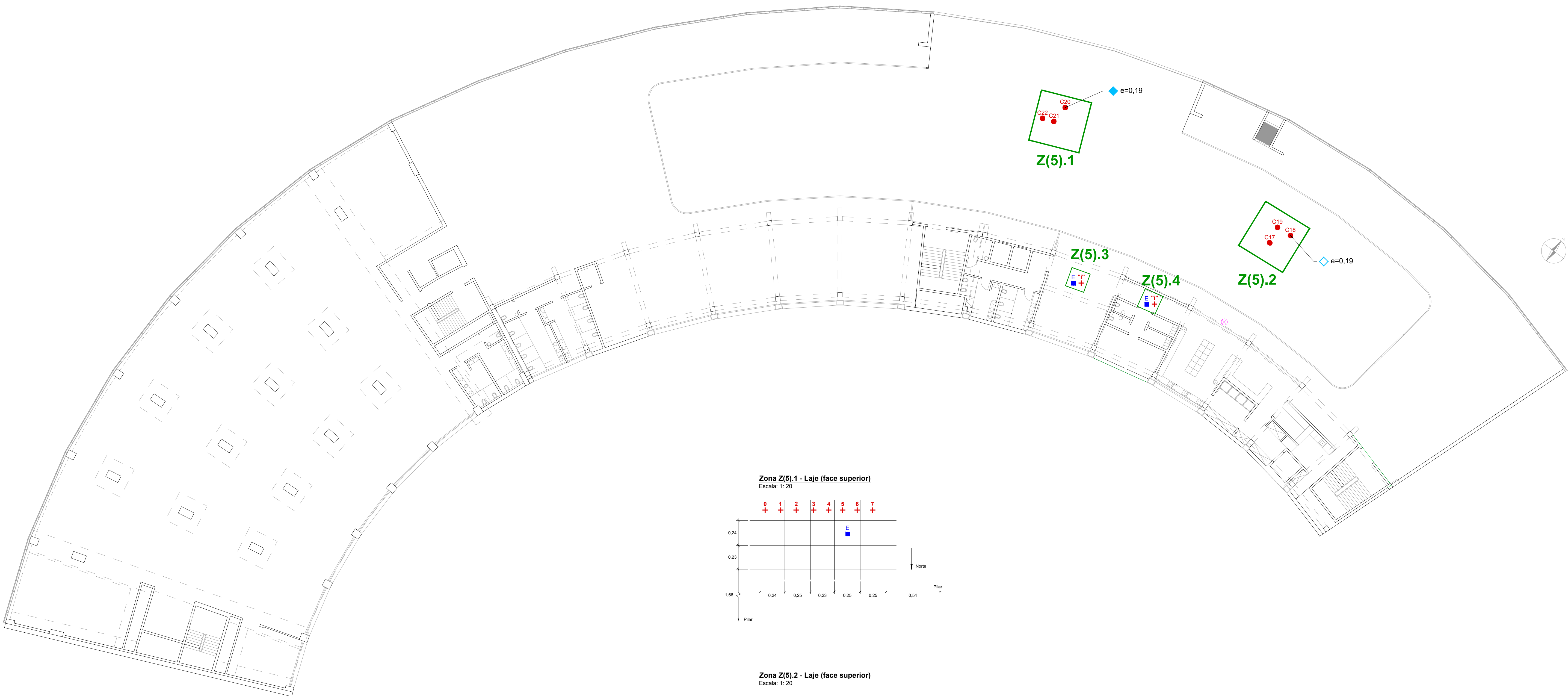
Legenda:

- Z("I"), "I"** - Zona de ensaios Z"I" em pilares / paredes, no piso ("I")
- Z("I"), "I"** - Zona de ensaios Z"I" em lajes, no piso ("I")
- "I"** - Ensaio ultrassónico "I" realizado através do método indireto
- E** - Ensaio esclerométrico
- C"I"** - Extração de carote C"I" para ensaio à compressão
- - Determinação da profundidade de carbonatação do betão
- ◆** - Espessura do elemento estrutural aferida através do orifício de extração de carote, em metros
- ◇** - Espessura do elemento estrutural aferida através do furo de inspeção realizado no orifício de extração de carote, em metros
- 0,00** - Medições realizadas "in situ", em metros

Nota: Desenho elaborado a partir de peças desenhadas fornecidas pelo Cliente.

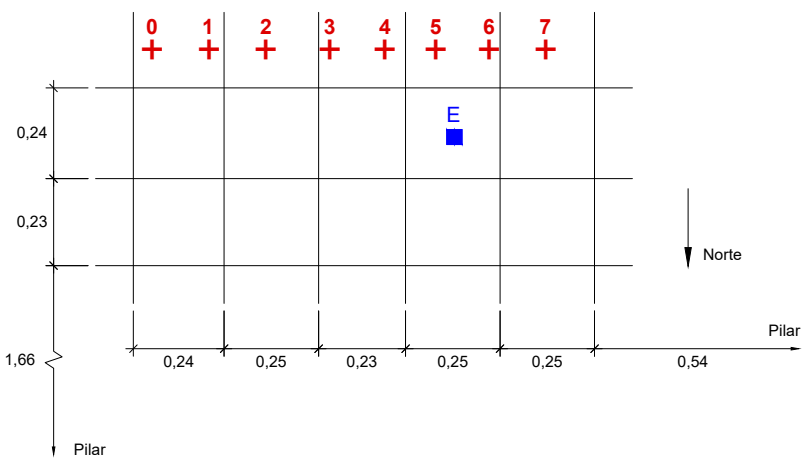
	R. Professor Reinaldo dos Santos, 48 - B * 1500 - 508 Lisboa * Tel: 213 563 371 * Fax: 213 153 550 E-mail: gen@oz-diagnostico.pt / Internet: www.oz-diagnostico.pt	
Proc. 2211/00	CAMPANHA DE ENSAIOS PARA AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS MATERIAIS EXISTENTES NO TOPO NORTE DO ESTÁDIO MUNICIPAL DE LEIRIA	
Escalas 1: 200 1: 20	Localização das zonas de ensaios e representação de ensaios	Des. N.º 3
Data jul/ 20	Planta do piso 2	subst. subst. por

Este desenho é da exclusiva autoria e propriedade da Oz - diagnóstico, levantamento e controlo de qualidade em estruturas e fundações, lda. As informações nele contidas são, no entanto, livremente utilizáveis pelo Cliente, que poderá, com esse fim, reproduzir este desenho no todo ou em parte.

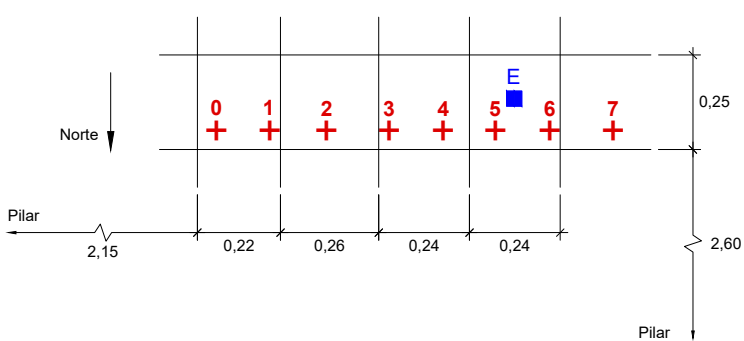


Planta do piso 5
Escala: 1:200

Zona Z(5).1 - Laje (face superior)
Escala: 1: 20



Zona Z(5).2 - Laje (face superior)
Escala: 1: 20



Legenda:

- Z("T"), "T" - Zona de ensaios Z"i" em lajes, no piso ("i")
- T - Ensaio ultrassónico "T" realizado através do método indireto
- E - Ensaio esclerométrico
- C"i" - Extração de carote C"i" para ensaio à compressão
- ⊗ - Determinação da profundidade de carbonatação do betão
- ◆ - Espessura do elemento estrutural aferida através do orifício de extração de carote, em metros
- ◇ - Espessura do elemento estrutural aferida através do furo de inspeção realizado no orifício de extração de carote, em metros
- 0,00 - Medições realizadas "in situ", em metros

Nota: Desenho elaborado a partir de peças desenhadas fornecidas pelo Cliente.

 R. Professor Reinaldo dos Santos, 48 - B * 1500 - 508 Lisboa * Tel: 213 563 371 * Fax: 213 153 550 E-mail: gen@oz-diagnostico.pt / Internet: www.oz-diagnostico.pt	
Proc. 2211/00	CAMPANHA DE ENSAIOS PARA AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS MATERIAIS EXISTENTES NO TOPO NORTE DO ESTÁDIO MUNICIPAL DE LEIRIA
Escalas 1: 200 1: 20	Localização das zonas de ensaios e representação de ensaios
Data jul/ 20	Planta do piso 5
Des. N.º 4	
subst. subst. por	

Este desenho é da exclusiva autoria e propriedade da Oz - diagnóstico, levantamento e controlo de qualidade em estruturas e fundações, lda. As informações nele contidas são, no entanto, livremente utilizáveis pelo Cliente, que poderá, com esse fim, reproduzir este desenho no todo ou em parte.



ANEXO IV

RELATÓRIO DE ENSAIO

Processo: L20/00881

Ensaio: 3638

Relatório: L20/006758

Data: 30-07-2020

CAROTES EXTRAÇÃO, EXAME E ENSAIO À COMPRESSÃO

Marca: --

Designação:--

Requerente: OZ, DIAG.LEV. CONT. QUAL. EST.
FUND.,LDª

Obra: Proc. Nº 2211/00 - Estádio Municipal de Leiria

Identificação: Dez carotes

Pedido: V/Pedido Ref. 790 de 23-07-2020

Data de Entrada: 23-07-2020

OZ, DIAG.LEV. CONT. QUAL. EST. FUND.,LDª

Rua Reinaldo dos Santos, nº 48 B

--

1500-508 LISBOA

DIRECTOR TÉCNICO



João André

NÚMERO DO PROVETE	DATA DE FABRICO	DATA DE ENSAIO	IDADE (Dias)	MASSA (kg)	SECÇÃO (mm²)	FORÇA (kN)	TENSÃO (MPa)
C1	--	27-07-2020	--	1,58	6.940	524,2	75,5
C2	--	27-07-2020	--	1,55	6.940	494,9	71,3
C3	--	27-07-2020	--	1,54	6.940	498,3	71,8
C4	--	27-07-2020	--	1,54	6.940	535,8	77,2
C5	--	27-07-2020	--	1,55	6.940	513,0	73,9
C6	--	27-07-2020	--	1,54	6.940	459,1	66,2
C7	--	27-07-2020	--	1,56	6.940	561,8	81,0
C8	--	27-07-2020	--	1,55	6.940	487,2	70,2
C9	--	27-07-2020	--	1,56	6.940	566,5	81,6
C10	--	27-07-2020	--	1,53	6.940	511,0	73,6

Carotes entregues pelo cliente. Provete preparados e ensaiados à compressão pelo Laboratório de Ensaços APEB.
Máxima dimensão nominal do agregado: -- mm. Anomalias identificadas por inspeção visual: Nenhuma
Condição da humidade superficial na altura do ensaio: estado seco.

Identificação da carote	Posicionamento da armadura (mm)		Dimensões da carote extraída (mm)		Dimensões da carote como ensaiada (mm)		Relação comprimento/diâmetro da carote preparada
	diâmetro	distância à face de compressão	comprimento	diâmetro	comprimento	diâmetro	
C1	--	--	140	94	94	94	1
C2	--	--	130	94	94	94	1
C3	--	--	130	94	94	94	1
C4	--	--	145	94	94	94	1
C5	--	--	150	94	94	94	1
C6	--	--	135	94	94	94	1
C7	--	--	135	94	94	94	1
C8	--	--	135	94	94	94	1
C9	--	--	140	94	94	94	1
C10	--	--	155	94	94	94	1

As carotes foram cortadas, rectificadas por desgaste e ensaiadas de acordo com a norma NP EN 12504 - 1: 2019.
Os resultados de ensaio referem-se exclusivamente aos itens ensaiados.
Este relatório só pode ser reproduzido na íntegra.

RELATÓRIO DE ENSAIO

Processo: L20/00881

Ensaio: 3638

Relatório: L20/006759

Data: 30-07-2020

CAROTES EXTRAÇÃO, EXAME E ENSAIO À COMPRESSÃO

Marca: --

Designação:--

Requerente: OZ, DIAG.LEV. CONT. QUAL. EST.
FUND.,LDª

Obra: Proc. Nº 2211/00 - Estádio Municipal de Leiria

Identificação: Dez carotes

Pedido: V/Pedido Ref. 790 de 23-07-2020

Data de Entrada: 23-07-2020

OZ, DIAG.LEV. CONT. QUAL. EST. FUND.,LDª

Rua Reinaldo dos Santos, nº 48 B

--

1500-508 LISBOA

DIRECTOR TÉCNICO



João André

NÚMERO DO PROVETE	DATA DE FABRICO	DATA DE ENSAIO	IDADE (Dias)	MASSA (kg)	SECÇÃO (mm²)	FORÇA (kN)	TENSÃO (MPa)
C11	--	27-07-2020	--	1,54	6.940	524,1	75,5
C12	--	27-07-2020	--	1,55	6.940	523,8	75,5
C13	--	27-07-2020	--	1,56	6.940	476,1	68,6
C14	--	27-07-2020	--	1,55	6.940	493,6	71,1
C15	--	27-07-2020	--	1,56	6.940	412,9	59,5
C16	--	27-07-2020	--	1,56	6.940	428,1	61,7
C17	--	27-07-2020	--	1,56	6.940	578,4	83,3
C18	--	27-07-2020	--	1,56	6.940	540,4	77,9
C19	--	27-07-2020	--	1,56	6.940	556,3	80,2
C20	--	27-07-2020	--	1,55	6.940	534,2	77,0

Carotes entregues pelo cliente. Provete preparados e ensaiados à compressão pelo Laboratório de Ensaços APEB.
Máxima dimensão nominal do agregado: -- mm. Anomalias identificadas por inspeção visual: Nenhuma
Condição da humidade superficial na altura do ensaio: estado seco.

Identificação da carote	Posicionamento da armadura (mm)		Dimensões da carote extraída (mm)		Dimensões da carote como ensaiada (mm)		Relação comprimento/diâmetro da carote preparada
	diâmetro	distância à face de compressão	comprimento	diâmetro	comprimento	diâmetro	
C11	--	--	150	94	94	94	1
C12	--	--	150	94	94	94	1
C13	--	--	125	94	94	94	1
C14	--	--	130	94	94	94	1
C15	--	--	150	94	94	94	1
C16	--	--	190	94	94	94	1
C17	--	--	155	94	94	94	1
C18	--	--	140	94	94	94	1
C19	--	--	150	94	94	94	1
C20	--	--	180	94	94	94	1

As carotes foram cortadas, rectificadas por desgaste e ensaiadas de acordo com a norma NP EN 12504 - 1: 2019.
Os resultados de ensaio referem-se exclusivamente aos itens ensaiados.

RELATÓRIO DE ENSAIO

Processo: L20/00881

Ensaio: 3638

Relatório: L20/006760

Data: 30-07-2020

CAROTES

EXTRAÇÃO, EXAME E ENSAIO À COMPRESSÃO

Marca: --

Designação:--

Requerente: OZ, DIAG.LEV. CONT. QUAL. EST.
FUND.,LDª

Obra: Proc. Nº 2211/00 - Estádio Municipal de Leiria

Identificação: Dez carotes

Pedido: V/Pedido Ref. 790 de 23-07-2020

Data de Entrada: 23-07-2020

OZ, DIAG.LEV. CONT. QUAL. EST. FUND.,LDª

Rua Reinaldo dos Santos, nº 48 B

--

1500-508 LISBOA

DIRECTOR TÉCNICO



João André

NÚMERO DO PROVETE	DATA DE FABRICO	DATA DE ENSAIO	IDADE (Dias)	MASSA (kg)	SECÇÃO (mm²)	FORÇA (kN)	TENSÃO (MPa)
C21	--	27-07-2020	--	1,55	6.940	581,4	83,8
C22	--	27-07-2020	--	1,53	6.940	509,6	73,4
C23	--	27-07-2020	--	1,56	6.940	539,7	77,8
C24	--	27-07-2020	--	1,55	6.940	504,7	72,7
C25	--	27-07-2020	--	1,53	6.940	512,4	73,8
C26	--	27-07-2020	--	1,60	6.940	578,1	83,3
C27	--	27-07-2020	--	1,60	6.940	536,8	77,4
C28	--	27-07-2020	--	1,54	6.940	418,6	60,3
C29	--	27-07-2020	--	1,54	6.940	415,0	59,8
C30	--	27-07-2020	--	1,53	6.940	408,3	58,8

Carotes entregues pelo cliente. Provete preparados e ensaiados à compressão pelo Laboratório de Ensaços APEB.
Máxima dimensão nominal do agregado: -- mm. Anomalias identificadas por inspeção visual: Nenhuma
Condição da humidade superficial na altura do ensaio: estado seco.

Identificação da carote	Posicionamento da armadura (mm)		Dimensões da carote extraída (mm)		Dimensões da carote como ensaiada (mm)		Relação comprimento/diâmetro da carote preparada
	diâmetro	distância à face de compressão	comprimento	diâmetro	comprimento	diâmetro	
C21	--	--	120	94	94	94	1
C22	--	--	120	94	94	94	1
C23	--	--	140	94	94	94	1
C24	--	--	160	94	94	94	1
C25	--	--	125	94	94	94	1
C26	--	--	180	94	94	94	1
C27	--	--	200	94	94	94	1
C28	--	--	140	94	94	94	1
C29	--	--	140	94	94	94	1
C30	--	--	145	94	94	94	1

As carotes foram cortadas, rectificadas por desgaste e ensaiadas de acordo com a norma NP EN 12504 - 1: 2019.
Os resultados de ensaio referem-se exclusivamente aos itens ensaiados.
Este relatório só pode ser reproduzido na íntegra.



ANEXO V

BOLETIM DE ENSAIO / Testing Bulletin

CINFU - Centro de Formação Profissional da Indústria de Fundição
R. Delfim Ferreira, 800 - 4100-199 Porto

Tele. 351 (22) 6175760/80
Fax. 351 (22) 6103160

LABORATORIO DE ENSAIOS MECANICOS (Mechanical Test Laboratory)

ENSAIO DE TRAÇÃO (Tensile Testing)

EQUIP. DE ENSAIO / Testing Apparatus: **Maquina Shimadzu UH 1000kNI**

NORMAS DE REF.^a/Standard Methods: DE ENSAIO/Testing: **NP EN ISO 15630-1:2012**

PROVETES/Test Specimens: **EN ISO 6892-1:2016B**

AMOSTRA / Sample: **Proc. 2211 "Estadio Municipal de Leiria"**

REQUISITANTE / Client: **OZ-Diagnostico, Lev. e Cont. de Qual. em Estruturas e Fundações, Lda** CONTR. / Vat Number: **502 027 258**

ENDEREÇO /Address: **Rua Professor Reinaldo dos Santos, Nº48-B. 1500-508 Lisboa**

DATA DE ENTR./ Entrance date: **23.07.2020**

VOSSA REF.^a / Your Order Number: **784**

NOSSA REF.^o / Our Reference: **03937/2020etr03**

DATA DE ENSAIO / Testing Date: **2020.07.24**

Ref.^o Provete: **P2211 A3**

a	(mm)
b	(mm)
d0	10.00 (mm)
Fp 0,2%	42163 (N)
Fm	48269 (N)
L0	50.00 (mm)
Lu	62.70 (mm)
A (Alongamento)	25.4 (%)
Rp 0,2% (Limite Elástico)	536.8 (N/mm2)
Rm (Tensão de Rotura)	614.5 (N/mm2)
Agt (Along. força máx.)	10.7 (%)

OBSERVAÇÕES

Remarks

- 1) A execução do provete e da responsabilidade do requerente;
- 2) A rotura do provete localizou-se entre as marcas de referencia;
- 3)
- 4)
- 5)
- 6)
- 7)
- 8)

O TECNICO

Responsible Technician


Manuel Alberto

RESPONSÁVEL SERVIÇOS TÉCNICOS E TECNOLÓGICOS

Technological and technical services responsible


Fernando Barbosa (Eng.)

DATA

Date

2020.07.24

Este boletim so pode ser reproduzido na íntegra, salvo autorização expressa do CINFU.

Os resultados de ensaio apresentados referem-se exclusivamente aos itens ensaiados.

O per odo de reclamação dos itens ensaiados e de trinta dias, findo o qual o CINFU nao se responsabiliza pelo destino dos mesmos.

Date : 2020.07.24
Equipamento : Maquina Shimadzu UH 1000kNI
 Qual. em Estruturas e Fundações, Lda
Vossa Ref : 784
Nossa Ref : 03937/2020etr03
 Leiria"
Ref do Provete : P2211 A3
 Santos, Nº48-B. 1500-508 Lisboa

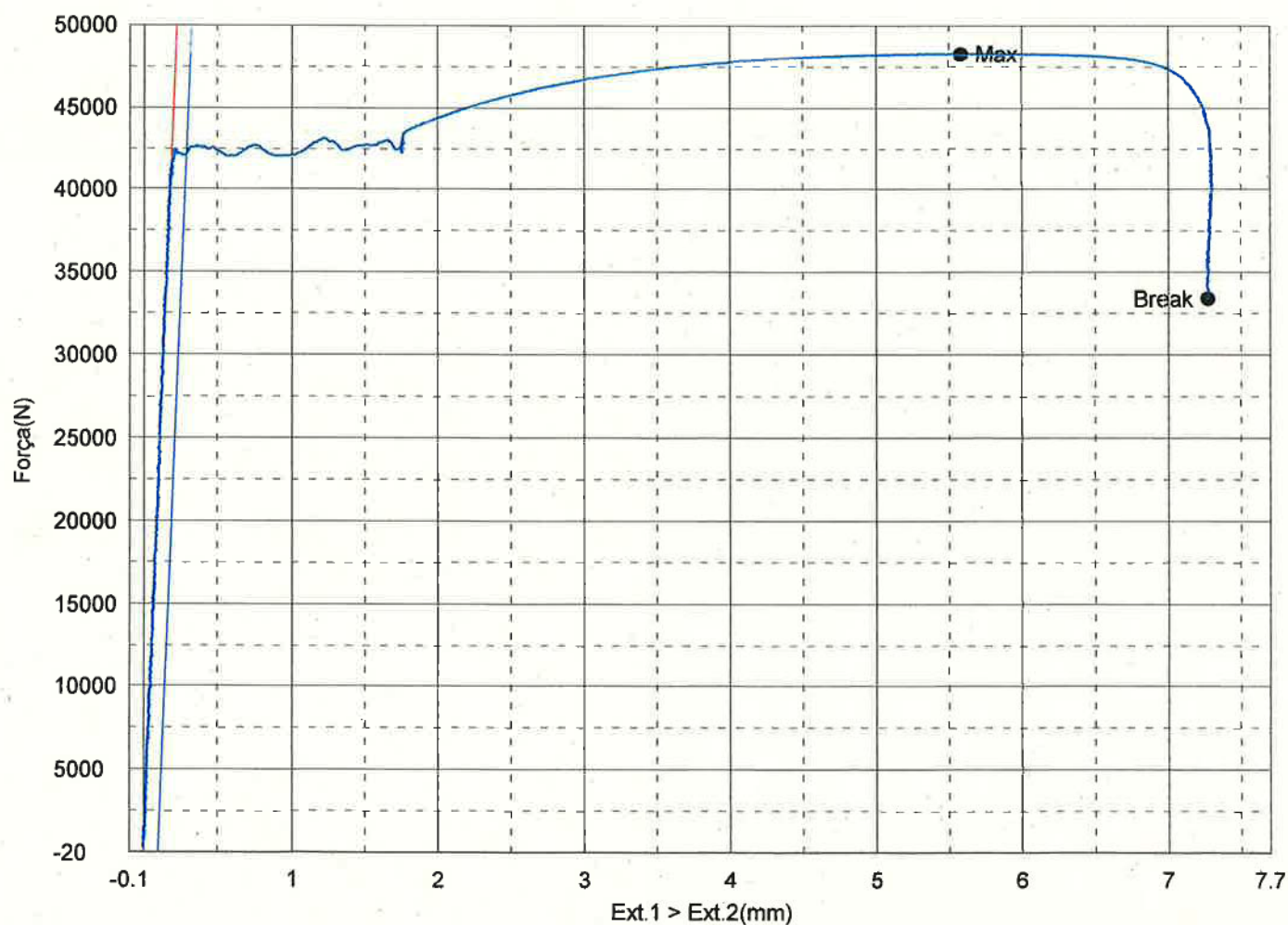
Norma de Ensaio : NP EN ISO 15630-1:2012
Requisitante : OZ-Diagnostico, Lev. e Cont. de
Data Entrada : 23.07.2020
Amostra : Proc. 2211 "Estádio Municipal de
Endereco : Rua Professor Reinaldo dos

Formato: Haste

	Diâmetro	Gauge Length	N CONTRIBUINTE	NORMA DE PROVETE
Unidades	mm	mm		
0	10.0000	50.0000	502 027 258	EN ISO 6892- 1:2016B

Nome	Modulo Elastico	Rp0,2%	Fm	Break (grafico)	% A
Parâmetro	3000, 35000 N	0.2 %			
Unidades	N/mm2	N	N	mm	%
0	140664.	42162.5	48268.7	7.2	25.4

Nome	Re	Rm	Z	Lu Final	Agt
Parâmetro	0.2 %				
Unidades	N/mm2	N/mm2	%	mm	%
0	536.8	614.5	0.0	62.7000	10.7



Comentário

BOLETIM DE ENSAIO / Testing Bulletin

CINFU - Centro de Formação Profissional da Indústria de Fundição
R. Delfim Ferreira, 800 - 4100-199 Porto

Tele. 351 (22) 6175760/80
Fax. 351 (22) 6103160

LABORATORIO DE ENSAIOS MECANICOS
(Mechanical Test Laboratory)

ENSAIO DE TRAÇÃO
(Tensile Testing)

EQUIP. DE ENSAIO / Testing Apparatus: **Maquina Shimadzu UH 1000kNI**

NORMAS DE REF.^a/Standard Methods: DE ENSAIO/Testing: **NP EN ISO 15630-1:2012**

PROVETES/Test Specimens: **EN ISO 6892-1:2016B**

AMOSTRA / Sample: **Proc. 2211 "Estadio Municipal de Leiria"**

REQUISITANTE / Client: **OZ-Diagnostico, Lev. e Cont. de Qual. em Estruturas e Fundações, Lda** CONTR. / Vat Number: **502 027 258**

ENDEREÇO /Address: **Rua Professor Reinaldo dos Santos, N°48-B. 1500-508 Lisboa**

DATA DE ENTR./ Entrance date: **23.07.2020**

VOSSA REF.^a / Your Order Number: **784**

NOSSA REF.^o / Our Reference: **03937/2020etr02**

DATA DE ENSAIO / Testing Date: **2020.07.24**

Ref.^o Provete: P2211 A2

a	(mm)
b	(mm)
d0	10.00 (mm)
Fp 0,2%	47238 (N)
Fm	54422 (N)
L0	50.00 (mm)
Lu	61.70 (mm)
A	(Alongamento) 23.4 (%)
Rp 0,2%	(Limite Elástico) 601.4 (N/mm ²)
Rm	(Tensão de Rotura) 692.9 (N/mm ²)
Agt	(Along. força máx.) 11.1 (%)

OBSERVAÇÕES

- 1) A execução do provete e da responsabilidade do requerente;
- 2) A rotura do provete localizou-se entre as marcas de referencia;
- 3)
- 4)
- 5)
- 6)
- 7)
- 8)

Remarks

O TECNICO

Responsible Technician


Manuel Alberto

RESPONSÁVEL SERVIÇOS TÉCNICOS E TECNOLÓGICOS

Technological and technical services responsible


Fernando Barbosa (Eng.)

DATA

Date

2020.07.24

Este boletim só pode ser reproduzido na íntegra, salvo autorização expressa do CINFU.

Os resultados de ensaio apresentados referem-se exclusivamente aos itens ensaiados.

O período de reclamação dos itens ensaiados é de trinta dias, findo o qual o CINFU não se responsabiliza pelo destino dos mesmos.

Date : 2020.07.24
Equipamento : Maquina Shimadzu UH 1000kNI
 Qual. em Estruturas e Fundações, Lda
Vossa Ref : 784
Nossa Ref : 03937/2020etr02
Ref do Provete : P2211 A2
 Santos, N°48-B. 1500-508 Lisboa

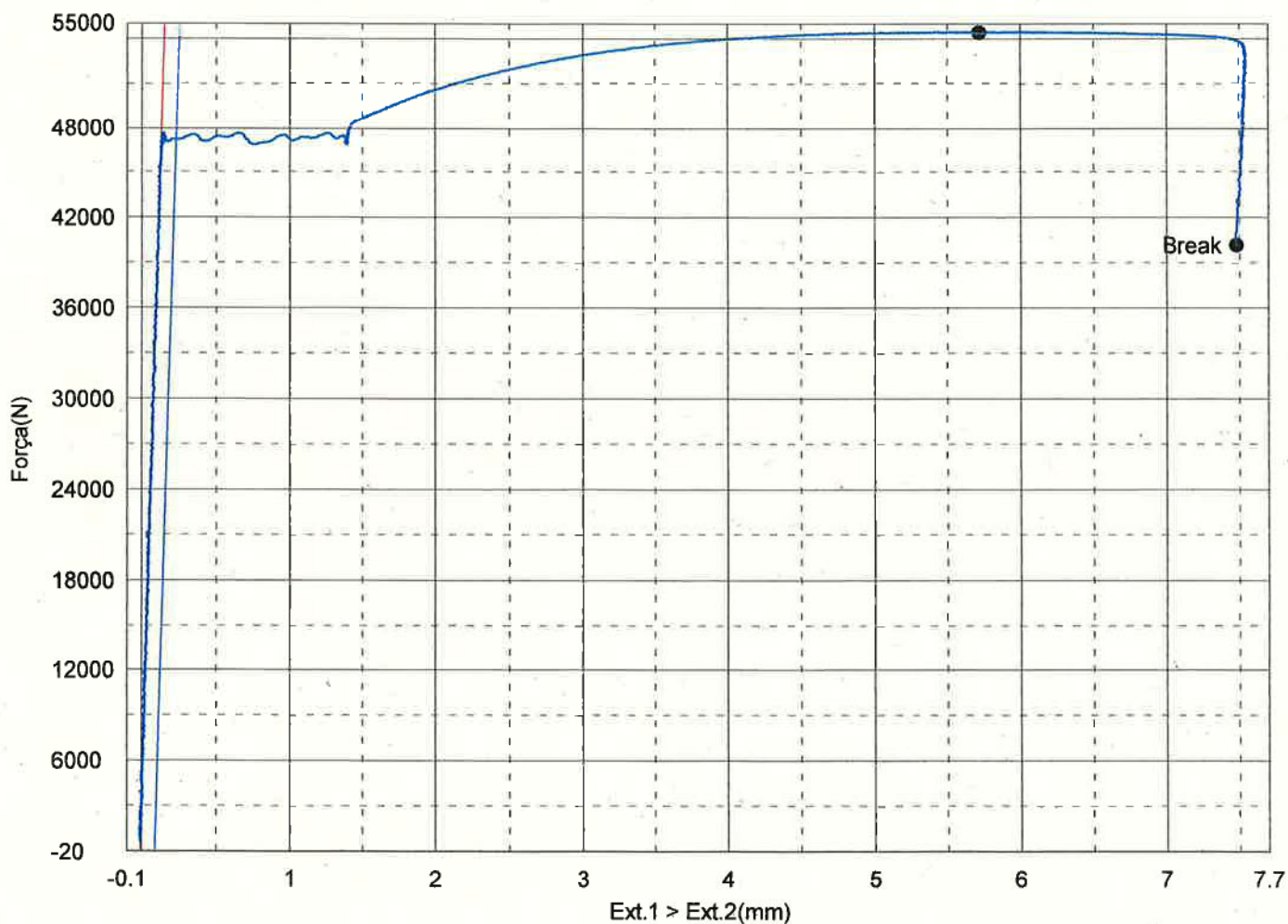
Norma de Ensaio : NP EN ISO 15630-1:2012
Requisitante : OZ-Diagnostico, Lev. e Cont. de
Data Entrada : 23.07.2020
Amostra : Proc. 2211 "Estádio Municipal de Leiria"
Endereco : Rua Professor Reinaldo dos

Formato: Haste

	Diâmetro	Gauge Length	N CONTRIBUINTE	NORMA DE PROVETE
Unidades	mm	mm		
0	10.0000	50.0000	502 027 258	EN ISO 6892-1:2016B

Nome	Modulo Elastico	Rp0,2%	Fm	Break (grafico)	% A
Parâmetro	3000, 35000 N	0.2 %			
Unidades	N/mm2	N	N	mm	%
0	215484.	47237.5	54421.8	7.4	23.4

Nome	Re	Rm	Z	Lu Final	Agt
Parâmetro	0.2 %				
Unidades	N/mm2	N/mm2	%	mm	%
0	601.4	692.9	0.0	61.7000	11.1



Comentário

BOLETIM DE ENSAIO / Testing Bulletin

CINFU - Centro de Formação Profissional da Indústria de Fundição
R. Delfim Ferreira, 800 - 4100-199 Porto

Tele. 351 (22) 6175760/80
Fax. 351 (22) 6103160

LABORATORIO DE ENSAIOS MECANICOS (Mechanical Test Laboratory)

ENSAIO DE TRAÇÃO (Tensile Testing)

EQUIP. DE ENSAIO / Testing Apparatus: **Maquina Shimadzu UH 1000kNI**

NORMAS DE REFª/Standard Methods: DE ENSAIO/Testing: **NP EN ISO 15630-1:2012**

PROVETES/Test Specimens: **EN ISO 6892-1:2016B**

AMOSTRA / Sample: **Proc. 2211 "Estadio Municipal de Leiria"**

REQUISITANTE / Client: **OZ-Diagnostico, Lev. e Cont. de Qual. em Estruturas e Fundações, Lda** CONTR. / Vat Number: **502 027 258**

ENDEREÇO /Address: **Rua Professor Reinaldo dos Santos, Nº48-B. 1500-508 Lisboa**

DATA DE ENTR./ Entrance date: **23.07.2020**

VOSSA REF.ª / Your Order Number: **784**

NOSSA REFª / Our Reference: **03937/2020etr01**

DATA DE ENSAIO / Testing Date: **2020.07.24**

Refª Provete: **P2211 A1**

a	(mm)
b	(mm)
d0	10.00 (mm)
Fp 0,2%	41791 (N)
Fm	48191 (N)
L0	50.00 (mm)
Lu	62.50 (mm)
A (Alongamento)	25.0 (%)
Rp 0,2% (Limite Elástico)	532.0 (N/mm²)
Rm (Tensão de Rotura)	613.5 (N/mm²)
Agt (Along. força máx.)	12.3 (%)

OBSERVAÇÕES

Remarks

- 1) A execução do provete e da responsabilidade do requerente;
- 2) A rotura do provete localizou-se entre as marcas de referencia;
- 3)
- 4)
- 5)
- 6)
- 7)
- 8)

O TECNICO

Responsible Technician


Manuel Alberto

RESPONSÁVEL SERVIÇOS TÉCNICOS E TECNOLÓGICOS

Technological and technical services responsible


Fernando Barbosa (Eng.)

DATA

Date

2020.07.24

Este boletim só pode ser reproduzido na íntegra, salvo autorização expressa do CINFU.

Os resultados de ensaio apresentados referem-se exclusivamente aos itens ensaiados.

O período de reclamação dos itens ensaiados é de trinta dias, findo o qual o CINFU não se responsabiliza pelo destino dos mesmos.

Date : 2020.07.24
Equipamento : Maquina Shimadzu UH 1000kNI
 Qual. em Estruturas e Fundações, Lda
Vossa Ref : 784
Nossa Ref : 03937/2020etr01
 Leiria"
Ref do Provete : P2211 A1
 Santos, N°48-B. 1500-508 Lisboa

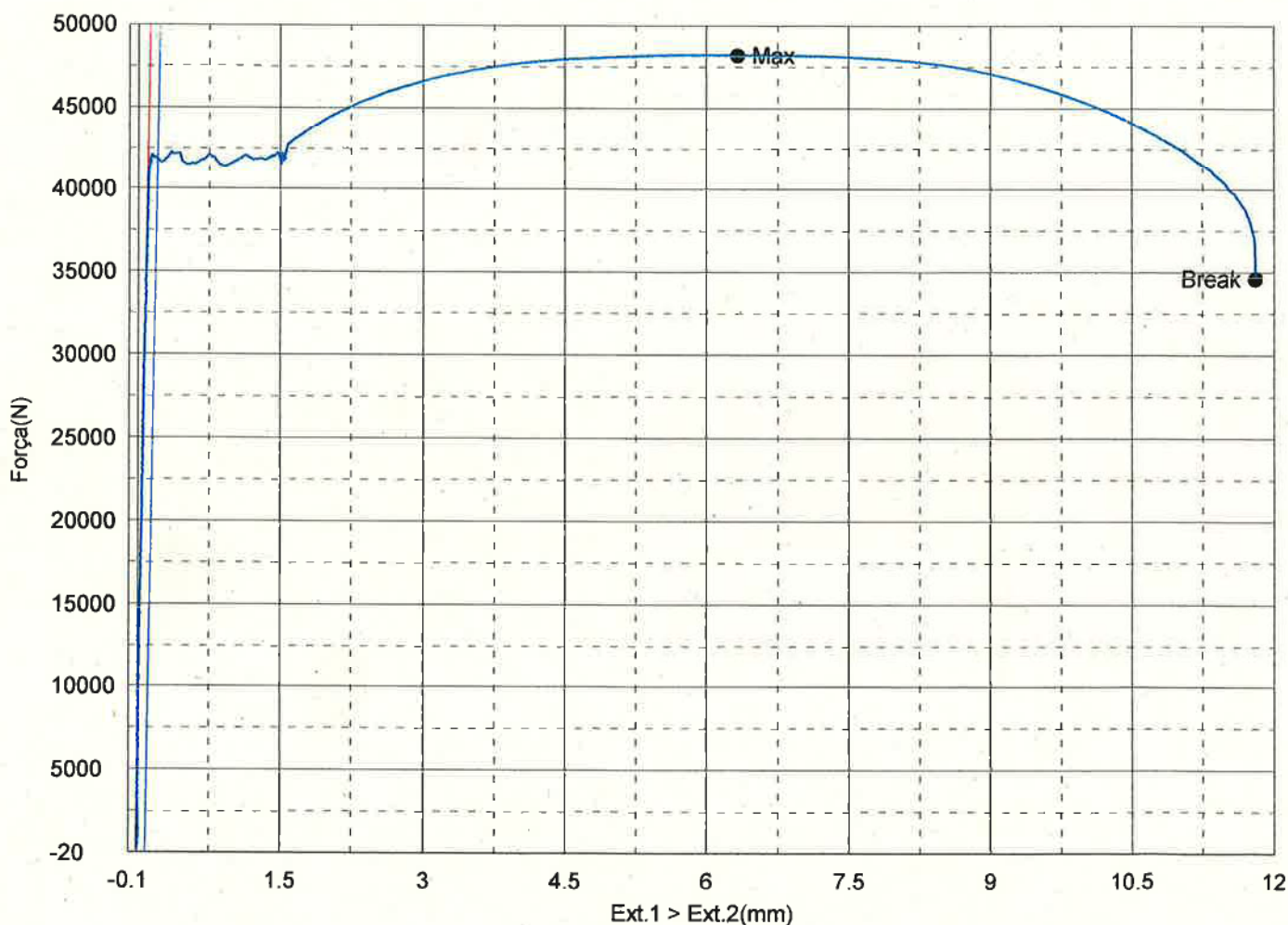
Norma de Ensaio : NP EN ISO 15630-1:2012
Requisitante : OZ-Diagnostico, Lev. e Cont. de
Data Entrada : 23.07.2020
Amostra : Proc. 2211 "Estádio Municipal de
Endereco : Rua Professor Reinaldo dos

Formato: Haste

	Diâmetro	Gauge Length	N CONTRIBUINTE	NORMA DE PROVETE
Unidades	mm	mm		
0	10.0000	50.0000	502 027 258	EN ISO 6892- 1:2016B

Nome	Modulo Elastico	Rp0,2%	Fm	Break (grafico)	% A
Parâmetro	3000, 35000 N	0.2 %			
Unidades	N/mm2	N	N	mm	%
0	221698.	41790.6	48190.6	11.8	25.0

Nome	Re	Rm	Z	Lu Final	Agt
Parâmetro	0.2 %				
Unidades	N/mm2	N/mm2	%	mm	%
0	532.0	613.5	0.0	62.5000	12.3



Comentário



ANEXO VI

**Ensaio de Vibração Ambiental dos Edifícios dos Corpos
Centrais e Torre Poente do Topo Norte do
Estádio Municipal de Leiria**

Estudo realizado para OZ – Diagnóstico, Levantamento e
Controlo de Qualidade em Estruturas e Fundações, Lda

- Julho 2020 -

**Relatório FUNDEC
PS nº 33/2020**

**Relatório CERIS
EP nº 31/2020**

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
2. RECOLHA DE REGISTOS DE VIBRAÇÃO AMBIENTE.....	3
3. PROCESSAMENTO DOS REGISTOS DE VIBRAÇÃO AMBIENTE	9
4. SÍNTESE E CONCLUSÕES	21

1. INTRODUÇÃO

O presente relatório refere-se aos ensaios de identificação modal, também designados por ensaios de vibração ambiental, de diversos corpos dos edifícios que compõem o topo Norte do Estádio Municipal de Leiria, Estádio Dr. Magalhães Pessoa, em Leiria. Concretamente, os edifícios/corpos alvos do estudo relatado são designados por “Torre Poente” (edifício/corpo mais alto) e “Corpos Centrais” (2 corpos de volumetria próxima, mais baixos).

Pode ainda acrescentar-se que o presente estudo resultou de solicitação da OZ – Diagnóstico, Levantamento e Controlo de Qualidade em Estruturas e Fundações, Lda., tendo por objetivo último a identificação das frequências próprias dos modos fundamentais das estruturas em questão, associando-lhes tipologias modais (translação ou torção, segundo que direção) por forma a calibrar / validar modelos numéricos desenvolvidos ou a desenvolver.

O relatório encontra-se organizado nas seguintes secções:

- Introdução (presente), §1, no qual se procede ao enquadramento do estudo realizado;
- Recolha dos Registos de Vibração Ambiente, §2, que descreve a campanha experimental de obtenção de registos de vibração ambiente nos três corpos;
- Processamento dos Registos de Vibração Ambiente, §3, no qual se descreve brevemente a fundamentação analítica e se apresentam os resultados do processamento digital dos registos de vibração ambiente;
- Síntese e Conclusões, §4, que apresenta os resultados mais relevantes do estudo.

2. RECOLHA DE REGISTOS DE VIBRAÇÃO AMBIENTE

2.1 Procedimento experimental geral

Os registos de vibração foram efetuados com o recurso a uma unidade triaxial de registo digital de acelerações da marca GEOSIG, modelo GSR-18 (com sensor interno Force Balance), análoga à apresentada na Figura 1.



Figura 1: Unidade triaxial de registo de acelerações GEOSIG GSR-18

Não se entra aqui em detalhe sobre as especificações técnicas da unidade utilizada mas pode referir-se que a mesma é indicada para situações de vibrações de muito reduzida amplitude e frequência, características comuns em ensaios de identificação modal de edifícios. A conversão analógico-digital é realizada com uma resolução de 18 bits. Os acelerómetros encontram-se orientados segundo as designadas direções X e Y (correspondentes respetivamente à maior e menor dimensão horizontais da unidade) e Z (vertical), pelo que da instalação da unidade sobre o pavimento decorre a orientação dos eixos horizontais.

O procedimento experimental propriamente dito consistiu na recolha de registos triaxiais de vibração ambiente em diferentes pontos de registo dos três corpos referidos. A unidade triaxial de registo digital de acelerações encontrava-se configurada para proceder a registos individuais com uma duração de 120 segundos, com uma frequência de amostragem de 200 Hz, pelo que, após a instalação nos diferentes pontos de registo dos 3 corpos/edifícios, se procedeu ao disparo manual para obtenção dos registos, disparo esse repetido tantas vezes quantas o número de registos por ponto, registos esses obtidos em condições análogas de vibração ambiente.

2.2 Localização e identificação dos pontos de registo

Apresenta-se na figura 2 uma planta de parte do topo Norte do Estádio Municipal de Leiria, com a identificação aqui adotada para os corpos que foram objeto da campanha de

identificação modal, corpos A e B (“Corpos Centrais”) e C (“Torre Poente”). Nessa figura identificam-se também os pontos de registo – A1 a A4, B1 a B4 e C1 a C3 – nos quais se procedeu à recolha dos registos de vibração ambiente.

LOCALIZAÇÃO PONTOS REGISTO

Corpos A e B (5º piso) e C (7º piso)

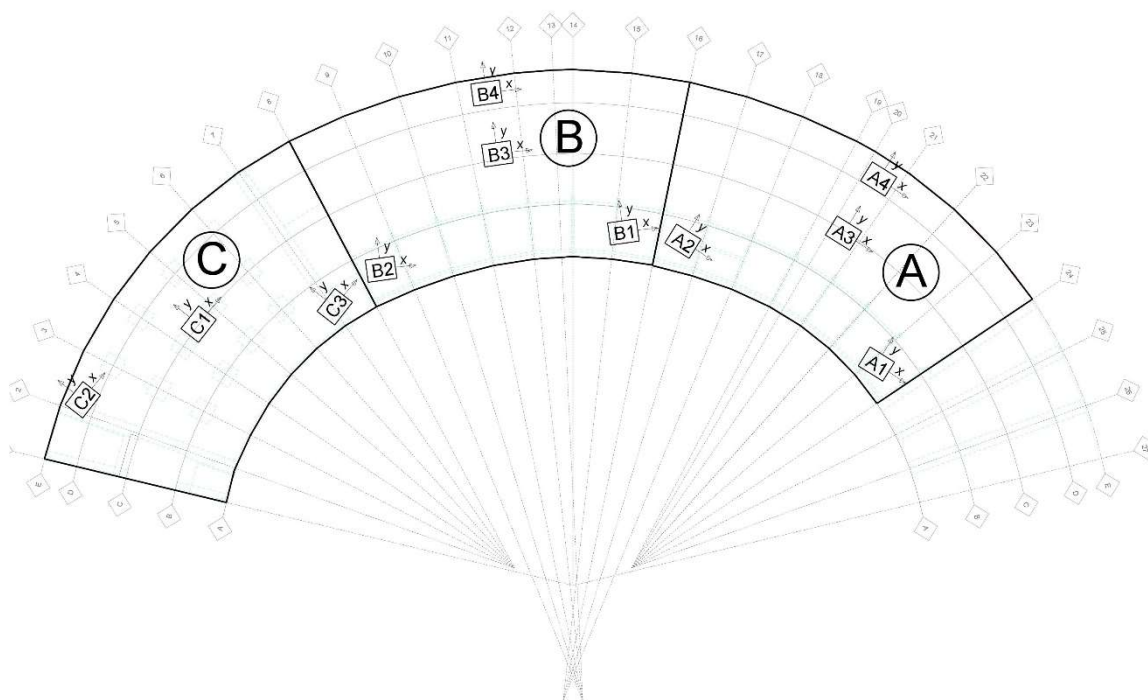


Figura 2: Planta com identificação dos corpos e dos pontos de registo

Na figura 2 assinalam-se também as direções horizontais dos registos, X e Y, resultantes da forma como a unidade triaxial de medição e registo de vibrações foi instalada, de tal forma que, em cada corpo, a direção X corresponde (aproximadamente) ao eixo circunferencial médio. A direção Y é perpendicular à direção X e corresponderá a uma direção radial média. Faz-se ainda notar que os pontos A1 a A4 e B1 a B4 se situavam no 5º piso elevado enquanto que os pontos C1 a C3 se situavam no 7º piso elevado.

Alguns dos pontos de registo situavam-se próximos do eventual centro de rigidez do respetivo corpo – caso dos pontos A3, B3 e C1 – procurando evidenciar os modos predominantes de translação, enquanto que os restantes pontos de registo – A1 a A2 e A4, B1 a B2 e B4, C2 e C3 – se situavam em zonas periféricas dos respetivos corpos, procurando assim, cumulativamente, evidenciar os modos predominantes de torção. Refira-se ainda que a definição das tipologias modais predominantes – de translação segundo X, Y ou oblíqua X/Y, e de torção – se baseia no pressuposto de que os corpos apresentam um comportamento dinâmico independente, ou seja que as juntas de dilatação, radiais, separam eficazmente o

comportamento dinâmico dos corpos contíguos.

Em cada um dos pontos de registo procedeu-se à recolha de entre 2 e 4 registos de vibração ambiente.

2.3 Lista de registos

Os registos de vibração ambiente foram colhidos no dia 23 de julho de 2020, no período da tarde, sensivelmente entre as 14:30 e as 16:30 (WET, Western European Time), ou seja entre as 13:30 e as 15:30 (GMT, Greenwich Mean Time). A cada registo corresponde um ficheiro cuja designação é atribuída sequencialmente da seguinte forma “STA”&”198”&N, em que 198 se refere ao número de dias do ano decorridos desde 1 de janeiro e N é um número/caracter sequencial com início em 0. Apresenta-se no quadro 1 a lista de registo obtidos, com a identificação do nome do correspondente ficheiro, hora de início (GMT) e ponto de registo.

Quadro 1: Lista de registos

Nome Fich.	Hora GMT	Ponto	Observações
STA19801	13:33:45	A1	
STA19802	13:35:52	A1	
STA19803	13:38:21	A1	
STA19804	13:43:58	A2	
STA19805	13:46:18	A2	
STA19806	13:48:28	A2	
STA1980E	14:19:46	A3	
STA1980F	14:22:24	A3	
STA1980G	14:24:44	A3	
STA1980H	14:28:34	A4	
STA1980I	14:31:00	A4	

Nome Fich.	Hora GMT	Ponto	Observações
STA19807	13:52:54	B1	
STA19808	13:55:06	B1	
STA19809	13:57:21	B1	
STA1980A	14:02:00	B2	
STA1980B	14:04:19	B2	
STA1980C	14:07:46	B2	
STA1980D	14:10:44	B2	
STA1980J	14:36:25	B3	
STA1980K	14:38:38	B3	
STA1980L	14:41:04	B3	
STA1980M	14:45:05	B4	
STA1980N	14:47:22	B4	

Nome Fich.	Hora GMT	Ponto	Observações
STA1980O	14:56:36	C1	
STA1980P	14:58:54	C1	
STA1980Q	15:01:10	C1	
STA1980R	15:03:27	C1	
STA1980S	15:08:03	C2	
STA1980T	15:11:25	C2	
STA1980U	15:14:10	C2	
STA1980V	15:19:13	C3	
STA1980W	15:21:26	C3	
STA1980X	15:24:10	C3	

A sequência dos registos não corresponde à sequência dos pontos de registo, por conveniência de deslocação entre os edifícios.

Os registos obtidos referem-se à designada vibração ambiente – vibração devida a uma multiplicidade de origens, desde o tráfego em zonas próximas, à ação do vento e funcionamento/operação de equipamentos dentro dos edifícios ou na sua proximidade –. Apresentam-se de seguida, como exemplos, os traçados temporais das componentes horizontais de vibração (em aceleração) obtidas num dos Corpos Centrais e na Torre Poente. Deve notar-se que se procedeu previamente à filtragem passa-banda regulada entre 0,2 Hz e 100 Hz, eliminando assim componentes irrelevantes dos sinais.

Corpos Centrais (Corpo A)

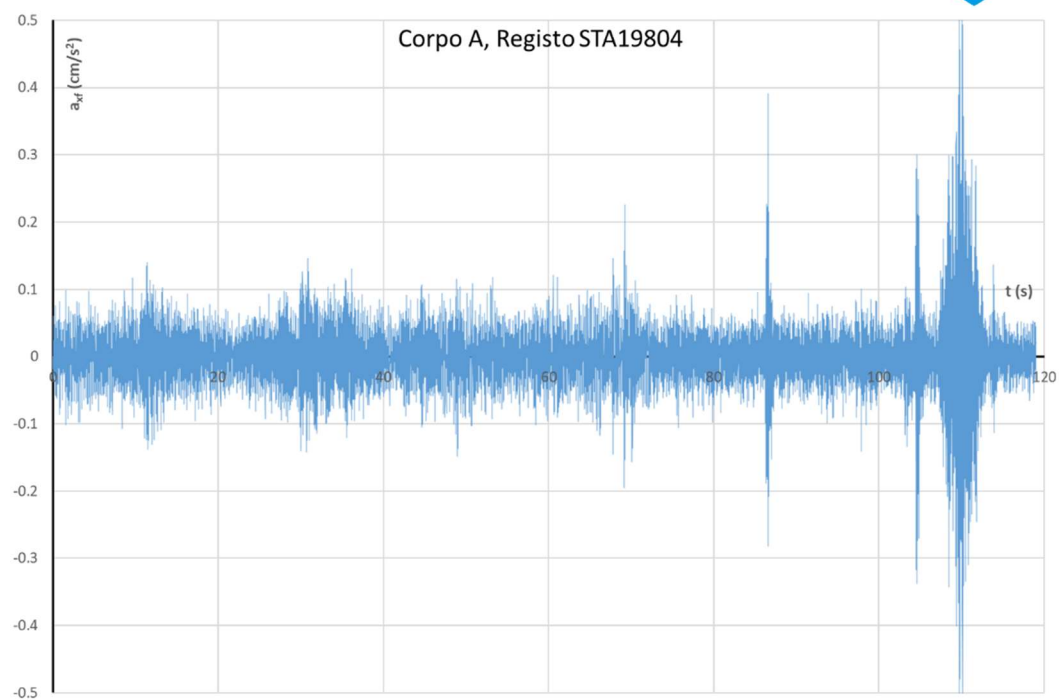


Figura 3: Traçado temporal da componente X do registo STA19804 (Corpo A, A2)

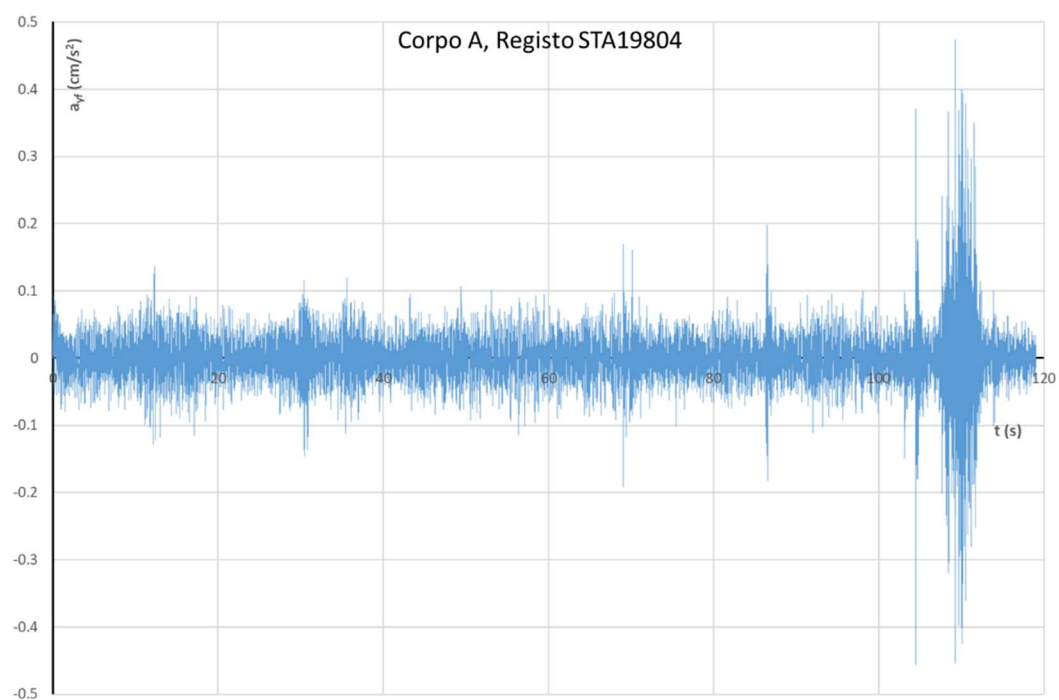


Figura 4: Traçado temporal da componente Y do registo STA19804 (Corpo A, A2)

Torre Poente (Corpo C)

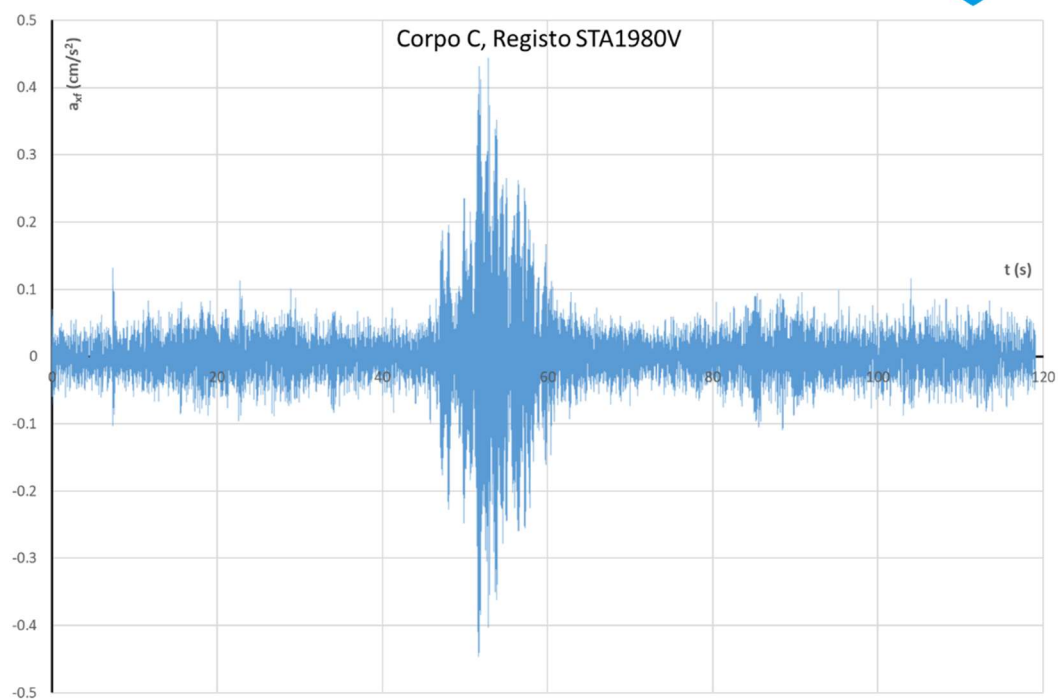


Figura 5: Traçado temporal da componente X do registo STA1980V (Corpo C, C3)

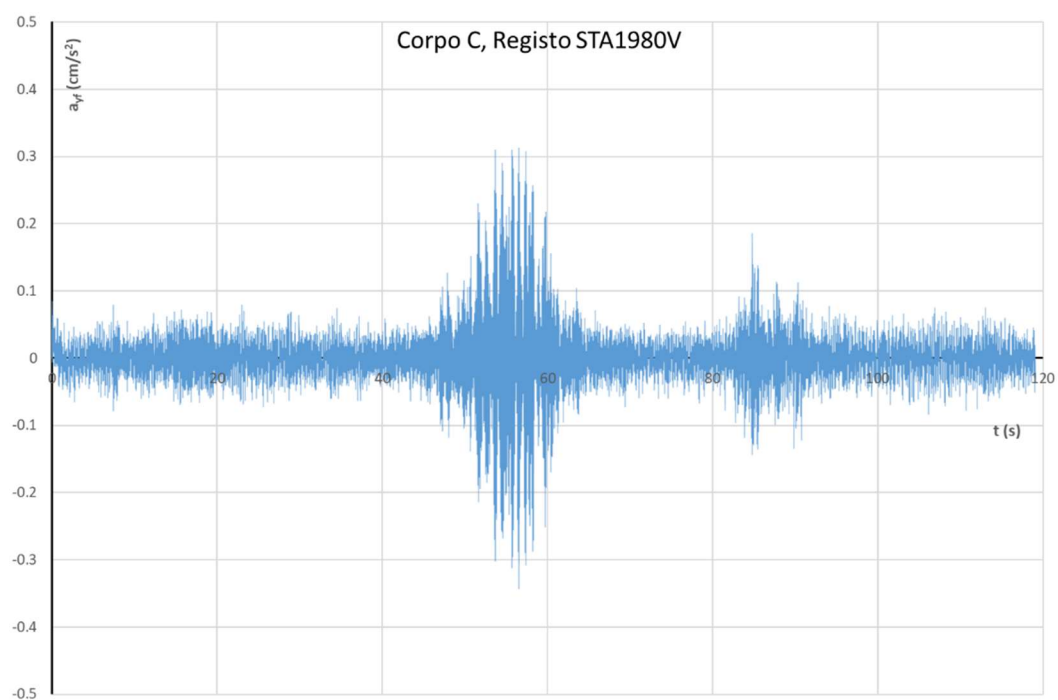


Figura 6: Traçado temporal da componente Y do registo STA1980V (Corpo C, C3)

Os traçados temporais dos registos de acelerações indicam que a vibração ambiente tem um nível médio, comparativamente de baixa amplitude, e, ocasionalmente, um aumento da amplitude (julga-se que por episódios relacionados com a ação do vento).

3. PROCESSAMENTO DOS REGISTOS DE VIBRAÇÃO AMBIENTE

3.1 Generalidades

O processamento dos registos digitais colhidos consistiu na determinação dos valores discretos das funções de transferência, ou, mais corretamente, considerando as hipóteses de “ruído branco”, das funções de densidade espectral de potência da componente relevante dos registos realizados. Desta forma – mediante a consideração da referida hipótese de “ruído branco”, cruzando os registos no domínio da frequência e analisando-os tendo em conta os locais de registo – foi possível identificar as frequências dos modos de vibração e atribuir-lhes uma tipologia de deformação estrutural. A fundamentação analítica da metodologia utilizada encontra-se apresentada com maior detalhe na subseção 3.2. Mais à frente, em 3.3, apresentam-se as frequências e tipologias modais identificadas nas duas direções horizontais (e torção) e procede-se a uma síntese e integração dos resultados obtidos nas duas direções, apontando para as tipologias modais predominantes em cada uma das direções e para cada um dos três corpos considerados.

3.2 Fundamentação analítica

Em sistemas estruturais lineares a recetância, (matriz), $\mathbf{H}(\omega)$, função de transferência entre forças e deslocamentos, pode ser expressa em termos das matrizes estruturais através de:

$$\mathbf{H}(\omega) = \left(-\omega^2 \mathbf{M} + i\omega \mathbf{C} + \mathbf{K} \right)^{-1}$$

em que $\mathbf{M}$, $\mathbf{C}$ e $\mathbf{K}$ designam as matrizes de massa, amortecimento (viscoso) e rigidez da estrutura enquanto que ω é a frequência (angular) da excitação.

O termo genérico $H_{mn}(\omega)$ é uma função complexa que traduz a amplitude e atraso de fase da resposta em deslocamentos no regime permanente ao nível do m -ésimo grau de liberdade (g.l.) quando uma excitação harmónica de amplitude unitária é aplicada no n -ésimo g.l.

Esta função pode alternativamente ser expressa em termos dos parâmetros modais através de:

$$\mathbf{H}(\omega) = \Phi \left[-\omega^2 \mathbf{I} + i\omega [2\xi p] + [p^2] \right]^{-1} \Phi^T$$

em que Φ é a matriz dos modos de vibração (normalizados relativamente à matriz de massa) enquanto que $[2\xi p]$ e $[p^2]$ são matrizes diagonais expressas em termos dos coeficientes de amortecimento ξ e das frequências angulares p dos modos de vibração. Esta expressão

alternativa apresenta a vantagem de permitir obter explicitamente cada termo da função de transferência através de:

$$H_{mn}(\omega) = \sum_{k=1}^N \frac{\Phi_{mk}\Phi_{nk}}{-\omega^2 + i2\xi_k p_k \omega + p_k^2}$$

Observe-se da expressão anterior que a recetância traduz o efeito conjunto dos N modos de vibração uma vez que o somatório se refere aos modos de vibração. Observe-se, também, que esta função apresenta máximos locais para frequências ω próximas das frequências próprias p_k dos modos de interesse, máximos esses tanto mais pronunciados quanto menores forem os correspondentes coeficientes de amortecimento modais ξ_k .

Quando a frequência de excitação se encontra na vizinhança dum determinado modo k ($\omega \approx p_k$) a contribuição deste modo é determinante, podendo a recetância ser aproximada à contribuição do modo ressonante. Neste caso tem-se:

$$H_{mn}(\omega) \approx \frac{\Phi_{mk}\Phi_{nk}}{-\omega^2 + i2\xi_k p_k \omega + p_k^2}$$

ou, em quadrado do valor absoluto,

$$|H_{mn}(\omega)|^2 \approx \frac{(\Phi_{mk}\Phi_{nk})^2}{(p_k^2 - \omega^2)^2 + (2\xi_k p_k \omega)^2} = \frac{(\Phi_{mk}\Phi_{nk})^2}{p_k^4 \left((1 - (\omega/p_k)^2)^2 + (2\xi_k (\omega/p_k))^2 \right)}$$

A inércia $I(\omega)$, função de transferência entre forças e acelerações, relaciona-se com a recetância $H(\omega)$ de acordo com $I(\omega) = \omega^2 H(\omega)$. Nestas circunstâncias o quadrado do valor absoluto do termo genérico da inércia pode, para frequências de excitação próximas do modo k , ser substituído por:

$$|I_{mn}(\omega)|^2 \approx \frac{\omega^4 (\Phi_{mk}\Phi_{nk})^2}{p_k^4 \left((1 - (\omega/p_k)^2)^2 + (2\xi_k (\omega/p_k))^2 \right)}$$

Quando a vibração da estrutura é devida às condições ambientes (vento, microtremores, funcionamento de equipamentos eletromecânicos, etc.) é corrente assimilar-se a ação a um processo estocástico estacionário ergódico de banda larga, vulgarmente referenciada por “ruído branco”. Nestas condições, a (auto) matriz de densidade espectral de potência da resposta $S^{qq}(\omega)$ é proporcional à recetância através de:

$$S^{qq}(\omega) = \sigma^2 H(\omega) \times H(\omega)^{*T}$$

em que os símbolos $*$ e T denotam tratar-se da matriz (função) conjugada e transposta, respetivamente.

A equação anterior traduz um dos resultados mais relevantes da identificação modal em condições de vibração ambiental pois permite inferir que a densidade espectral de potência

da resposta apresenta um andamento análogo ao da função de transferência. Nestas circunstâncias, a densidade espectral de potência da resposta deverá apresentar “picos” para frequências iguais às frequências próprias, sendo possível estimar os valores dos coeficientes de amortecimento modal a partir das formas da função na vizinhança das frequências próprias. Com efeito, conjugando as equações anteriores, conclui-se que, nas condições enunciadas, o termo m_m da (auto) função de densidade espectral de potência da resposta em acelerações relaciona-se, para frequências ω próximas das de um determinado modo k , com a frequência p_k e coeficiente de amortecimento modal ξ_k correspondentes de acordo com:

$$S_{mm}^{aa}(\omega) \approx \frac{\alpha \omega^4}{(1 - (\omega/p_k)^2)^2 + (2\xi_k \omega/p_k)^2}$$

sendo α uma variável que depende dos termos relevantes da matriz modal, assim como das características da ação aplicada no grau de liberdade m em análise.

3.3 Frequências e tipologias modais identificadas

Como preâmbulo à presente subseção e complementarmente à fundamentação analítica exposta anteriormente, interessa referir que o algoritmo utilizado para a obtenção das funções de densidade espectral de potência das componentes vetoriais dos registos, conduz a estimativas espectrais com as seguintes características: frequência mínima de 0 Hz, máxima de 100 Hz (frequência de Nyquist, em correspondência com a frequência de amostragem de 200 Hz) e resolução em frequência de 0,0061 Hz (resultante do algoritmo de cálculo da Transformada Rápida de Fourier, neste caso com 2^{14} pontos). Cumulativamente com esse algoritmo optou-se por focalizar a análise no intervalo de frequências entre 1 Hz e 20 Hz.

Para além do cálculo das estimativas discretas das funções de densidade espectral de potência de ambas as componentes vetoriais horizontais (X e Y) de todos os registos, no processamento optou-se por combinar as estimativas homólogas (obtidas no mesmo ponto de registo, segundo a mesma direção), designadamente mediante a realização de médias ou produtos em frequência. Desta forma procurou-se evidenciar os picos que se manifestam consistentemente em todos os registos, atenuando aqueles, julgados espúrios, que se manifestam apenas ocasionalmente.

3.3.1 Corpo A

Apresentam-se nas figuras 7 e 8, respetivamente para as direções X e Y, as médias, na frequência, das estimativas discretas das funções de densidade espectral de potência das componentes vetoriais de aceleração dos registos obtidos no ponto de registo A2.

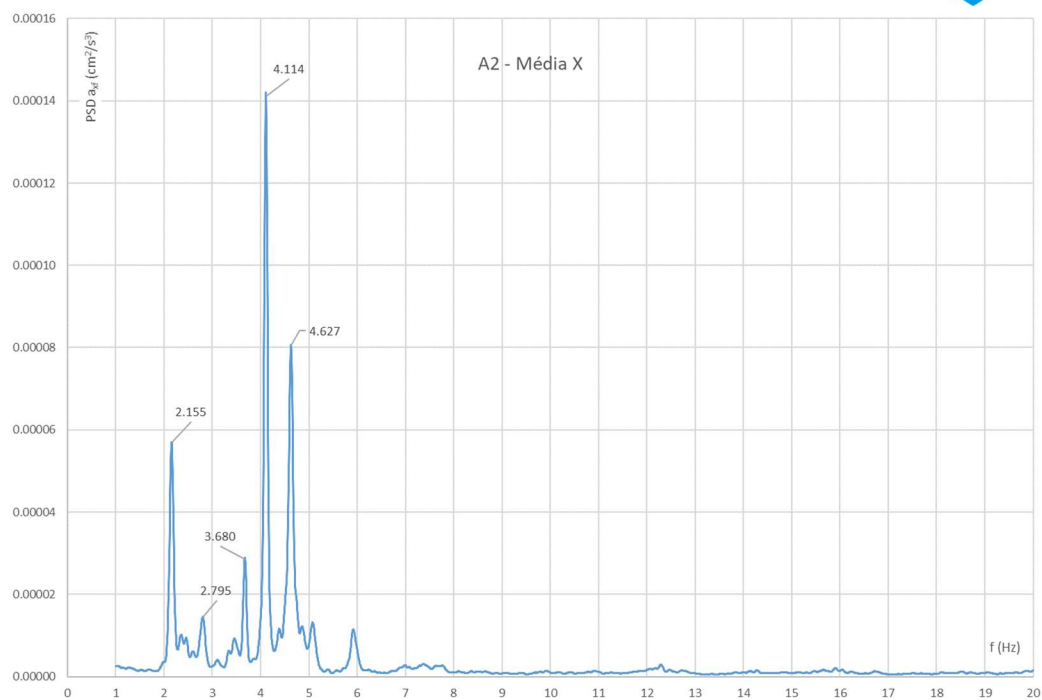


Figura 7: Média, direção X, ponto A2

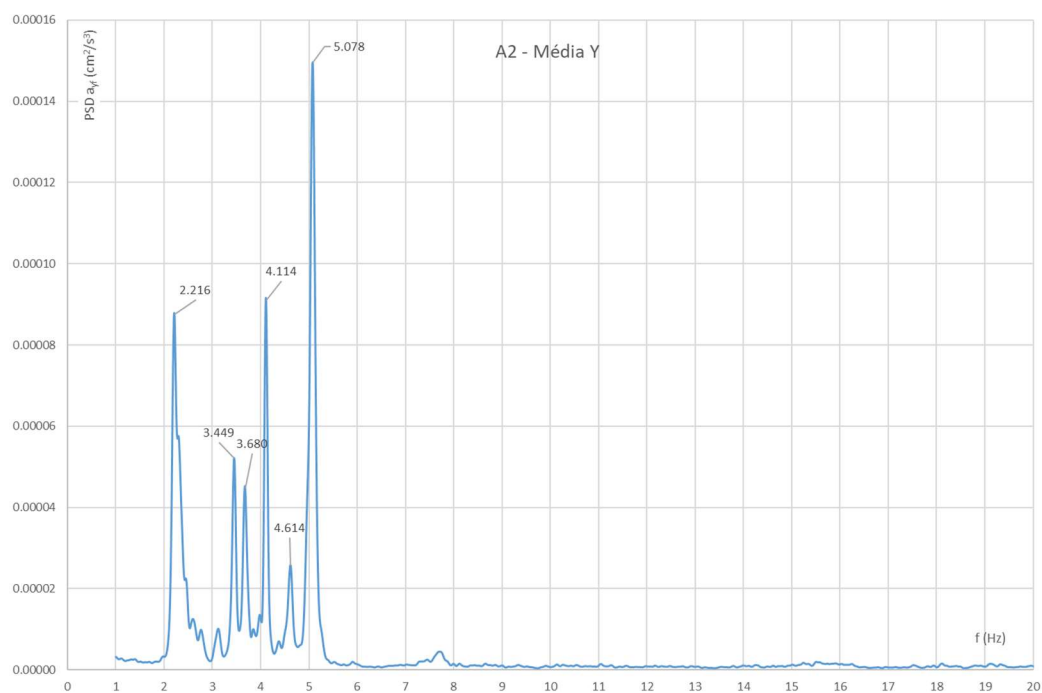


Figura 8: Média, direção Y, ponto A2

Nas figuras 9 e 10 apresentam-se os produtos na frequência das estimativas discretas das funções de densidade espectral de potência das componentes vetoriais de aceleração, respetivamente para as direções X e Y, do conjunto dos registos obtidos no ponto A4.

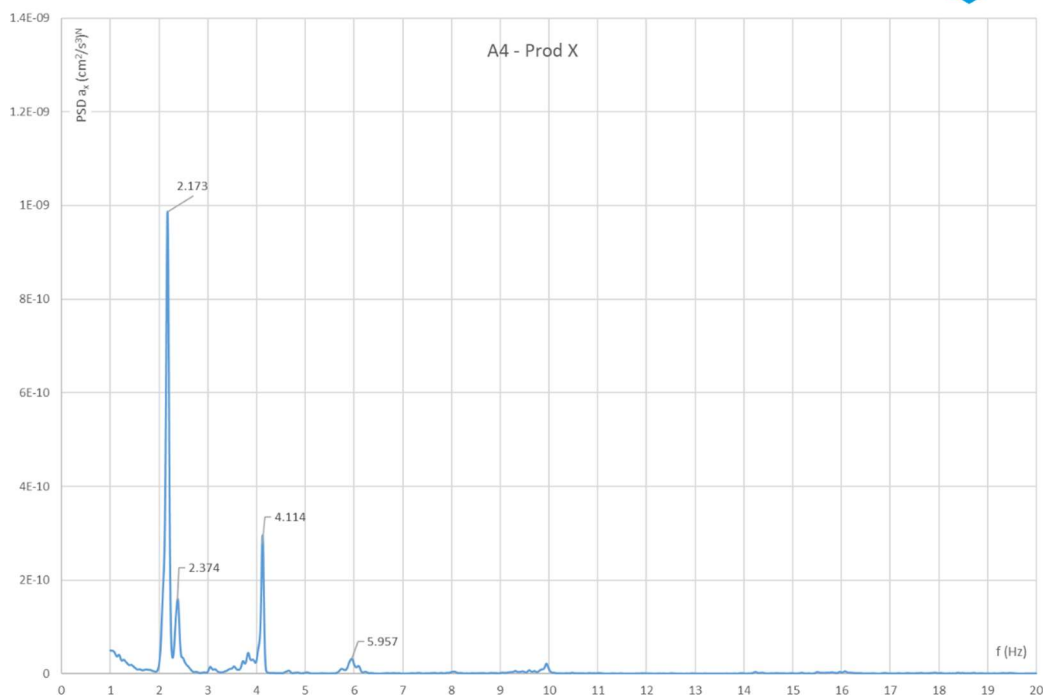


Figura 9: Produto, direção X, ponto A4

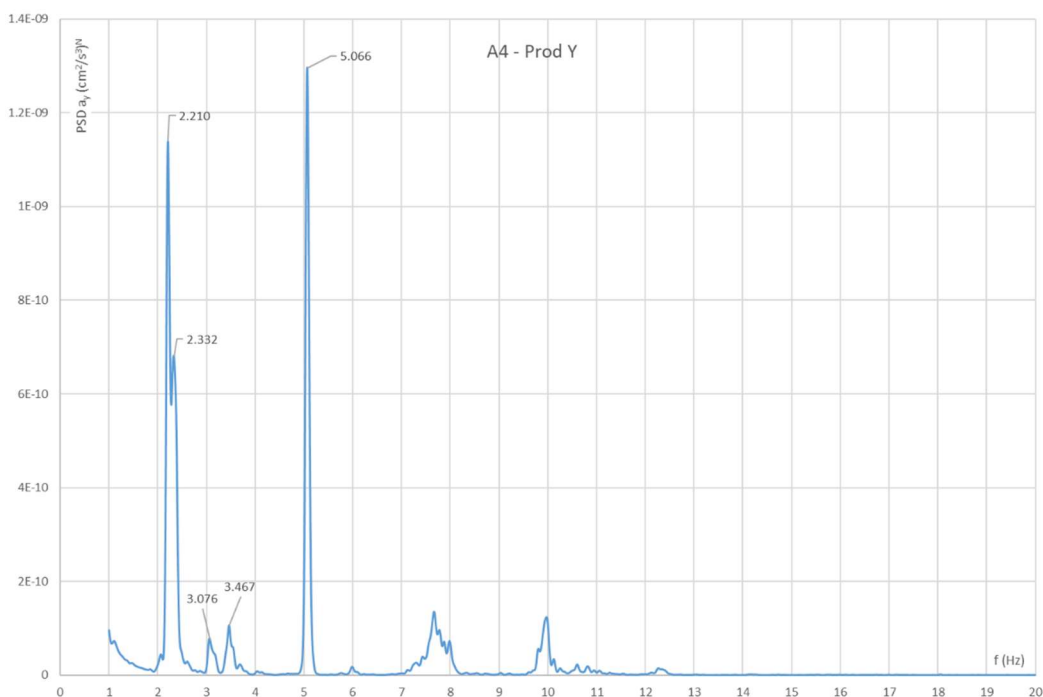


Figura 10: Produto, direção Y, ponto A4

Analisando as figuras anteriores, assim como os restantes resultados referentes a registos colhidos no Corpo A, poderá inferir-se:

- modo fundamental predominantemente de translação segundo X com frequência da ordem de 2,15 Hz;
- modo fundamental predominantemente de translação segundo Y com frequência de

- 2,2 Hz;
- (indícios) de modo fundamental predominantemente de torção com frequência de 2,35 Hz;
- 2º modo predominantemente de translação segundo X com frequência de 4,1 Hz;
- 2º modo predominantemente de translação segundo Y com frequência de 5,1 Hz;
- (indícios) de 2º modo predominantemente de torção com frequência de 4,6 Hz;

Os resultados anteriores baseiam-se no modelo idealizado das tipologias modais comuns em edifícios regulares e isolados, em que há dois modos fundamentais predominantemente de translação segundo X e Y (ou ambos oblíquos relativamente a essas direções) e um modo fundamental de torção, que se manifesta sobretudo nos pontos mais afastados do alegado centro de rigidez. A esses modos fundamentais sucedem-se grupos de três segundos modos com tipologias análogas, e assim sucessivamente. No presente corpo, assim como nos restantes, verifica-se um fator perturbador dessa distribuição idealizada, que resulta da possível interação entre corpos contíguos por deficiente funcionamento das juntas de dilatação (radiais) entre corpos.

3.3.2 Corpo B

Apresentam-se nas figuras 11 e 12, respetivamente para as direções X e Y, as médias, na frequência, das estimativas discretas das funções de densidade espectral de potência das componentes vetoriais de aceleração dos registos obtidos no ponto de registo B2.

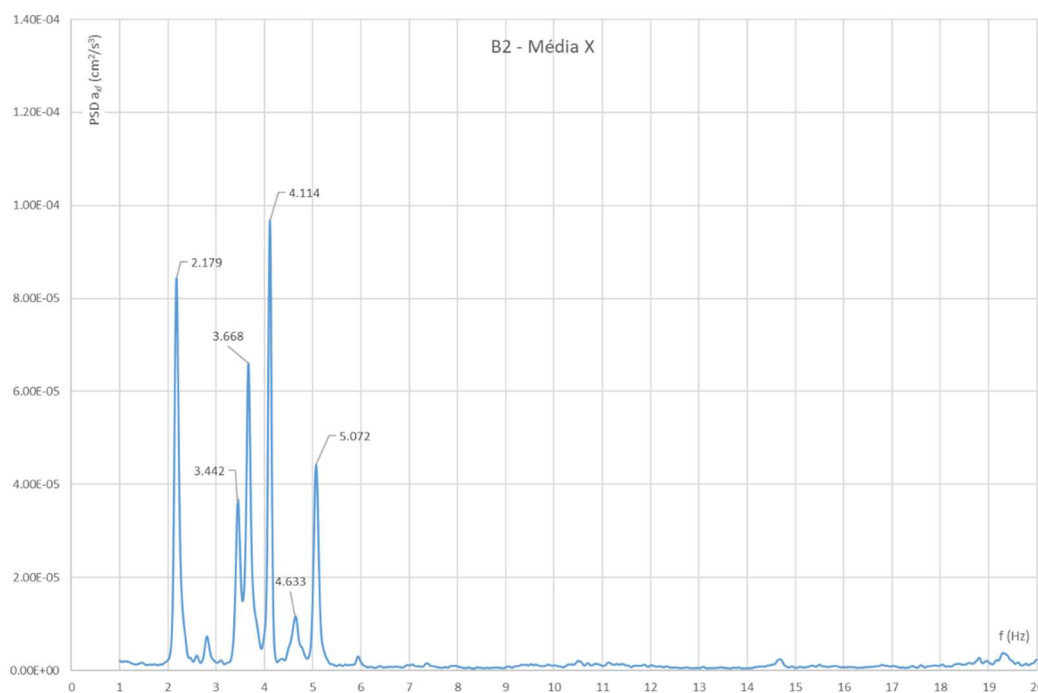


Figura 11: Média, direção X, ponto B2

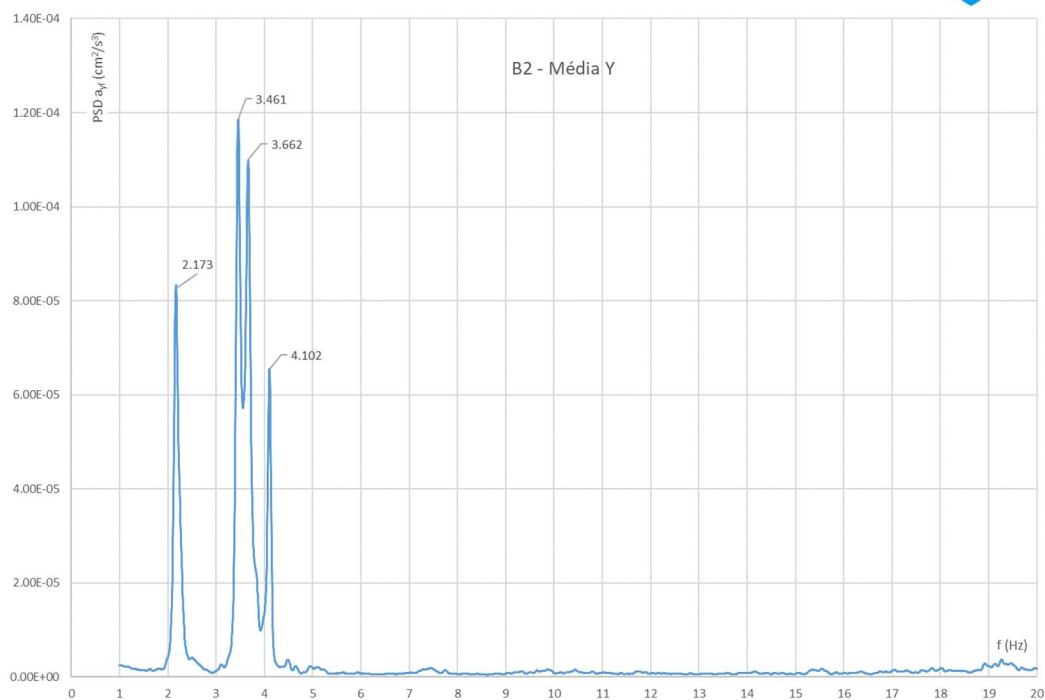


Figura 12: Média, direção Y, ponto B2

As médias na frequência das estimativas discretas das funções de densidade espectral de potência das componentes vetoriais de aceleração, respetivamente para as direções X e Y, de todos os registos colhidos no corpo B encontram-se apresentados nas figuras 13 e 14.

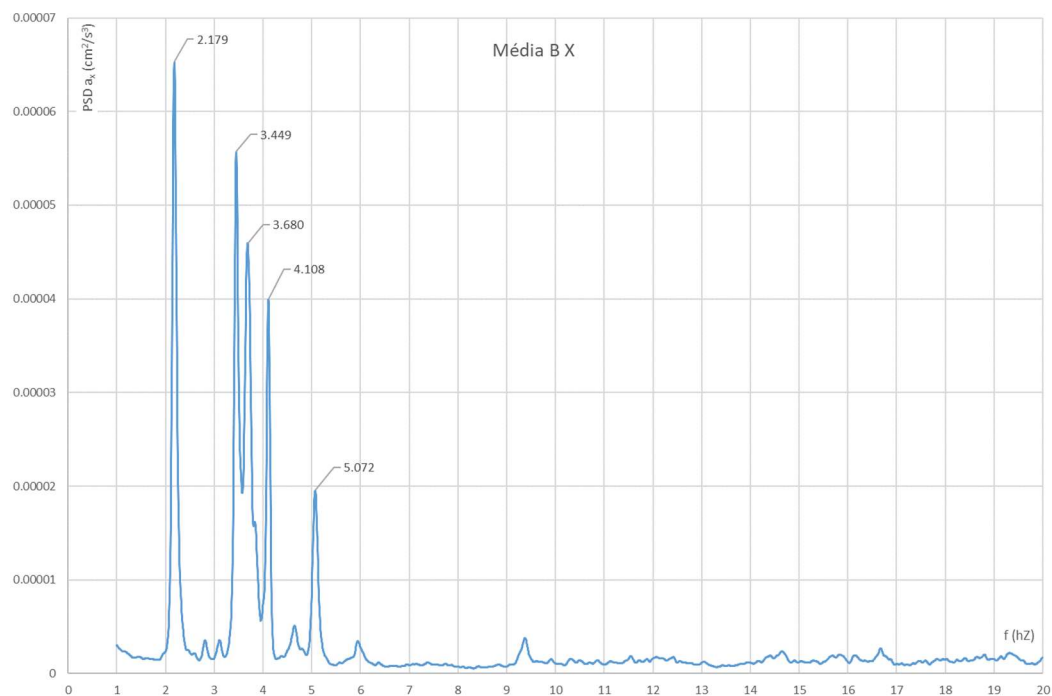


Figura 13: Média de todos os registos, direção X, corpo B

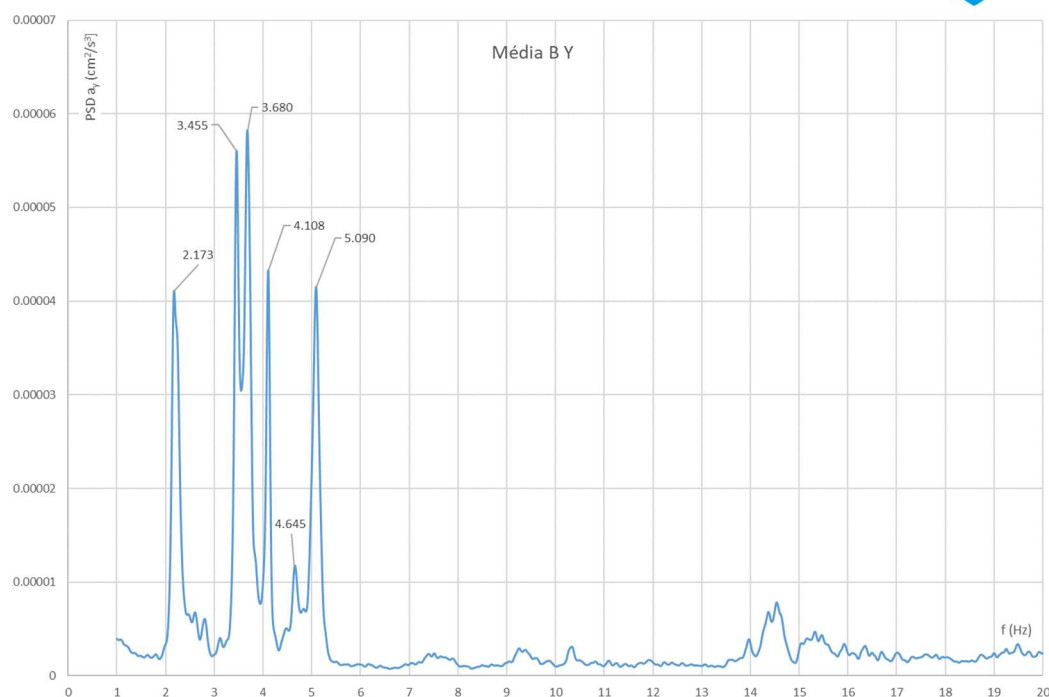


Figura 14: Média de todos os registos, direção Y, corpo B

Os resultados do corpo B não são porventura tão conclusivos como os do corpo A, permitindo ainda assim tirar as seguintes inferências:

- modo fundamental predominantemente de translação segundo X muito claro com frequência da ordem de 2,18 Hz;
- o modo fundamental predominantemente de translação segundo Y é menos notório, admitindo-se que o mesmo ocorre com frequência de 2,25 Hz;
- verifica-se a ocorrência de um modo que se manifesta em ambas as direções horizontais, embora com muito maior predominância segundo Y, que poderá ser um modo de translação oblíqua ou um modo de torção, para uma frequência próxima de 3,7 Hz.

3.3.3 Corpo C

Apresentam-se nas figuras 15, 16 e 17, as médias, na frequência, das estimativas discretas das funções de densidade espectral de potência das componentes vectoriais de aceleração dos registos obtidos segundo X em C1, segundo X em C2 e segundo Y em C2.

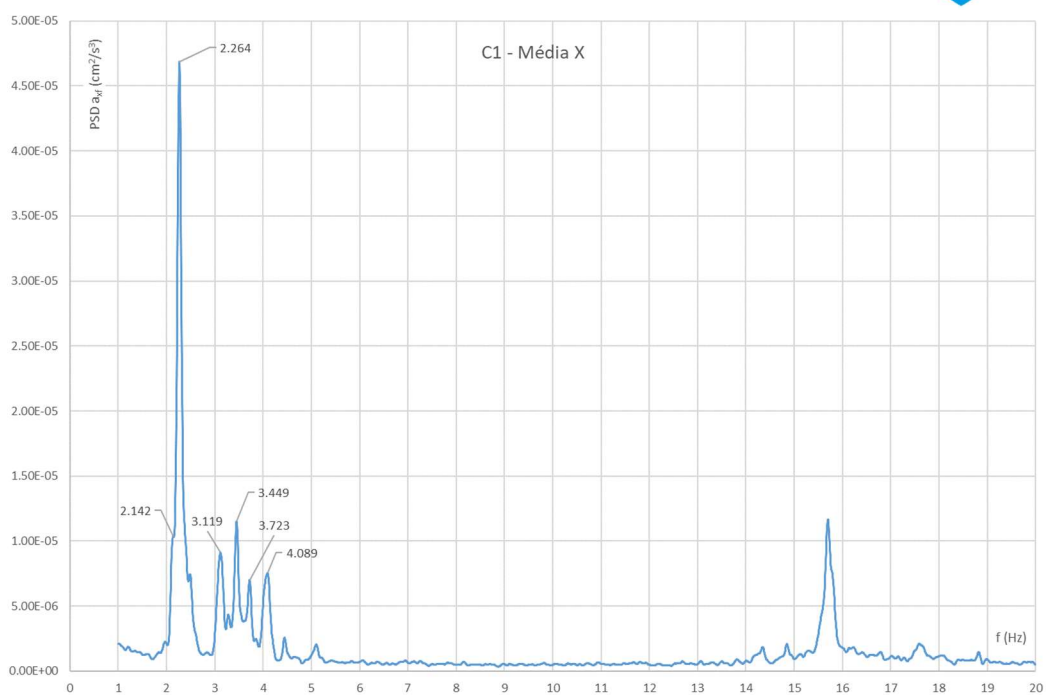


Figura 15: Média de todos os registos, direção X, ponto C1

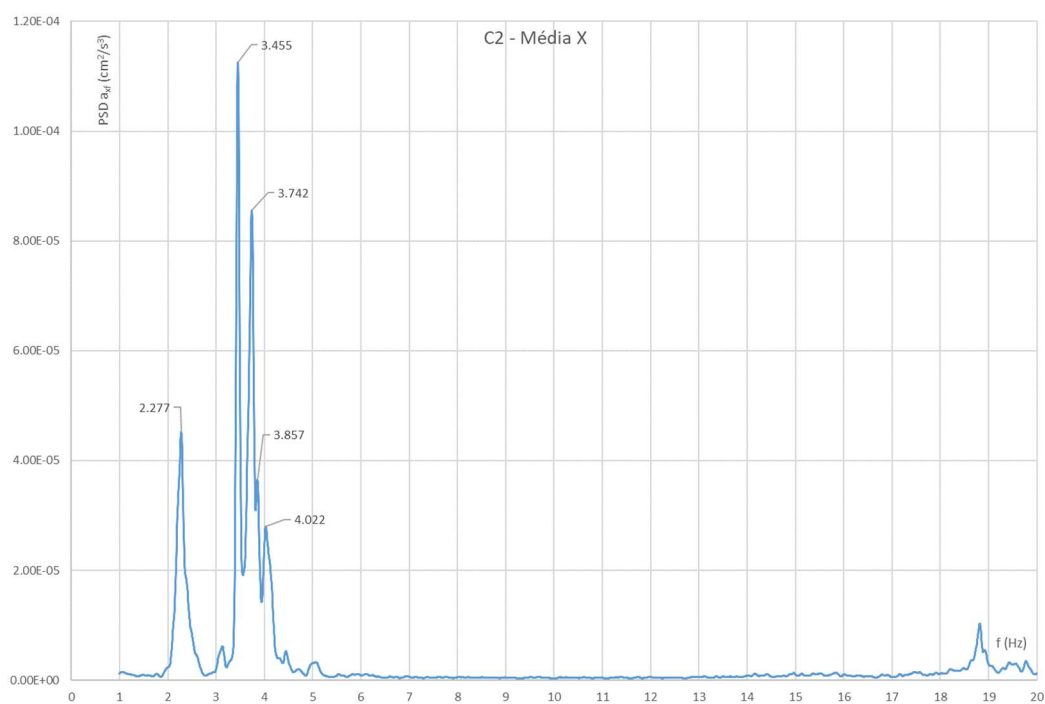


Figura 16: Média de todos os registos, direção X, ponto C2

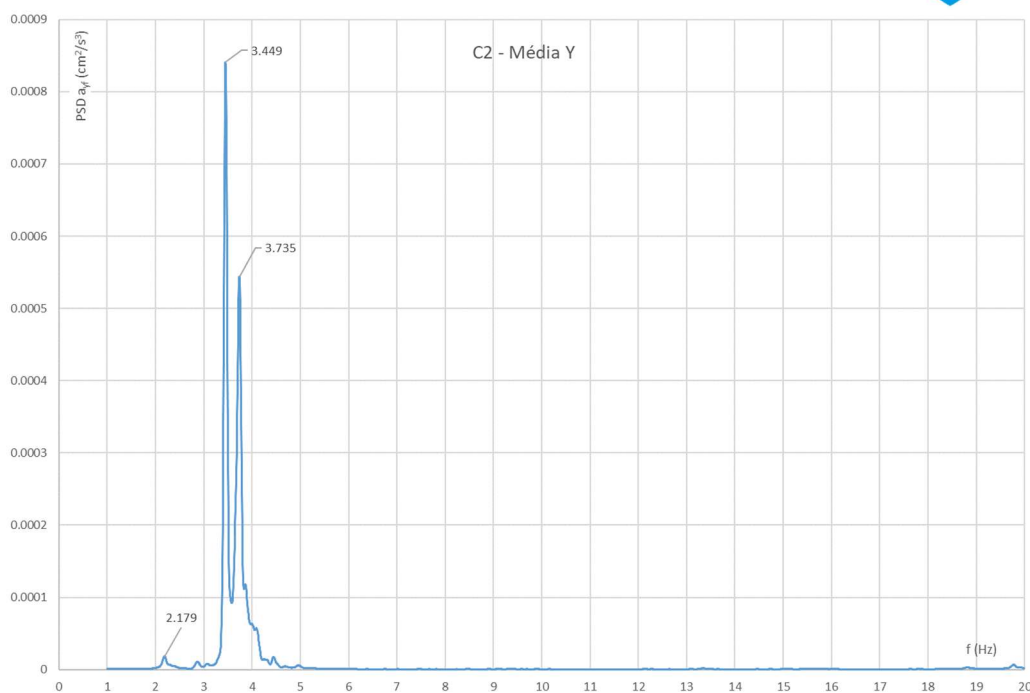


Figura 17: Média de todos os registos, direção Y, ponto C2

Analisando as figuras anteriores parece inferir-se a existência de um modo fundamental de vibração segundo X com uma frequência da ordem de 2,25 Hz, seguidos de dois modos de vibração com acoplamento de componente de translação segundo Y e torção com frequências de 3,45 Hz e 3,75 Hz, aproximadamente. Não é de excluir que o pico observado para a frequência aproximada de 2,25 Hz possa resultar da interação com o corpo B.

Combinando agora todos os registos obtidos no corpo obtêm-se as médias das estimativas das funções de densidade espectral de potência das componentes vetoriais segundo X e Y apresentadas, respetivamente, nas figuras 18 e 19.

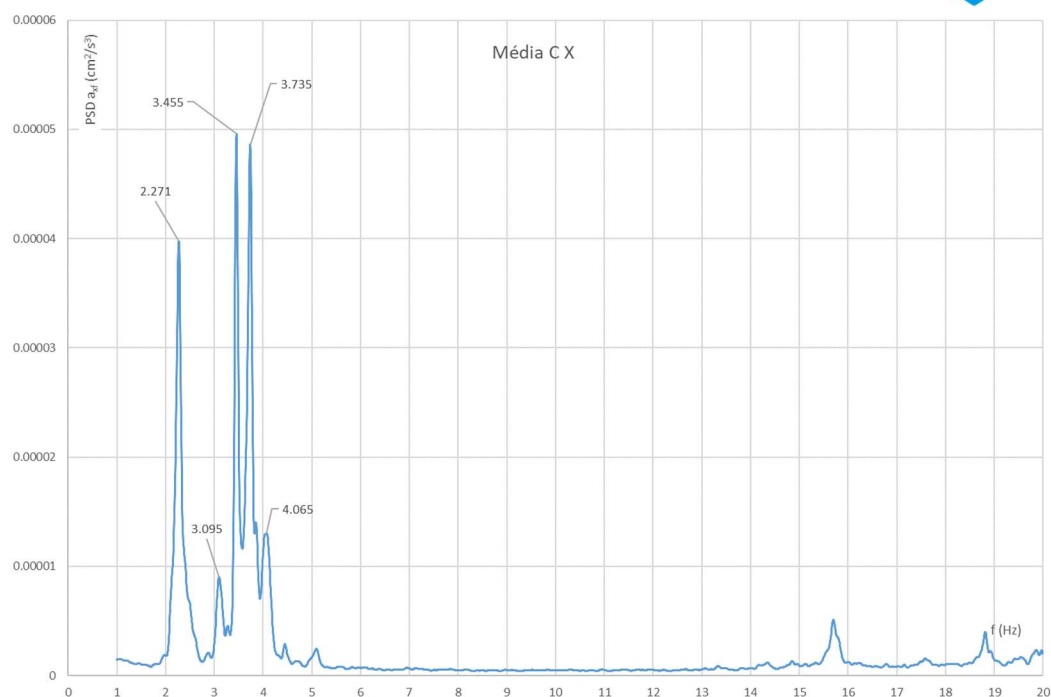


Figura 18: Média de todos os registos, direção X, corpo C

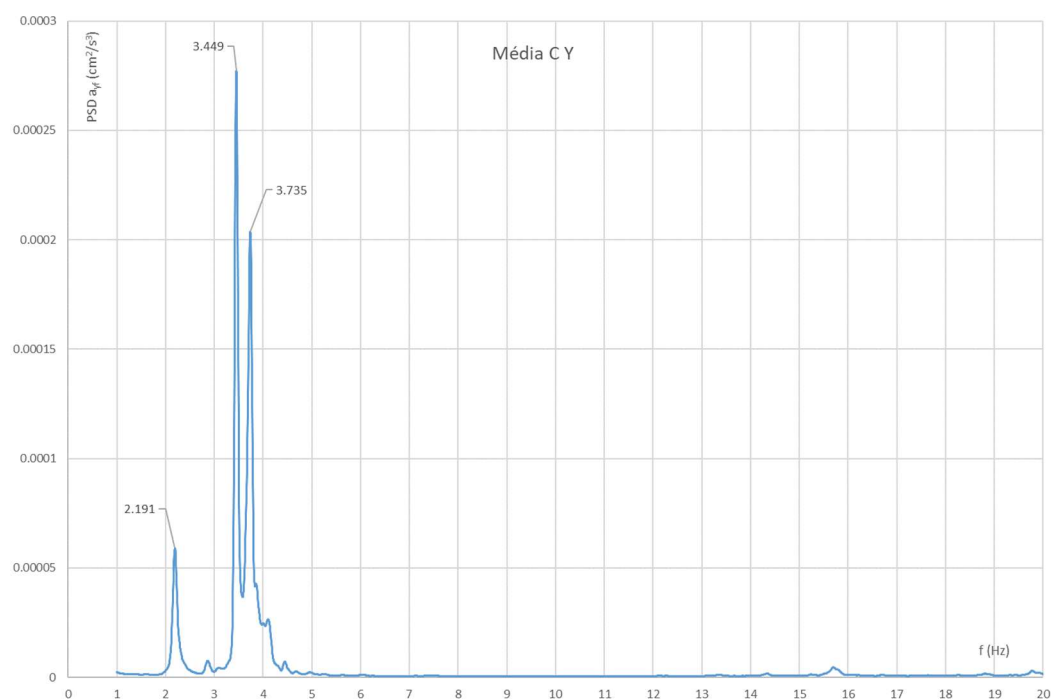


Figura 19: Média de todos os registos, direção Y, corpo C

Os resultados do processamento dos registos colhidos no corpo C apontam para as seguintes inferências:

- modo fundamental predominantemente de translação segundo X com frequência da ordem de 2,25 Hz, não se podendo excluir que esse modo possa resultar da interação com o corpo B;

- modos com possível acoplamento entre a translação segundo Y e a torção com frequências de 3,45 Hz e 3,75 Hz.

Como comentário, verifica-se que o corpo C tem um conjunto de dois núcleos de escadas/elevadores nas extremidades circunferenciais, núcleos esses que em consequência do seu sensivelmente maior desenvolvimento na direção radial se julga rigidificarem o corpo sobretudo para movimentos de translação segundo Y (direção correspondente), assim como, pelo facto de se encontrarem na periferia da planta do corpo, para movimentos de torção. O acoplamento entre os movimentos de translação segundo Y e de torção poderá resultar de uma assimetria dos dois núcleos de escadas/elevadores, que se manifestará em menor grau na direção X.

4. SÍNTESE E CONCLUSÕES

O presente relatório procede à apresentação dos ensaios de vibração ambiental de três corpos, aqui designados de A e B, “Corpos Centrais”, e C, “Torre Poente”, dos edifícios que compõem o topo Norte do Estádio Municipal de Leiria. Concretamente procedeu-se à colheita de registos vetoriais (em aceleração) da vibração ambiente num total de 11 pontos de registo, 4 dos quais no corpo A, outros tantos no corpo B e 3 pontos de registos no corpo C. Os pontos de registo dos corpos A e B situavam-se no 5º piso elevado, enquanto que no corpo C se situavam no 7º piso elevado. A localização dos pontos de registo em cada corpo foi escolhida de forma a pretender discriminar os momentos predominantemente de translação dos movimentos de torção (ou torção acoplada com translação). Essa análise foi conduzida no pressuposto de que as juntas, radiais, que separam os três corpos (assim como dos restantes corpos adjacentes) são funcionais, ou seja, procedem à separação efetiva do comportamento dinâmico dos corpos.

Ao todo foram obtidos 33 registos de vibração ambiente no conjunto dos três corpos. O nível de vibrações observado pode ser considerado reduzido, o que é justificável pelo pouco tráfego rodoviário na vizinhança dos edifícios e pelo facto de ser reduzida a intensidade do vento no dia de colheita dos registos.

Embora não se conheçam em detalhe as estruturas, em betão armado, dos três corpos, tem-se como relevante que os corpos A e B apresentam estruturas reticuladas, predominantemente com pilares (com capitéis) e lajes fungiformes, e o corpo C dispõe ainda de duas caixas de elevador/escadas nas extremidades circunferenciais, o que deverá aumentar consideravelmente a rigidez, podendo ocasionar um acoplamento entre os movimentos de translação e de torção.

A análise, isolada ou combinada (realização de médias e produtos de componentes homónimas) das funções de densidade espectral de potência dos registos permitiu extrair inferências relativamente às frequências fundamentais dos corpos e respetivas tipologias. Sumarizando por corpo podem inferir-se as principais conclusões:

Corpo A

- modo fundamental predominantemente de translação segundo X com frequência da ordem de 2,15 Hz;
- modo fundamental predominantemente de translação segundo Y com frequência de 2,2 Hz;
- 2º modo predominantemente de translação segundo X com frequência de 4,1 Hz;
- 2º modo predominantemente de translação segundo Y com frequência de 5,1 Hz.

Corpo B

- modo fundamental predominantemente de translação segundo X muito claro com frequência da ordem de 2,18 Hz;
- o modo fundamental predominantemente de translação segundo Y é menos notório, admitindo-se que o mesmo ocorre com frequência de 2,25 Hz;
- verifica-se a ocorrência de um modo que se manifesta em ambas as direções horizontais, embora com muito maior predominância segundo Y, que poderá ser um modo de translação oblíqua ou um modo de torção, para uma frequência próxima de 3,7 Hz.

Corpo C

- modo fundamental predominantemente de translação segundo X com frequência da ordem de 2,25 Hz, não se podendo excluir que esse modo possa resultar da interação com o corpo B;
- modos com possível acoplamento entre a translação segundo Y e a torção com frequências de 3,45 Hz e 3,75 Hz.

O confronto subsequente das características modais atrás identificadas com os resultados comparáveis de modelos numéricos poderá levar a uma alteração das propriedades dos modelos numérico, apenas para efeito do ajuste e validação com os resultados experimentais, nomeadamente tendo em conta de que os ensaios foram realizados em condições de vibração ambiente (de muito baixa amplitude), com as estruturas com reduzida carga/massa (correspondente a um nível de acabamento que poderia qualificar-se como “em tosco”) e com características de rigidez correspondentes. Cumulativamente, poderão considerar-se outras alterações, como sejam a consideração de elementos não estruturais rigidificantes, como sejam paredes de alvenaria (que se julga neste caso não existirem), consideração explícita do travamento conferido pelas lajes de escada, ajustes na modelação das paredes resistentes do corpo C (aspeto condicionante para a sua rigidez). Finalmente, poderá revelar-se necessário considerar a interação entre os corpos contíguos, no pressuposto de que as juntas de dilatação não são totalmente funcionais.

Lisboa, 31 de julho de 2020



Jorge Miguel Proença



ANEXO VII

ENSAIOS DE VIBRAÇÃO AMBIENTAL DOS EDIFÍCIOS DOS CORPOS CENTRAIS E TORRE POENTE DO TOPO NORTE DO ESTÁDIO MUNICIPAL DE LEIRIA

POSSIBILIDADE DE OCORRÊNCIA DE MODOS DE VIBRAÇÃO ABAIXO DE 1 HZ, REV 06 AGO 2020

1. ENQUADRAMENTO

O presente documento constitui um esclarecimento, decorrente de solicitação da Câmara Municipal de Leiria à OZ – Diagnóstico, Levantamento e Controlo de Qualidade em Estruturas e Fundações, Lda., referente ao estudo realizado pela FUNDEC e CERis intitulado “Ensaios de Vibração Ambiental dos Edifícios dos Corpos Centrais e Torre Poente do Topo Norte do Estádio Municipal de Leiria”, relatório FUNDEC PS nº 33/2020, CERis EP nº 31/2020, de 31 de julho de 2020, aqui referido de relatório original.

Concretamente foi pela Câmara Municipal de Leiria formulada a seguinte questão: *Nos ensaios de vibração ambiental é referido que a análise efetuada foi realizada no intervalo de frequências entre 1 Hz e 20 Hz. Neste contexto, gostaríamos que nos esclarecesse qual a razão da exclusão de valores inferiores a 1 Hz e se não seria possível encontrar “picos” de frequências em gamas mais baixas que representam modos de vibração da estrutura.”.*

Apresenta-se de seguida a justificação para a não consideração inicial de frequências na gama de 0 a 1 Hz, assim como, julga-se, justificação suficiente para excluir a possibilidade de ocorrência de modos fundamentais de translação dos três corpos estudados (A a C, de acordo com a identificação do relatório original).

2. ESCLARECIMENTO

Os registos de vibrações (acelerações) obtidos nos ensaios de vibração ambiental apresentavam uma componente de deriva quase estática (frequência da ordem de 0 Hz) que a menos de medidas explícitas em contrário tendem a originar um conteúdo espectral significativo na frequência de 0 Hz, com uma atenuação gradual à medida que a frequência aumenta até cerca de 1 Hz. O referido efeito, espúrio de natureza, é normal em acelerómetros “force-balance” na presença de vibrações mecânicas de muito baixa amplitude.

No conhecimento do efeito anteriormente descrito e no pressuposto – que se considerou razoável tendo em vista as características conhecidas das estruturas – de que não haveriam modos de vibração com frequências inferiores a 1 Hz, optou-se por determinar as funções de densidade espectral de potência sem medidas explícitas para anular o referido efeito espúrio e representá-las graficamente anulando as ordenadas correspondentes a frequências (abscissas) inferiores a 1 Hz.

A título de exemplo apresentam-se de seguida alguns dos traçados das estimativas discretas das funções de densidade espectral de potência, para os três corpos (A a C), nos quais se optou por incluir as ordenadas para frequências inferiores a 1 Hz. Para facilitar a comparação optou-se por manter a numeração das figuras do relatório original, acrescentando o sufixo “R”.

Corpo A

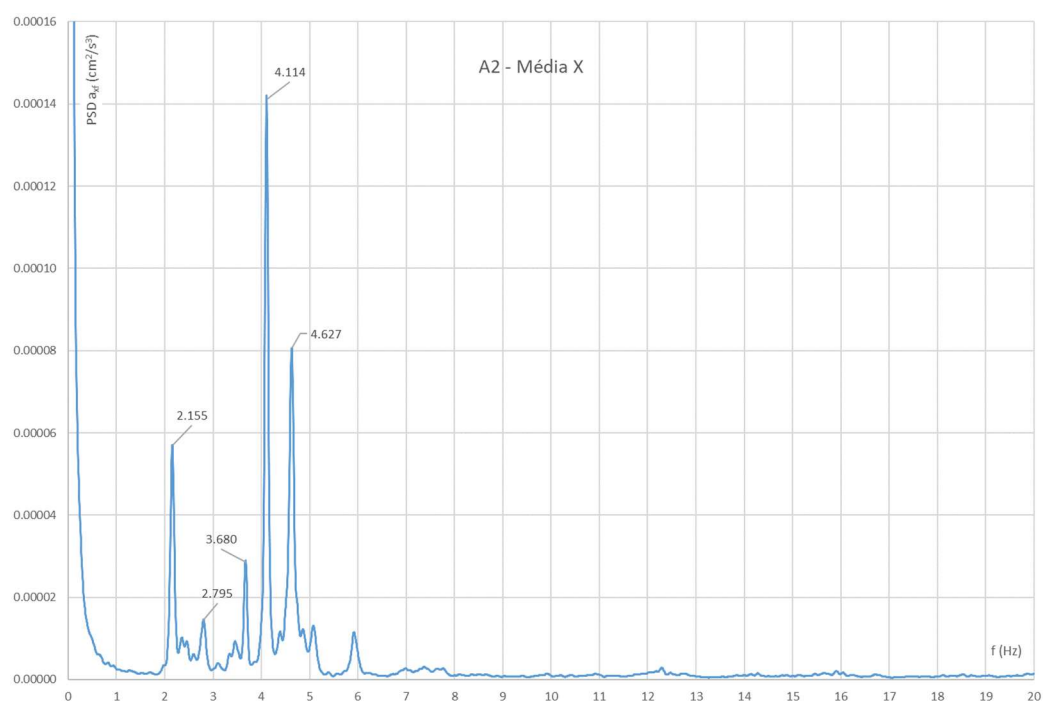


Figura 7R: Média, direção X, ponto A2

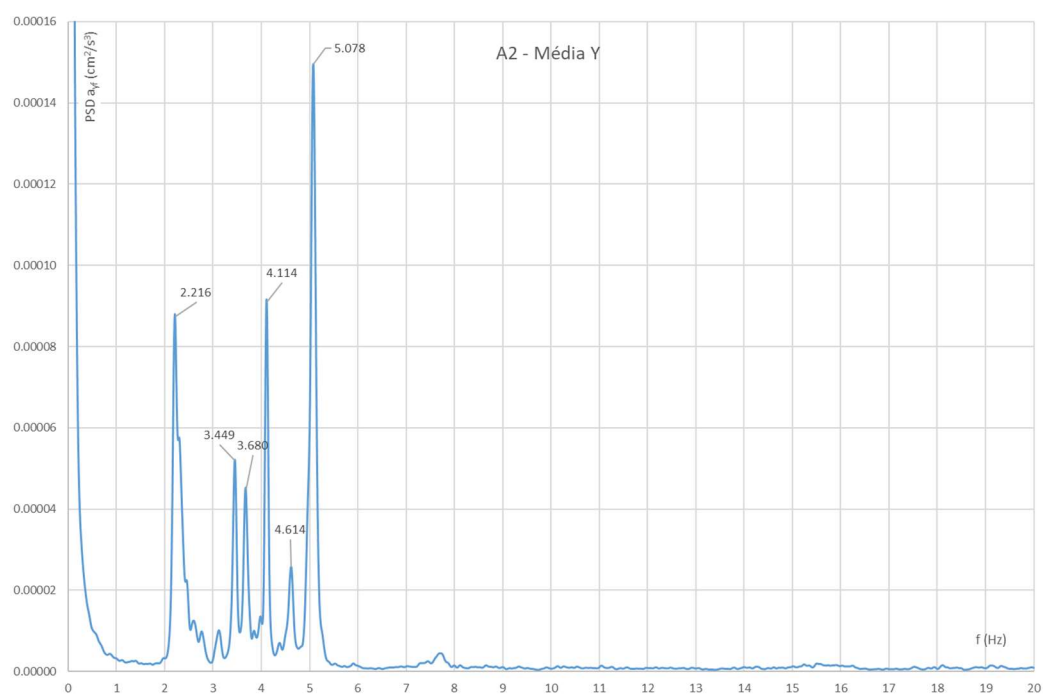


Figura 8R: Média, direção Y, ponto A2

Corpo B

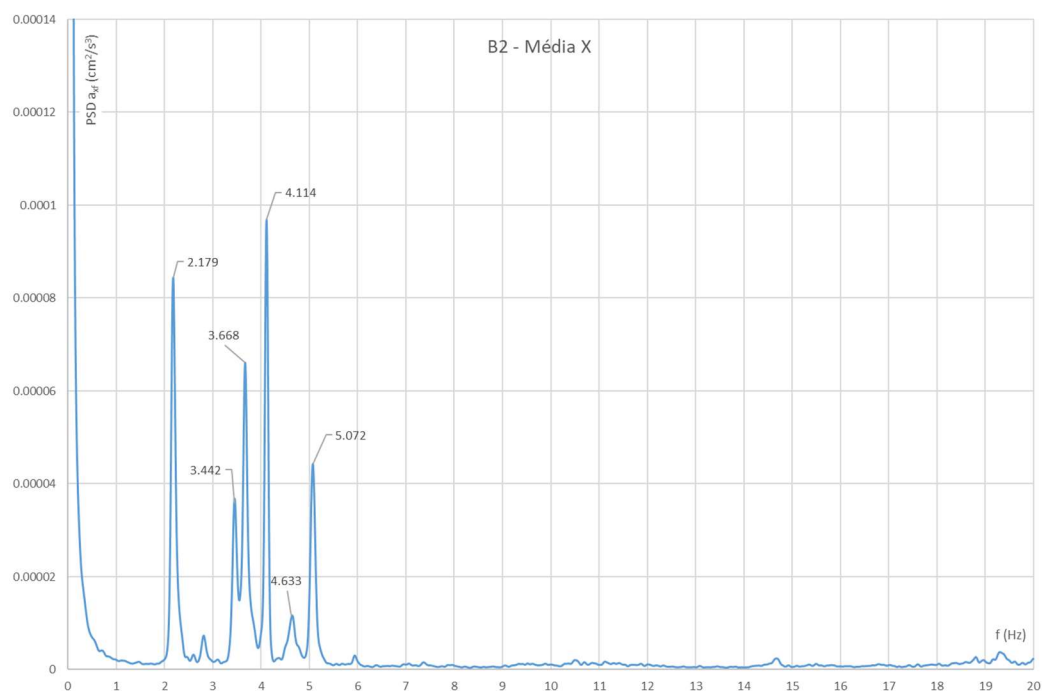


Figura 11R: Média, direção X, ponto B2

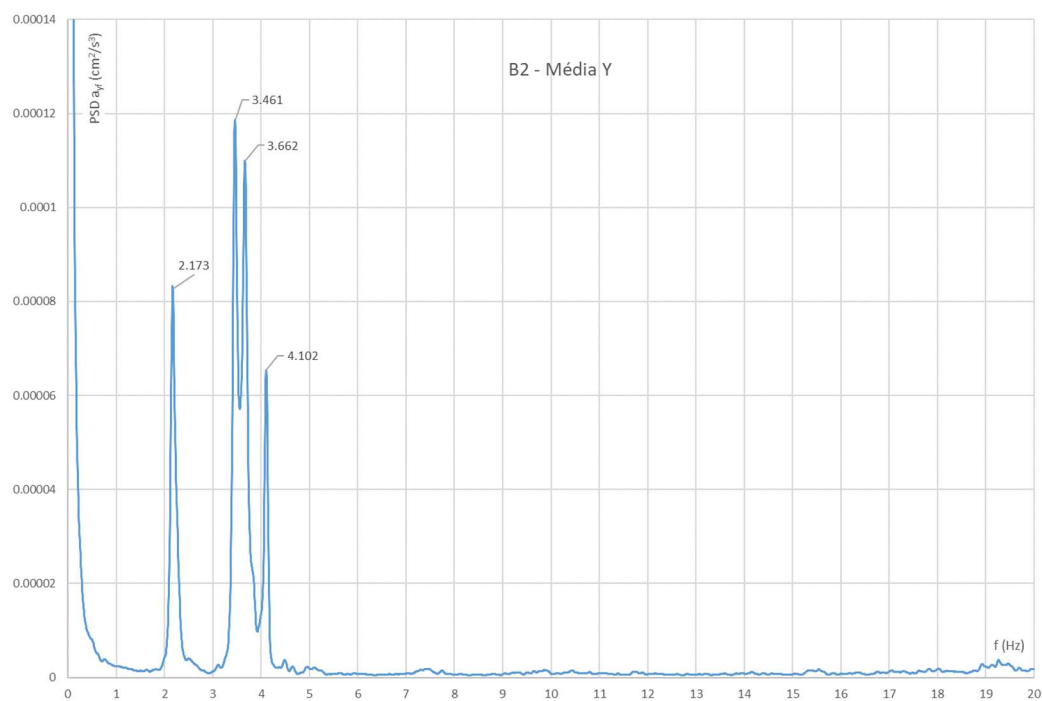


Figura 12R: Média, direção Y, ponto B2

Corpo C

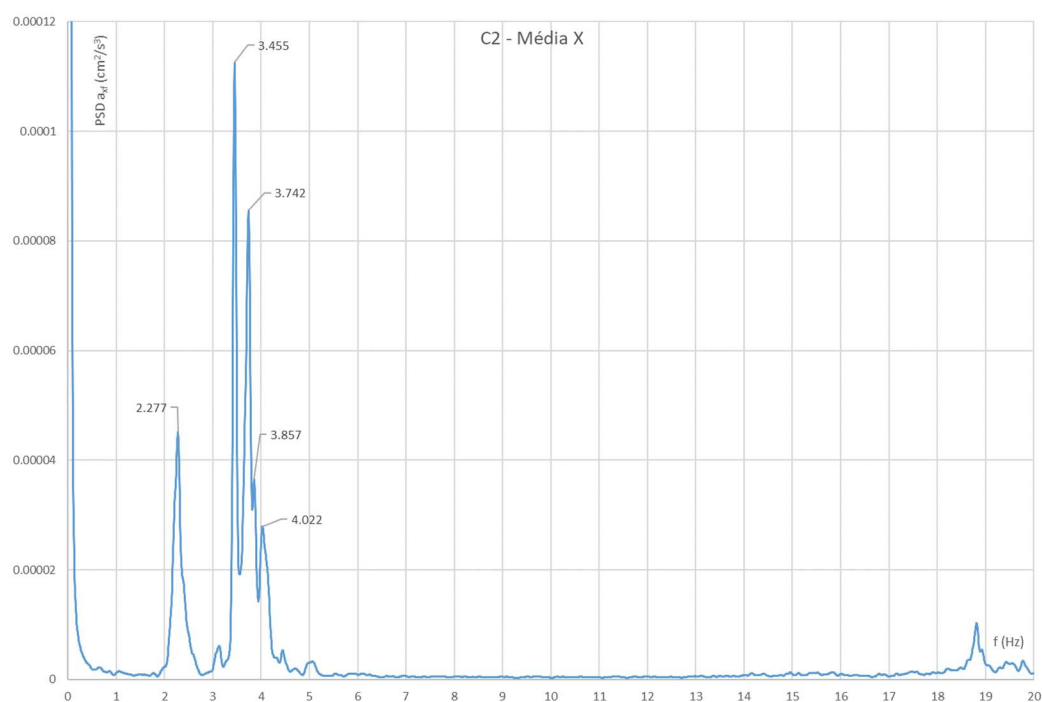


Figura 16R: Média de todos os registos, direção X, ponto C2

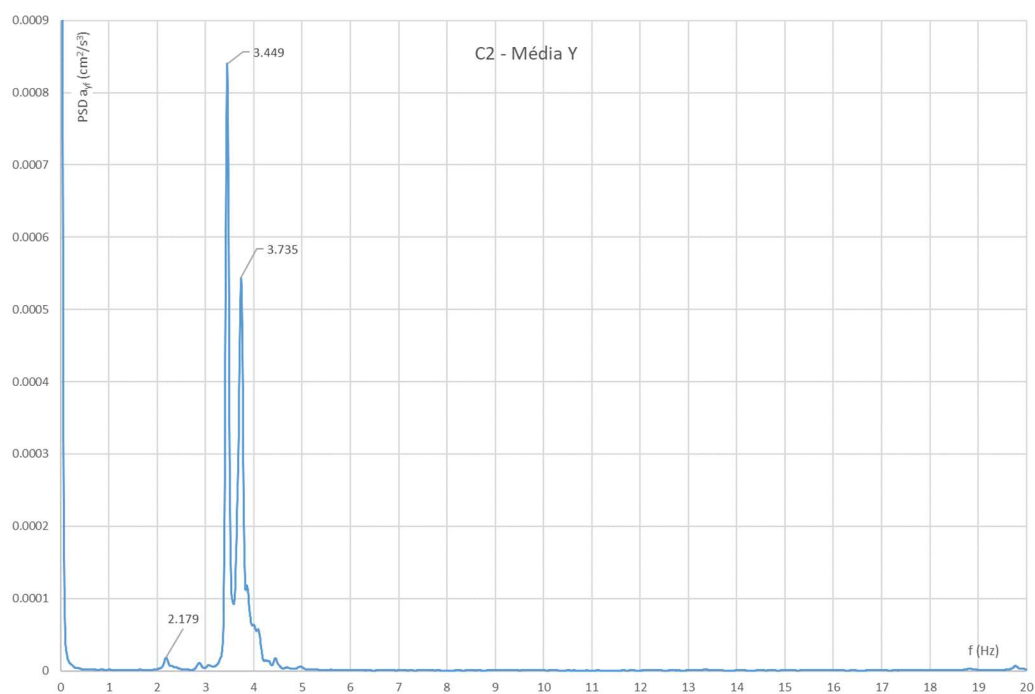


Figura 17R: Média de todos os registos, direção Y, ponto C2

Conforme se observa nos traçados das estimativas discretas das funções de densidade espectral de potência, para os três corpos (A a C), atrás representados, não se verificam indícios de ocorrência de picos no intervalo entre 0 e 1 Hz, corroborando assim a simplificação admitida.

Não obstante as indicações anteriores, que se consideram conclusivas, assim como aquelas que se referem aos valores esperados das frequências dos corpos (considerando as suas características), que serão alvo de comentários posteriores, optou-se aqui, como exemplo adicional, por proceder à filtragem passa-banda dos registos obtidos no ponto de registo A2 e obter as subseqüentes estimativas espectrais. A filtragem passa-banda foi realizada com um filtro Butterworth com uma banda de 0,2 Hz a 100 Hz (frequência de Nyquist). Exemplifica-se assim a aplicação de medidas específicas para eliminar o efeito espúrio atrás referido.

Apresentam-se de seguida os traçados das estimativas discretas das funções de densidade espectral de potência dos registos assim filtrados, mantendo-se a numeração adotada no relatório original e acrescentando o sufixo "RF".

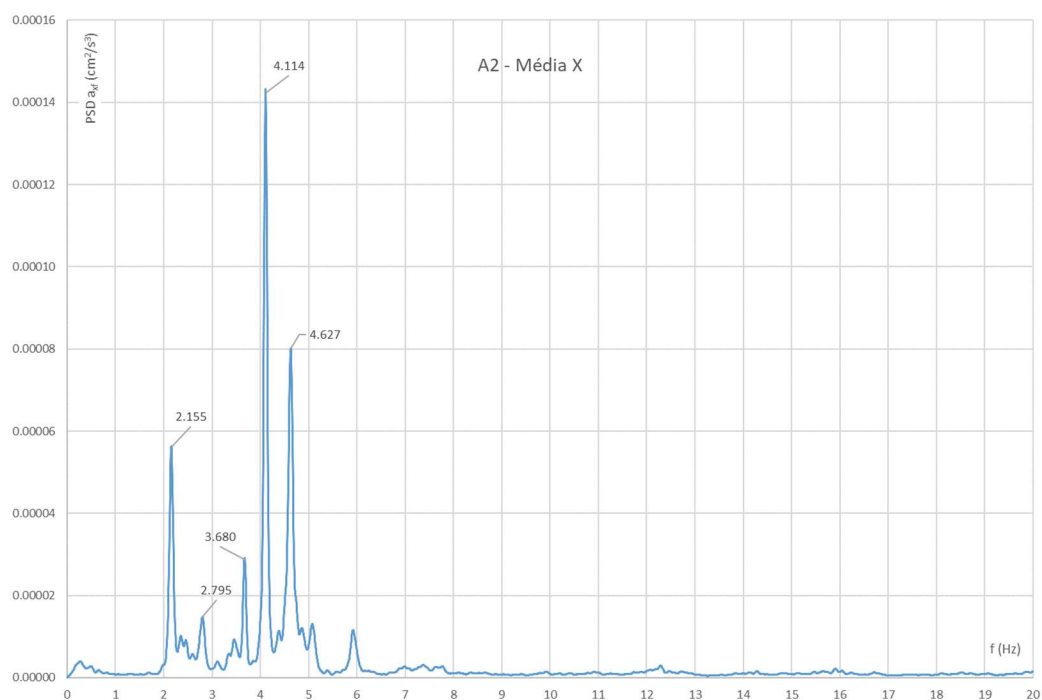


Figura 7RF: Média, direção X, ponto A2, filtragem 0,2-100 Hz

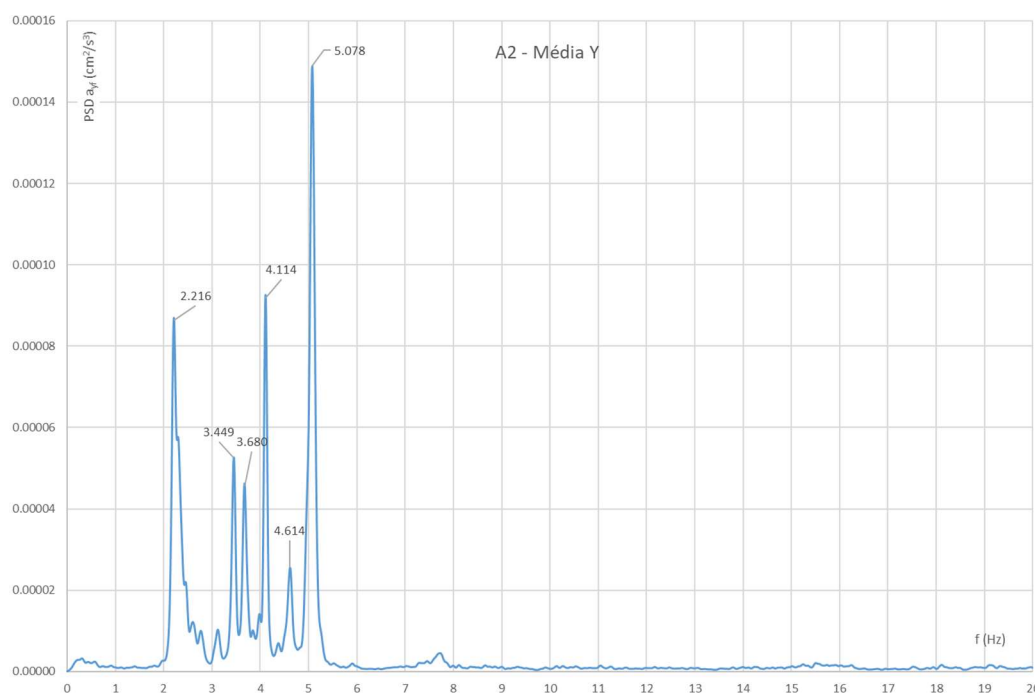


Figura 8RF: Média, direção Y, ponto A2, filtragem 0,2-100 Hz

De novo se verifica a inexistência de picos na gama de 0 a 1 Hz.

Finalmente e como justificação da simplificação considerada no relatório original, considerem-se aqui as expressões simplificadas patentes no RSA (Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes) e na NP EN 1998-1:2010 (Eurocódigo 8, parte 1) para as frequências fundamentais de estruturas de edifícios.

RSA, Artº 31.2, com base na “...consideração dos resultados da análise dinâmica efectuada para estruturas típicas e de valores obtidos experimentalmente”:

Estruturas em pórtico $f = \frac{12}{N}$

Estruturas mistas pórtico-parede $f = \frac{16}{N}$

Em que N é o número de pisos acima do terreno. Considerando, simplificadamente, que os corpos A e B podem ser classificados como estruturas em pórtico, obter-se-ia como primeira aproximação um valor 2,4 Hz para a frequência fundamental desses dois corpos. De igual forma, admitindo que a estrutura do corpo C é assimilável a uma estrutura mista pórtico-parede, obter-se-ia, como primeira aproximação, uma frequência fundamental de 2,29 Hz. Atente-se que as equações empíricas anteriores foram calibradas considerando a massa resultante do valor médio das cargas permanentes e valor quase permanente das cargas variáveis, o que seria certamente um majorante da massa existente aquando dos ensaios de vibração ambiental. Em sentido contrário poderia referir-se o facto de as estruturas dos três corpos apresentarem pés-direitos anormalmente elevados, da ordem de 3,8m e de ser discutível a sua classificação de estruturas em pórtico, dada a prevalência de lajes fungiformes.

NP EN 1998-1:2010, com base em 4.3.3.2.2 (Força de corte na base), em (3) propõe a seguinte expressão para o cálculo do período fundamental de estruturas de pórticos espaciais de betão:

$$T_1 = 0,075 H^{3/4}$$

que, no caso dos corpos A e B conduziria a um período fundamental de 0,68 s, ou seja, a uma frequência fundamental de 1,47 Hz. Atente-se neste caso ao facto de que a expressão empírica apresentada não se refere especificamente a estruturas com lajes fungiformes (que deverão ser mais flexíveis do que pórticos espaciais de betão) mas, por outro lado, o referido valor de período deverá ser aplicado numa análise para Estados Limites Últimos, pressupondo uma redução significativa da rigidez da estrutura devida ao efeito da fendilhação (no limite uma redução para 50% da rigidez elástica), ou seja numa situação muito diferente de aquela encontrada nos ensaios de vibração ambiental. A NP EN 1998-1:2010 propõe ainda na mesma subsecção, ponto (4), uma expressão simplificada para "...estruturas com paredes de contraventamento de betão ou de alvenaria...", que, por desconhecimento das características das paredes resistentes do corpo C não foi aqui aplicada.

Face ao exposto anteriormente, considera-se que há evidências experimentais significativas de que não existem modos de vibração com frequência inferior a 1 Hz nos corpos A a C, alvo de ensaios de vibração ambiental. Considera-se ainda que as expressões empíricas, simplificadas, propostas quer pelo RSA quer pela NP EN 1998-1:2010, corroboram a tese de que as frequências fundamentais deverão ser superiores a 1 Hz.

IST, 06 de agosto de 2020



Jorge Miguel Proença