



Dissertação

Mestrado em Construções Civas – Engenharia Civil

***Monitorização das Vibrações Ambientais no
Mosteiro da Batalha***

Micael da Silva Pedroso

Leiria, Julho de 2016



Dissertação

Mestrado em Construções Civas – Engenharia Civil

***Monitorização das Vibrações Ambientais no
Mosteiro da Batalha***

Micael da Silva Pedroso

Dissertação de Mestrado realizada sob a orientação do Doutor Hugo Filipe Pinheiro Rodrigues, Professor Adjunto da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria e coorientação do Doutor Humberto Salazar Amorim Varum, Professor Catedrático da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Leiria, *Julho* de 2016

Dedicatória

À Minha Família

*“A sabedoria dos homens é proporcional não à sua experiência mas à sua
capacidade de adquirir experiência.”*

(George Bernard Shaw)

Agradecimentos

Finalizada uma etapa particularmente importante da minha vida, não poderia deixar de expressar o mais profundo agradecimento a todos aqueles que me apoiaram nesta longa caminhada e contribuíram para a realização deste trabalho e que sem eles, de forma alguma se poderia ter realizado com a qualidade e o rigor devido. Em particular agradeço:

Ao Professor Doutor Hugo Rodrigues o meu maior agradecimento por toda a disponibilidade e orientação prestada, pelo apoio incondicional e compreensão que sempre manifestou.

Ao Professor Doutor Humberto Varum que como coorientador acompanhou este trabalho mostrando-se disponível.

Ao IPL (Instituto Politécnico de Leiria), ESTG (Escola Superior de Tecnologia e Gestão) de Leiria por colocar ao dispor equipamentos e meios que foram essenciais à realização deste trabalho.

Ao pessoal do Mosteiro, que facilitou o acesso ao todo e qualquer local do monumento necessário para este trabalho. Em particular ao Dr. Joaquim Ruivo, que como diretor do Mosteiro disponibilizou-se para ajudar em tudo o que foi necessário e ao Dr. Pedro Redol, pela disponibilidade e informação acerca do Mosteiro.

Ao departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro pela disponibilização de equipamento de aquisição de dados, acelerómetros e sismógrafos.

Ao LESE – Laboratório de Engenharia Sísmica e Estrutural da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto pela disponibilização de sismógrafos.

À Eng^a Vânia Marques do departamento de Engenharia Civil pela disponibilização do equipamento necessário.

Ao Eng^o Ivo Dias pela disponibilidade para ajudar na realização de eventos de medição.

À Dr^a Bruna Gomes pela sua disponibilidade para ajudar com a correção desta dissertação.

Por último, mas não menos importante, agradeço aos meus amigos, colegas de curso e a todos os professores que comigo partilharam do seu saber.

Resumo

No passado recente têm-se intensificado as vibrações ambientais no entorno de algumas estruturas sensíveis, nomeadamente, de alguns edifícios históricos com elevado valor patrimonial. Ora, neste tipo de construções, tais vibrações podem contribuir significativamente para o aumento e evolução de danos já existentes, estruturais e não estruturais, assim como podem despoletar novas alterações.

O que este artigo pretendeu foi precisamente apresentar a relação entre tais vibrações ambientais e eventuais alterações estruturais e não estruturais, tendo por base os resultados obtidos a partir de um estudo desenvolvido no Mosteiro de Santa Maria da Vitória.

O Mosteiro de Santa Maria da Vitória, mais conhecido como *Mosteiro da Batalha*, foi mandado construir no século XIV por D. João I e representa hoje um dos maiores legados do estilo manuelino, apresentando por igual, uma arquitetura gótica bem vincada. Situado no centro da vila da Batalha, no distrito de Leiria, este monumento reveste grande importância histórica, à qual se tem vindo a associar um cunho turístico cada vez mais intenso, uma vez que é visitado por milhares de visitantes anualmente, constituindo atualmente um dos pontos de referência do roteiro turístico português.

O trabalho aqui desenvolvido teve como objetivo principal a avaliação das vibrações impostas pela circulação de veículos ligeiros e pesados no itinerário complementar IC2, o qual passa muito próximo da entrada principal do Mosteiro.

As vibrações foram medidas em diferentes pontos, tendo em especial consideração os intervalos de tempo em que o tráfego é mais acentuado. Foram também feitas medições nos vitrais do Mosteiro de forma a correlacionar tais valores com os obtidos na base do edifício, uma vez que estes elementos apresentam uma fragilidade bastante superior em relação ao resto da construção. Cumpre ainda sublinhar que os resultados obtidos são comparados com os limites apresentados pela norma Portuguesa NP2074, bem como com os valores patentes noutras normas internacionais, tais como a italiana UNI 9916, as inglesas BS 7385 e BS 5228 e ainda em vários estudos desenvolvidos com base nas normas americanas.

Palavras-chave: Mosteiro da Batalha, Velocidade de vibração, Velocidade de pico, Vibração ambiente, Edifícios históricos

Abstract

In the recent past it has intensified environmental vibrations in the vicinity of some sensitive structures, namely, some historic buildings with high asset value. Now, this type of construction, such vibrations can significantly contribute to the increase and evolution of existing structural and non-structural damage, and can trigger new changes.

What this article was intended precisely to present the relationship between such environmental vibrations and possible structural and non-structural changes, based on the results from a study conducted in the Monastery of Santa Maria da Vitoria.

The Monastery of Santa Maria da Vitoria, known as Monastery of Batalha, was built in the fourteenth century by King João I and today is one of the greatest legacies of the Manueline style, presenting the same, a very stark Gothic architecture. Situated in the center of Batalha, in Leiria, this monument is of great historical importance, which has come to associate a tourist stamp increasingly intense as it is visited by thousands of visitors annually, nowadays it is one of landmarks of the Portuguese tourist track.

The work developed here had as its main objective the evaluation of vibrations imposed by the circulation of light and heavy vehicles in the supplementary route IC2, which passes very close to the main entrance of the monastery.

The vibrations were measured at different points, taking into special consideration the time intervals in which the traffic is more pronounced. Measurements were also made in the Abbey stained in order to correlate these values with those obtained on the building base, as these elements have a much higher brittleness compared to the rest of the construction. It should also be noted that the results obtained are compared with the limits given by the Portuguese NP2074 standard, as well as the figures contained in other international standards such as the Italian UNI 9916, the British BS 7385 and BS 5228 and also in several studies based in American standards.

Keywords: Monastery of Batalha, vibration speed, peak speed, environment vibration, historical buildings

Lista de figuras

Figura 1 - Mosteiro da Batalha	7
Figura 2 - Planta do Mosteiro da Batalha com os principais elementos constituintes.	9
Figura 3 - Coruchéu da Capela do Fundador antes do sismo de 1755(F. A. B. João José Rio Tinto de Azevedo, 1990)	10
Figura 4 - Mapeamento das patologias no alçado Oeste da Capela do Fundador (Vazão, 2015)	12
Figura 5 - Posições de medição de vibrações para o relatório (João José Rio Tinto de Azevedo et al., 1989)	14
Figura 6 - Traçado do IC2 e da A19 (Maps, 2016).....	15
Figura 7 - Representação gráfica dos limites de velocidade de vibração de partícula de pico por faixas de frequência (Técnicas, 2005)	23
Figura 8 - Arco da Entrada do Cemitério Cypress Lawn (D’Avino et al., 2012)	25
Figura 9 - Mausoléu de James de la Montanya no Cemitério Cypress Lawn (D’Avino et al., 2012).....	26
Figura 10 - Interior do Fort Point (D’Avino et al., 2012)	27
Figura 11 - Exterior do Fort Point (D’Avino et al., 2012)	27
Figura 12 - Mosteiro de Santa Clara a Velha (Mateus & Pereira, 2014).....	29
Figura 13 - Indicação, em planta, da disposição dos equipamentos no interior da fortificação (Muñoz, Magalhães, Cafezeiro, & Oliveira, 2014)	29
Figura 14 - Forte de Santo António da Barra (Muñoz et al., 2014).....	30
Figura 15 - Base Naval do Alfeite	31
Figura 16 - Exemplo de um dos equipamentos analisados (T. M. d. O. Silva, 2010).....	31
Figura 17 - Posições dos sismógrafos para avaliação da amplificação.....	35
Figura 18 - Sismógrafo na posição O.....	35
Figura 19 - Sismógrafo na posição A.....	35
Figura 20 - Sismógrafo na posição B.....	36
Figura 21 - Sismógrafo na posição C.....	36
Figura 22 - Sismógrafo na posição D.....	36
Figura 23 - Posições dos Sismógrafos	38
Figura 24 - Sismógrafo utilizado	39
Figura 25 - Equipamento de tratamento de sinal	40

Figura 26 - <i>Setup</i> de medição nº5	40
Figura 27 - Localização dos acelerómetros.....	41
Figura 28 - Valores observados em tempo real durante a medição	41
Figura 29 - Sismógrafo utilizado	42
Figura 30 - Sistema de acelerómetros bidimensional	43
Figura 31 - Placa de comunicação e computador para processamento dos sinais	43
Figura 32 - Sinal original em aceleração (sem filtros).....	44
Figura 33 - Sinal tratado de aceleração (com <i>baseline</i> , <i>bandpass</i>).....	45
Figura 34 - Vetor do sinal aceleração (através do passo de cálculo <i>Vector sum</i>)	46
Figura 35 - Gráfico representativo da análise de amplificação na estrutura com acelerações	46
Figura 36 - Sinal original em aceleração (sem filtros).....	47
Figura 37 - Sinal tratado em velocidade (com <i>baseline</i> , <i>bandpass</i> e <i>integration</i>).....	48
Figura 38 - Vetor do sinal velocidade (através do passo de cálculo <i>Vector sum</i>).....	49
Figura 39 - Gráfico representativo da análise de amplificação na estrutura com velocidades.....	49
Figura 40 - Vetor aceleração da posição 9	51
Figura 41 - Vetor velocidade da posição 9	51
Figura 42 - Comparação de valores de velocidade e aceleração.....	52
Figura 43 - <i>Setup</i> 1 - Direção X	53
Figura 44 - <i>Setup</i> 1 - Direção Y	54
Figura 45 - <i>Setup</i> 2 - Direção X	54
Figura 46 - <i>Setup</i> 2 - Direção Y	55
Figura 47 - Variação da velocidade em função da distância à fachada do Mosteiro. 55	
Figura 48 – Localização dos sismógrafos na base do Mosteiro da Batalha.....	57
Figura 49 - Posição I	57
Figura 50 - Sismógrafo na posição I	57
Figura 51 - Posição II.....	58
Figura 52- Sismógrafo na posição II.....	58
Figura 53 - Sinal original em aceleração (sem filtros).....	59
Figura 54 - Sinal tratado em velocidade (com <i>baseline</i> , <i>bandpass</i> e <i>integration</i>)	59
Figura 55 - Vetor do sinal velocidade (através do passo de cálculo <i>Vector sum</i>).....	59
Figura 56 - Gráfico de velocidades medidas no Museu dos Combatentes [dia 2 a dia 3 de Maio de 2016]	60

Figura 57 - Gráfico de velocidades medidas na Capela do Fundador [dia 5 a dia 7 de Maio de 2016]	60
Figura 58 - Setups na Capela do Fundador para identificação dinâmica.....	65
Figura 59 - Colocação de sismógrafos para identificação dinâmica (<i>setup</i> 3), fixo posição “O” e móvel na posição “3”	66
Figura 60 - Sismógrafo fixo na posição "O"	66
Figura 61 - Sismógrafo móvel na posição “3”	67
Figura 62 - Sismógrafo móvel na posição “5”	67
Figura 63 - Representação da Capela do Fundador	69
Figura 64 - Espectro das frequências combinadas dos 9 <i>setups</i> da Capela do Fundador	70
Figura 65 - Primeiro modo de vibração da Capela do Fundador	71
Figura 66 - Segundo modo de vibração da Capela do Fundador	71
Figura 67 - Acelerómetro PCB Piezotronics, modelo 353B03	73
Figura 68 – Mala com placa de aquisição.....	73
Figura 69 – Esquema parafuso / parafuso	74
Figura 70 - Esquema parafuso / fita-cola	74
Figura 71 - Estrutura com um grau de liberdade	74
Figura 72 – Acelerómetros fixados na massa	74
Figura 73 - Gráfico de comparação de valores de aceleração com acelerómetros fixados com parafuso	75
Figura 74 - Gráfico de comparação de valores de aceleração com um acelerómetro fixado com parafuso e outro com fita-cola	76
Figura 75- Fachada Oeste Capela do Fundador	78
Figura 76 - Cobertura da Capela do Fundador com representação dos vitrais	79
Figura 77 - Fita-cola utilizada para fixação dos acelerómetros	79
Figura 78 - <i>Setup</i> do Vitral O.....	80
Figura 79 - Gráfico das acelerações do <i>setup</i> 2.....	81
Figura 80 - <i>Setups</i> usados nos oito vitrais.....	82
Figura 81 - Espectro das frequências combinadas dos dois <i>Setups</i> do Vitral Oeste....	83
Figura 82 - Vitral N - Modo de Vibração 1	84
Figura 83 - Vitral SO - Modo de Vibração 2	84
Figura 84 - Frequências dos modos de vibração dos vitrais	85

Figura 85 - Argamassa de fixação do Vitral N	87
Figura 86 - Argamassa de fixação do Vitral NE.....	87
Figura 87 - Argamassa de fixação do Vitral SO	88

Lista de tabelas

Tabela 1 - Valores de α (Qualidade, 2015)	18
Tabela 2 - Valores de β (Qualidade, 2015)	18
Tabela 3 - Valores de γ (Qualidade, 2015)	18
Tabela 4 - Valores de velocidade de vibração de acordo com a norma NP2074 (Azevedo & Patrício)	19
Tabela 5 - Valores máximos de vibração de acordo com as normas DIN 4150 e UNI 9916 (Mateus, 2014)	20
Tabela 6 - Valores máximos admitidos nos EUA segundo várias entidades (D'Avino et al., 2012).....	21
Tabela 7 - Modos de Vibração da Capela do Fundador.....	70
Tabela 8 - Comparação de valores de aceleração com acelerómetros fixados com parafuso.....	75
Tabela 9 - Comparação de valores de aceleração com um acelerómetro fixado com parafuso e outro com fita-cola.....	76
Tabela 10 - Comparação de valores de aceleração com um acelerómetro fixado com parafuso e outro com fita-cola (continuação).....	77
Tabela 11 - Avaliação visual e ao toque dos vitrais do Octógono da Capela do Fundador	86

Lista de siglas

A19 - Autoestrada 19

CMB - Câmara Municipal da Batalha

CMEST – Centro de Mecânica e Engenharia Estruturais da Universidade Técnica de Lisboa

DIN – Norma Alemã

EN – Estrada Nacional

IC2 – Itinerário Complementar 2

INIC – Instituto Superior Técnico

IPL – Instituto Politécnico de Leiria

NP – Norma Portuguesa

UNESCO – Organização das Nações Unidas para a Educação Ciência e Cultura

UNI – Norma Italiana

Índice

DEDICATÓRIA	I
AGRADECIMENTOS	III
RESUMO	V
ABSTRACT	VII
LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE TABELAS	XIV
LISTA DE SIGLAS	XVI
ÍNDICE	XVIII
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objetivos	3
1.3. Estrutura	4
2. MOSTEIRO DE SANTA MARIA DA VITÓRIA	5
2.1. O Mosteiro	5
2.1.1. História	5
2.1.2. Construção e Elementos Constituintes	7
2.2. Trabalhos Anteriores de Inspeção e Avaliação Estrutural	9
2.3. Análise dos Níveis de Vibração Provocados pelo Tráfego Rodoviário	12
2.4. Enquadramento Urbano do Mosteiro	14

2.5.	Comentários finais	16
3.	REVISÃO DA LITERATURA	17
3.1.	Normas de Avaliação da Vibração em estruturas existentes	17
3.1.1.	NP-2074 - Avaliação da Influência em Construções de Vibrações Provocadas por Explosões ou Solicitações Similares (2015)	17
3.1.2.	Norma Alemã (DIN 4150) e Norma Italiana (UNI 9916)	19
3.1.3.	Limites Usados em Estudos Americanos	20
3.1.4.	NBR 9653 – Guia para Avaliação dos Efeitos Provocados Pelo Uso de Explosivos na Minerações em Áreas Urbanas (2005)	23
3.2.	Estudos Semelhantes	24
3.2.1.	Cemitério Cypress Lawn – Arco da Entrada e Mausóleo de la Montanya – Califórnia – EUA (2012)	24
3.2.2.	Fort Point – São Francisco – EUA (2012)	26
3.2.3.	Mosteiro de Santa Clara a Velha – Coimbra – Portugal (2014)	28
3.2.4.	Forte de Santo António da Barra – Salvador – Brasil (2014)	29
3.2.5.	Avaliação da Transmissão de Vibração Num Edifício Existente (2010)	30
3.3.	Comentários Finais	32
4.	ANÁLISE DAS VIBRAÇÕES AMBIENTAIS SOBRE A ESTRUTURA	33
4.1.	Introdução	33
4.2.	Análise de Amplificação	34
4.2.1.	Estudo 1 - Análise de Amplificação Estrutura	34
4.2.2.	Estudo 2 - Análise de Amplificação da Capela do Fundador	37
4.2.3.	Equipamento utilizado	38
4.2.4.	Análise das Vibrações na superfície do solo, desde o IC2 até à Fachada do Mosteiro	39
4.3.	Equipamento Utilizado	42
4.3.1.	Estudo 1 e Estudo 2	42
4.3.1.	Estudo 3	42
4.4.	Análise de Resultados	44
4.4.1.	Estudo 1 - Análise de Amplificação na Estrutura	44
4.4.1.1.	Análise de Acelerações	44
4.4.1.2.	Análise de Velocidades	47

4.4.2.	Estudo 2 - Análise de Amplificação da Capela do Fundador	50
4.4.1.	Estudo 3 - Análise das Vibrações na superfície do solo, desde o IC2 até à Fachada do Mosteiro 53	
4.5.	Análise das Velocidades Máximas na Base da Estrutura	56
4.6.	Análise de Resultados	58
4.7.	Comentários Finais	61
5.	AVALIAÇÃO DAS VIBRAÇÕES NA CAPELA DO FUNDADOR	63
5.1.	Introdução	63
5.2.	Identificação dinâmica da capela do fundador	64
5.2.1.	Análise de Resultados	68
5.3.	Medição das vibrações nos vitrais	72
5.3.1.	Equipamento utilizado	72
5.3.2.	Estudo preliminar para avaliação das condições de apoio	73
5.3.2.1.	Análise de Resultados	75
5.3.3.	Identificação dinâmica nos Vitrais	77
5.3.3.1.	Análise Vitral – Estrutura	80
5.3.3.1.1.	Análise de Resultados	80
5.3.3.2.	Análise nos Vitrais	82
5.3.3.2.1.	Análise de Resultados	83
5.4.	Comentários Finais	89
6.	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	91
6.1.	Principais Conclusões	91
6.2.	Proposta de Trabalhos Futuros	93
	BIBLIOGRAFIA	95

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

Enquanto referência histórica, de Engenharia e de Arquitetura, o Mosteiro de Santa Maria da Vitória apresenta-se como paradigmático no nosso País, assim como tem o seu lugar bem definido no contexto internacional. Acresce que, nos últimos anos, acompanhando o crescimento assinalável do sector turístico em Portugal, o Mosteiro tem atraído milhares de visitantes anualmente, o que, naturalmente, tem representado um estímulo assinalável no que respeita à economia local.

Considerado em 1983 património mundial pela *UNESCO* e em 7 de Julho de 2007 eleito como uma das *Sete Maravilhas de Portugal*, o Mosteiro foi ainda classificado como Monumento Nacional pelo Instituto de Gestão do Património Arquitetónico e Arqueológico, títulos aos quais se soma a recente atribuição de estatuto de Panteão Nacional. Tendo também em conta tais feitos, urge colocar na agenda pública a discussão sobre a necessidade de preservação do monumento, assim como de todas as preocupações a tal inerentes, motivo pelo qual a execução deste trabalho reveste ainda maior importância.

As vibrações impostas em edifícios e em especial, em edifícios com a importância do presente casos de estudo, podem originar danos estruturais e não estruturais, assim como capazes de provocar uma sensação de insegurança ao utilizador ou até mesmo de colocar em risco o seu uso (Johnson & Hannen, 2015).

Tais oscilações podem ainda despoletar/acelerar a degradação dos materiais, pelo que, em edifícios históricos, dado o seu valor patrimonial, histórico, cultural e tendo em conta a difícil reparação de que são alvo, é evidente a necessidade de monitorizar o comportamento destas estruturas (Hunaidi, 2000).

Revela-se assim imprescindível que sejam levadas a cabo, regularmente, inúmeras inspeções, as quais não se podem bastar pela observação das estruturas, pois terá de ser sempre considerado também o ambiente envolvente, a fim de evitar custos de reparação e perda de receitas pelos períodos em que os monumentos estão fechados ao público para reparação. Note-se que quanto a este último aspeto, os efeitos negativos de eventuais períodos de encerramento se refletem não apenas no monumento em si, como também se denotam a olhos vistos na economia local.

O aumento do tráfego nas proximidades dos edifícios históricos pode impor vibrações para as quais este tipo de estruturas provavelmente não está preparado. Assim, é necessário avaliar as vibrações que atingem estas estruturas, com o objetivo de perceber se de facto provocam danos relevantes, que tipo de danos e com que intensidade se verificam. Da recolha e análise desses dados surgirão as condições necessárias para equacionar soluções que minimizem os prejuízos daí resultantes - reduzindo as vibrações efetivas e/ou adaptar se possível o trânsito à estrutura, seriam alternativas possíveis (Ellis, 1987).

Acresce ainda a este facto o aumento da concentração de CO₂, maioritariamente proveniente da queima de combustíveis fósseis, que atingem diretamente as estruturas e que podem causar alterações na pedra, tais como a pátina e a alveolização (Vazão, 2015), assim como potenciam o desgaste da pedra, contribuindo a longo/médio prazo para a fragilização de toda a estrutura.

Atualmente, surgem já vários estudos de monitorização do comportamento deste tipo de estruturas, sempre com objetivo de preservar o património e de conter custos com reparações. O foco deste tipo de ensaios está relacionado, na maioria das vezes, com as vibrações impostas pelo trânsito, verificando-se também alguns estudos que se propõem a analisar as vibrações impostas por explosões, não só para edifícios históricos mas para edifícios de construção correntes.

1.2. Objetivos

A presente dissertação tem como objetivo avaliar o impacto das vibrações provocadas pelo tráfego automóvel que circula no IC 2 sobre a estrutura e vitrais do Mosteiro de Santa Maria da Vitória e avaliar a integridade estrutural e estética do Mosteiro da Batalha.

Numa primeira abordagem, encontramos a inevitável descrição do monumento no que respeita às características relevantes para o trabalho; nesta sede encontram-se listados e descritos diversos elementos tais como: os materiais utilizados, o tipo da sua construção, os mestres intervenientes, os seus estilos e ainda a ordem cronológica pela qual intervieram no Mosteiro.

Posto isto, revela-se imprescindível compilar as normas e procedimentos, com o objetivo claro de criar o ambiente desejado para que a presente dissertação seja executada com a maior exatidão possível e que a mesma esteja em condições de apresentar resultados que ilustrem cabalmente a situação atual do problema em estudo.

O objetivo central deste estudo é essencialmente a análise do comportamento das vibrações desde a origem (IC2) até ao Mosteiro da Batalha, assim como na estrutura do monumento propriamente dita, avaliando-se a redução das vibrações nos 70 metros entre a o IC2 e a fachada, com um sistema de acelerómetros.

O estudo da amplificação das vibrações ao longo na estrutura permitiu compreender o comportamento dinâmico do monumento, bem como a otimização de tempo dos equipamentos, definindo as posições de medição. A medição da velocidade das vibrações e comparação com as normas depois do tratamento dos dados auxiliar-nos-á nessa tarefa.

Por último, cumpre ainda realçar que também como objetivo deste estudo, a final, encontraremos a caracterização dinâmica dos vitrais do Mosteiro da Batalha e a comparação dos valores de vibração aí encontrados com os valores que foram verificados nas vibrações da estrutura, com o objetivo específico de analisar a diferença da vibração entre elementos estruturais e elementos não estruturais frágeis e importantes para o monumento.

1.3. Estrutura

Esta dissertação compreende seis capítulos, sucintamente abaixo enunciados, e por último, a bibliografia.

Do Primeiro Capítulo consta uma breve introdução, na qual se insere o enquadramento, objetivos e a presente estrutura.

No Capítulo Segundo encontra-se descrito o Mosteiro, descrição da qual consta a sua História, a sua constituição e os seus mestres. Estão também presentes os trabalhos de investigação efetuados e o enquadramento urbano.

Já no Terceiro Capítulo, ainda em tom contextual, temos a revisão da literatura, imprescindível a trabalho, na são feitas várias referências a Normas e estudos do estilo desta dissertação, tanto no plano nacional como internacional.

Após a revisão e enquadramento do caso de estudo, no Quarto Capítulo são apresentadas as medições realizadas na estrutura e no pátio, situado entre o IC2 a entrada principal do Mosteiro da Batalha. Aqui, verificam-se análises relativas à amplificação do sinal, bem como a análise feita com relação às vibrações ocorridas na base da estrutura, com objetivo de as comparar com as Normas citadas no Capítulo Terceiro.

Na mesma ótica, o Capítulo Quinto é dedicado ao estudo de identificação dinâmica da Capela do Fundador, assim como à análise das vibrações e modos de vibração dos vitrais da Cúpula desta capela. Aqui contempla-se também um estudo feito sobre as condições de apoio não agressivos de acelerómetros nos vitrais.

Por último, o Sexto Capítulo ficou reservado às conclusões obtidas através da exaustiva análise dos elementos reunidos e apresentados nos dois capítulos anteriores e nele é então possível atestar o cumprimento do objetivo a que aqui são propostos. Juntamente se apresentam propostas para trabalhos futuros no Mosteiro usando as mesmas técnicas apresentadas neste trabalho.

2. MOSTEIRO DE SANTA MARIA DA VITÓRIA

2.1. O Mosteiro

2.1.1. História

O Mosteiro de Santa Maria da Vitória é um monumento construído em calcário e situa-se no centro da Vila da Batalha¹, no distrito de Leiria.

Mandado construir em 1386 por D. João I, *Mestre de Avis*, em cumprimento da promessa feita à Virgem Maria pela vitória na guerra entre Portugueses e Castelhanos, em 1383, o Mosteiro é hoje considerado Património Nacional. Em 1980 foi criado o Museu do Mosteiro², e em 1983 foi considerado património mundial pela UNESCO. Recentemente, em 7 de Julho de 2007, foi eleito como uma das sete maravilhas de Portugal (Redol, 2011).

Em relação ao local eleito para a construção do monumento, várias mitologias são apontadas mas pensa-se que o lugar foi escolhido por estar mais próximo dos acessos a vias de comunicação, aos locais de interesse da região e à capital do país. O início das obras começou sobre a supervisão do mestre Afonso Domingues e sofreu um atraso por escassez de materiais devido à recente ocorrência da guerra. Após o início das obras, D. João ofereceu o Mosteiro à Ordem de São Domingos, ficando nesta altura entregue à responsabilidade de Frei Lourenço Lampreia.

¹ Coordenadas – latitude 39°39'36.41 N; longitude: 8°49'31.60 W

² Decreto-lei 559/80 de 4 de Dezembro

Com o erguer do monumento foi-se formando um pequeno núcleo populacional em seu redor, uma vez que eram escassos os edifícios para alojar os trabalhadores envolvidos na obra; cerca do ano de 1500, por ordem de D. Manuel I, o lugar de Batalha viu reconhecido o seu estatuto de Vila (J. Silva & Redol, 2007).

Durante os seus seis séculos de existência, o Mosteiro deparou-se com vários ataques, da Natureza e do Homem. Em reflexo disso mesmo, constata-se hoje que o edifício atual apresenta várias diferenças em relação ao projeto original, com espaços que desapareceram do traçado original e com outros que são agora utilizados para diferentes fins em relação aos quais foram criados.

Dos acontecimentos que mais marcaram o Mosteiro podemos destacar três grandes momentos: desde logo, o Grande Terramoto de 1755, que destruiu algumas partes do Mosteiro que nunca chegaram a ser reconstruídas; as invasões francesas, no início do século XIX, quase destruíram por completo o terceiro e quarto claustros; por fim, a extinção das Ordens Religiosas levou ao abandono do edifício e a inúmeros roubos de artefactos.

Ainda digno de menção no caminho percorrido até aos nossos dias está o facto de o Mosteiro ter estado em hasta pública 1834, dada a necessidade por parte do Estado de criar receita pública. No entanto, não foi vendido, provavelmente uma vez que o valor petitionado era realmente elevado.

Até aos dias de hoje, o Monumento já foi alvo de diversas campanhas de restauro, sendo a última de maior relevo, a limpeza dos terraços, em 2014.



Figura 1 - Mosteiro da Batalha

2.1.2. Construção e Elementos Constituintes

Em Portugal, o Mosteiro da Batalha é a construção mais relevante do estilo Gótico. Diluídos neste grande estilo, podemos encontrar o Gótico Radiante e o Gótico Flamejante. Tratam-se de estilos caracterizados por grandes aberturas, linhas verticais, arcos quebrados, gabletes e pináculos.

Quanto à arquitetura do Mosteiro, ressalta evidentemente o estilo Manuelino, marcado pelos arcos ogivais, flores de lótus, esferas armilares, cruzes de cristo e símbolos marítimos. Encontram-se também vestígios de estilos mais recentes, como o Renascentista, denotado pelos arcos perfeitos e decorações inspiradas no corpo humano e nas suas proporções.

Durante a sua construção, o Mosteiro foi entregue à responsabilidade de dez diferentes, deixando cada um o seu cunho pessoal, situação à qual se deve a diversidade de estilos arquitetónicos existentes no monumento.

Os períodos de atividade de cada mestre na construção são variados - uns dirigem as obras até à data da morte, enquanto outros apenas estão presentes durante um curto espaço de tempo, mas todos eles (à exceção de João Rodrigues) comandaram a construção durante o seu período próprio:

- 1º. D. Afonso Domingues – desde o início da construção até cerca de 1401;
- 2º. Huguet, que aparece pela primeira vez em 1401/2 até 1437, tendo falecido nos princípios de 1438;
- 3º. Martim Vasques – Desde 1438 até ao seu falecimento, cuja data estará entre Setembro de 1447 e Agosto de 1448;
- 4º. Fernão de Évora – sobrinho de Martim Vasques, Mestre-de-obras desde 1448 até à sua morte, em 1477;
- 5º. Guilherme – desde 1477 e sem data de fim da sua participação;
- 6º. Mateus Fernandes – Aparece pela primeira vez em 1480, mas é demitido pelo rei, que encarregou a obra a João Rodrigues;
- 7º. João Rodrigues – desde 1480 mas não se sabe até quando, ficou considerado como Mestre das vidraças;
- 8º. João de Arruda – desde 1485, desconhecendo-se até quando;
- 9º. Mateus Fernandes – surge novamente em 1490 e permanece até 1515, data da sua morte;
- 10º. João de Castilho – desde 1528 até 1532;
- 11º. Miguel de Arruda – desde 1533 até data incerta, provavelmente até à conclusão da construção.

O Mosteiro de Santa Maria da Vitória é um monumento com aproximadamente 13200m², espaço que é dividido nos nove elementos principais que abaixo se ilustram:

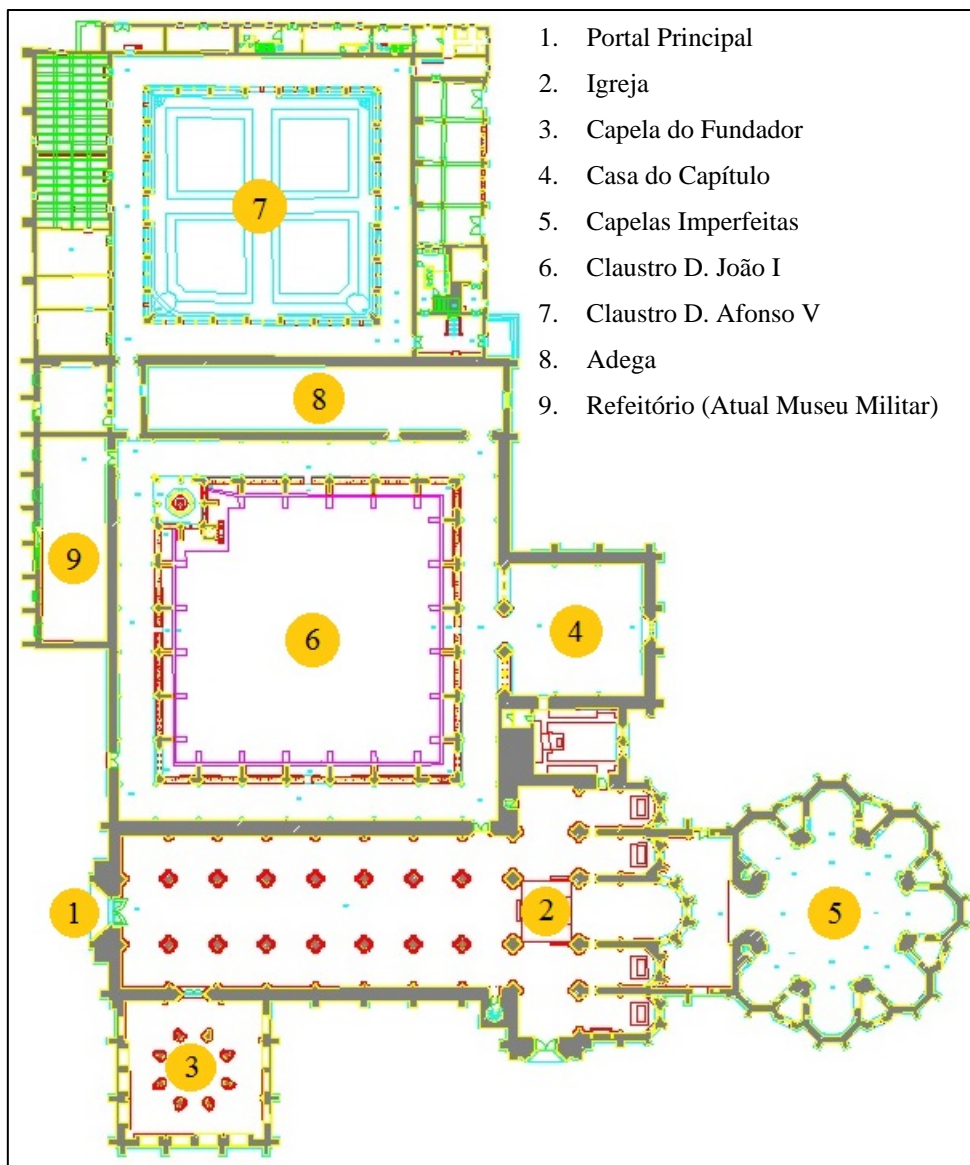


Figura 2 - Planta do Mosteiro da Batalha com os principais elementos constituintes

2.2. Trabalhos Anteriores de Inspeção e Avaliação Estrutural

No Mosteiro da Batalha foram levados a cabo dois grandes estudos de avaliação e inspeção estrutural.

No primeiro, datado de 1990 e desenvolvido pelo Centro de Mecânica e Engenharia Estruturais da Universidade Técnica de Lisboa, foram analisados vários corpos dos Mosteiro, com objetivo de procurar fissuras, juntas abertas, assim como se pretendia

analisar a verticalidade dos elementos estruturais, observar as deformações existentes e localizar de zonas de degradação. No desenrolar da inspeção foram encontradas pedras deterioradas, pilares com verticalidade afetada, juntas abertas, alvenarias degradadas e/ou a cair e ainda se verificou que algumas abobadas deixaram de fazer suporte e que representavam à data, apenas uma carga na estrutura. Ainda digno de menção é o facto de, neste estudo, terem sido detetados problemas relacionados com soluções desajustadas/impróprias em trabalhos relacionados a substituição de coberturas, patologias devidas à poluição produzida pela EN1/IC2, assim como se constaram assentamentos nas fundações, apontando-se como eventual origem da problemática a variação do nível freático. É de salientar que a estrutura sofreu dois dos maiores sismos ocorridos em Portugal, o estudo deixa algumas recomendações a serem adotadas futuramente, tais como o fechamento de juntas e a monitorização da estrutura (F. A. B. João José Rio Tinto de Azevedo, 1990).

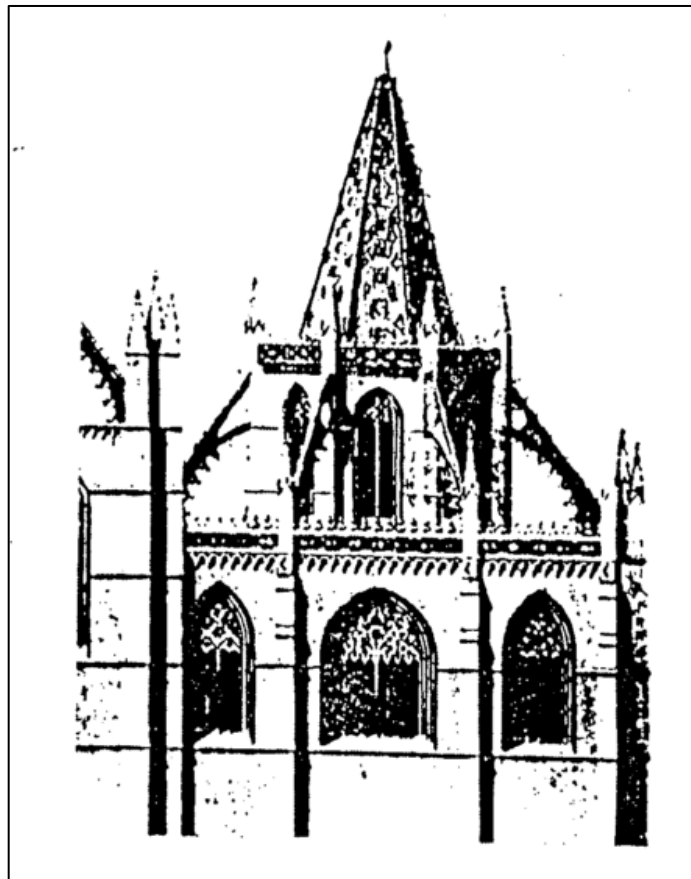


Figura 3 - Coruchéu da Capela do Fundador antes do sismo de 1755(F. A. B. João José Rio Tinto de Azevedo, 1990)

Também de relevo considerável, encontra-se um estudo recente, realizado numa dissertação de Mestrado, executada em 2015 por Flávio Vazão no Instituto Politécnico de Leiria, desenvolvida na esteira do estudo supra descrito mas focado apenas na Capela do Fundador. Aqui, o autor optou por levar a cabo uma avaliação de patologias e o seu mapeamento, através de inspeção visual e de ensaios não destrutivos³, para depois apresentar propostas de medidas de reparação e de manutenção, nas quais se enunciam programas de manutenção regular e intervenções pontuais que englobam limpezas, aplicação de químicos, tratamento de juntas, colagens, substituição de elementos pétreos e aplicação de hidrofugante, com vista a evitar a necessidade de intervenções futuras de maior amplitude.

Conclui a dissertação que existem diversas patologias na pedra e que existem pilares a abrir, tal como acontece com algumas juntas. Apresentam-se razões pelas quais existem determinadas patologias em todo o Mosteiro, aspeto em relação ao qual ressalta a fachada principal, a parte mais afetada no que diz respeito à qualidade da pedra e à presença de crostas negras, desagregação, pátina, vegetação, musgo seco, etc.

“O alçado oeste talvez por ser o menos abrigado e supostamente por estar mais exposto ao tráfego do IC2, é o que piores características na pedra apresenta. Neste sentido a construção da autoestrada A19 (também chamada de variante da Batalha), cujo objetivo foi desviar o excesso de trânsito do IC2 para diminuir a poluição e vibração adjacente ao Mosteiro da Batalha, não está a ter o impacto desejado.” (Vazão, 2015)

³Ensaios de Ultrassons, Termografia, Humidímetro, Esclerómetro e Varrimento Laser Scanning

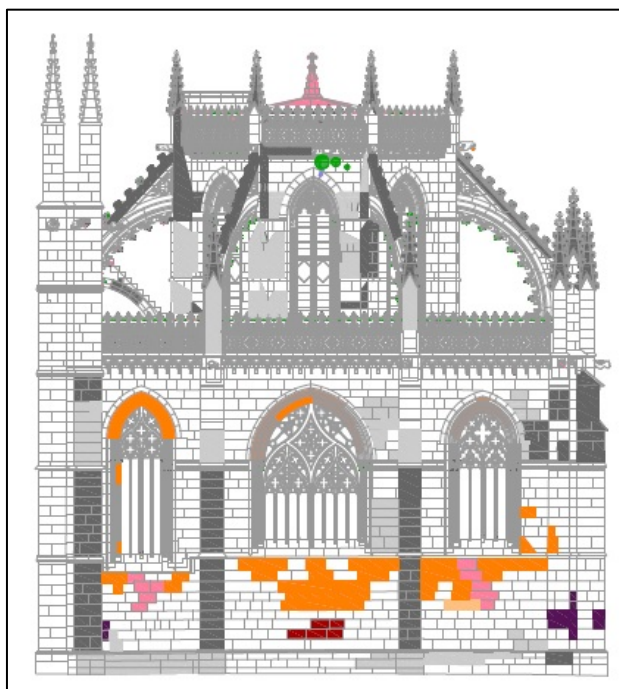


Figura 4 - Mapeamento das patologias no alçado Oeste da Capela do Fundador (Vazão, 2015)

Correlacionando os dois estudos descritos, é perceptível a importância de se desenvolver no terreno campanhas de manutenção do Mosteiro, dada a degradação observadas em algumas partes do Monumento e em especial, no exterior da capela do Fundador e na fachada principal orientada para o IC2. Note-se no entanto que a alteração da verticalidade dos pilares, tanto da Igreja como da Capela do Fundador, foi registada e analisada mas a sua causa exata não é clara, devido à longa existência do monumento e à atividade sísmica que resistiu.

2.3. Análise dos Níveis de Vibração Provocados pelo Tráfego Rodoviário

O Centro de Mecânica e Engenharia Estruturais da Universidade Técnica de Lisboa desenvolveu em 1989, a pedido do Instituto Português do Património Cultural um estudo que teve como objetivos nucleares o registo dos níveis de vibração devidos à passagem de tráfego no IC2 (antiga EN1) e a análise dos efeitos dessas mesmas vibrações.

O ponto de partida foram as medições feitas em vários pontos do Mosteiro (Figura 5), desde as 10h30 e as 17h30, as quais consistiram fundamentalmente em medições de

registo curto – correspondentes à passagem individual ou em grupo de vários pesados – e registo longo, de forma a determinar os valores máximos ao longo de um intervalo de tempo, para conseguir encontrar os valores de pico.

Para material de análise e processamento de sinal foram usados diversos equipamentos:

1. Unidade de aquisição de dados HP3852A;
2. Controlador micro-computador HP9000 série 300;
3. Unidade de medição de vibrações SMU31;
4. Registador x-t Yokogawa – Mod. 3031.

Ao analisar a velocidade das vibrações e tendo em conta que apresentavam com regularidade valores baixos, conclui-se que seria mais pertinente analisar apenas os deslocamentos provocados por essas vibrações. Nesse sentido, enquanto método de tratamento de dados foram usados os seguintes passos de cálculo:

1. Afetação do registo dum janela de Hanning;
2. Anulamento do valor médio do registo;
3. Filtragem *anti-aliasing* regulada para a frequência de Nyquist (10Hz);
4. Amaciamento das estimativas espectrais com semi banda de *smoothing* de 1 ponto.

Os técnicos envolvidos neste estudo concluíram ser possível afirmar que os deslocamentos medidos são de ordem de 1 a 2 μm no sentido perpendicular ao IC2 e de 0.5 a 1.5 μm no sentido paralelo IC2. Constatou-se também que os resultados eram de valor reduzido, nunca superiores a deslocamentos provocados por outras ações dinâmicas, tais como o vento ou microssismos, ou seja, as vibrações não causaram por si danos na estrutura (João José Rio Tinto de Azevedo, Jorge Miguel S. F. M. Proença, & Branco, 1989).

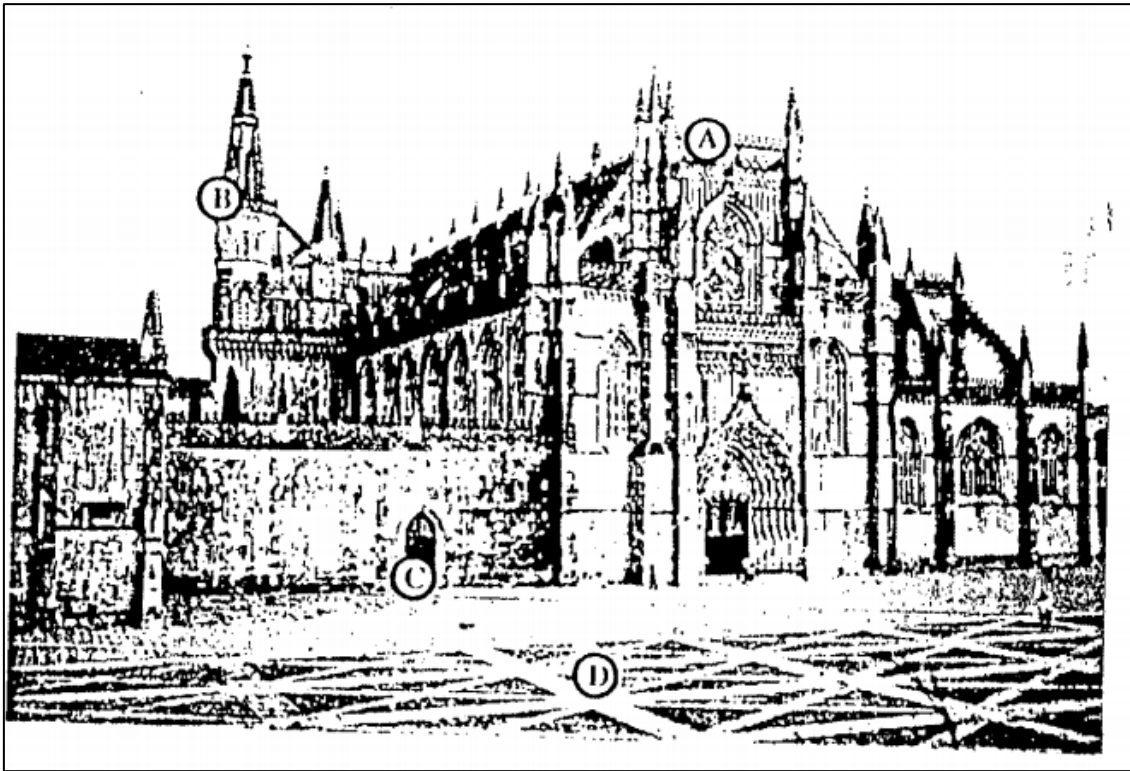


Figura 5 - Posições de medição de vibrações para o relatório (João José Rio Tinto de Azevedo et al., 1989)

2.4. Enquadramento Urbano do Mosteiro

Desde meados dos anos 80, o tráfego em frente à fachada principal do Mosteiro tem suscitado preocupações no seio de diversos organismos públicos e precisamente por esse motivo, foram desenvolvidos os estudos supra citados. Esta consciência de preservação do Mosteiro também se revela presente na população em geral e até junto dos *media*, que têm trazido a público a discussão em torno da questão da conservação de vários monumentos nacionais, nos quais se inclui o Mosteiro ao qual aqui nos dedicamos. É inegável que este tipo de destaque por parte dos *media* contribui não só para a sensibilização da opinião pública em relação a este assunto, como também no sentido de mover alguns órgãos da política nacional.

Em 2011 iniciou-se a circulação rodoviária na A19, estrada esta construída com objetivo de se apresentar como uma alternativa viável ao IC2/N1 e cujo projeto original pensou desde logo as entradas e saídas mais importantes voltadas para o Mosteiro – em São Jorge, Jardoeira e Azoia.

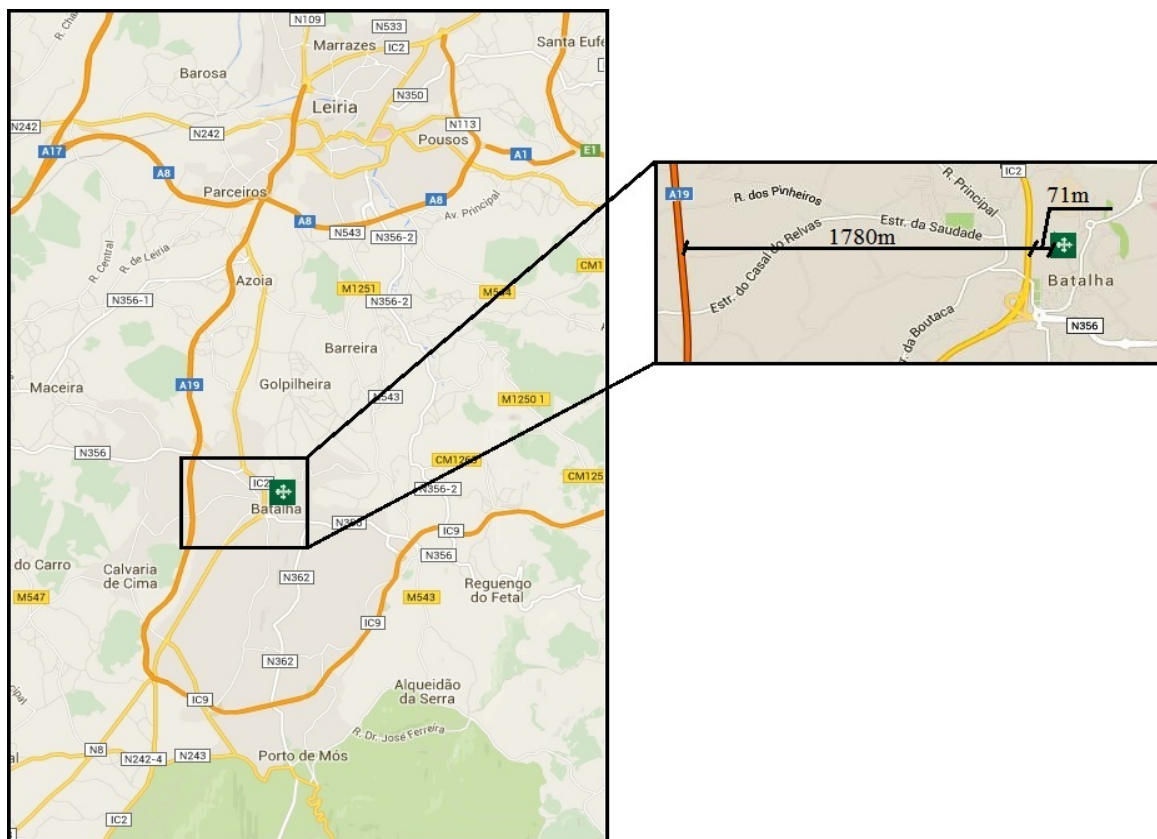


Figura 6 - Traçado do IC2 e da A19 (Maps, 2016)

Esta alternativa seria teoricamente vantajosa pois iria desviar grande parte do tráfego que tivesse como destino direto Leiria ou São Jorge. No entanto, e essencialmente devido à instalação de pórticos para cobrança de taxas de utilização, esta opção nunca teve a adesão esperada, nem tão pouco foi/é utilizada por um número significativo de utilizadores, não cumprindo assim a função para a qual foi pensada.

Comparando os dois percursos, conclui-se que o comprimento entre os dois pontos comuns, nos dois troços (São Jorge e Azoia), é aproximadamente igual (12,3Km pela A19 e 12,41Km pelo IC2); em relação ao limite de velocidade, o da na A19 é logicamente superior ao do IC2. Por estas e pelas demais razões, é possível concluir que o motivo pelo qual a autoestrada se vê praticamente sem utilizadores, sejam apenas as taxas de utilização.

Neste sentido, o partido ecologista “*Os Verdes*” e até a própria Câmara Municipal da Batalha, têm reunido esforços no sentido de pressionar as Instituições a abolir as taxas de utilização, tornado a circulação naquela via totalmente gratuita, em prole da preservação do Mosteiro da Batalha (Verdes, 2015).

O anterior presidente da CMB António Lucas disse à Agência Lusa que *"Um dos objetivos para a construção da A19 era precisamente o de desviar o trânsito da proximidade do Mosteiro da Batalha. Só que apenas circulam naquela via, porque é paga, algumas centenas de viaturas. Continuam, por isso, a passar junto ao mosteiro 40 mil veículos, sendo que desses oito mil são pesados"* (Lusa, 2013). No mesmo sentido se pronunciou o secretário de Estado da Cultura do governo XIX, Jorge Barreto Xavier, que reconheceu que as taxas são, de facto, o problema *"Há várias coisas a fazer, algumas têm a ver com tarifários e outras com coisas mais estruturais e complicadas. Procuraremos, nos próximos meses, ter propostas para trabalhar com a Câmara"* (Notícias, 2013).

O atual presidente da CMB, Paulo Baptista Santos, tem tido um papel importante no que respeita à questão da preservação do Mosteiro da Batalha, defendendo também ele a necessidade de pôr fim às referidas taxas *"A Batalha não reclama um tratamento de exceção no pagamento de portagens na A19, apenas reclama a aplicação nesta via, por razões ambientais e de preservação de um Património da Humanidade, do regime de modulação do valor das taxas de portagem em benefício, sobretudo, dos veículos pesados de mercadorias"* (Público, 2014).

Tal como já apontado, vários estudos constataam que o continuar da passagem de veículos, e em especial dos veículos pesados, as ações impostas e a poluição severa, continuam e continuarão a afetar o Mosteiro da Batalha.

2.5. Comentários finais

O Mosteiro da Batalha, enquanto estrutura milenar e de cunho bem marcado no País e no Mundo, assume uma relevância cultural, económica e até social.

Qualquer tipo de intervenção ao nível da reparação estrutural ou não estrutural pela qual o Mosteiro tenha de sofrer, impõem uma alteração à estrutura original e comportará custos importantes. Assim é importante a realização de estudos técnicos que permitam avaliar a evolução do efeito das vibrações sobre o mosteiro de forma a prever antecipadamente as necessidades de reparação e apoiar a tomada de decisão quando a futuras intervenções a nível urbano.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1. Normas de Avaliação da Vibração em estruturas existentes

Com o presente subcapítulo pretendemo-nos analisar, de forma breve, as várias normas nacionais e internacionais - nas quais se inserem não só normas europeias como também americanas, de forma a tentar compreender quais as mais atuais e as que mais presam pela segurança.

Tomando como ponto de partida as normas existentes em Portugal, estaremos em condições de analisar as normas europeias e para depois, a final, fazer referência a algumas normas americanas.

3.1.1. NP-2074 - Avaliação da Influência em Construções de Vibrações Provocadas por Explosões ou Solicitações Similares (2015)

A NP-2074 é a norma portuguesa que apresenta diretrizes no que a vibrações diz respeito. Precisamente por isso, contribuirá para este trabalho apenas em parte, visto que não possui toda a informação necessária para a avaliação das vibrações provenientes do IC2.

Esta norma é dedicada a vibrações impulsivas, o que pode também ser visto como um acontecimento pontual e por isso, é normalmente usada para vibrações causadas por vibrações que ocorram sem frequência.

As medições são feitas através de equipamento capaz de medir acelerações ou velocidades, sendo que no caso dos equipamentos que medem acelerações, será depois necessário integrar os valores de forma a obter as velocidades e comparar com a norma.

Para calcular o valor máximo está a expressão abaixo presente na norma:

$$v_L = \alpha \cdot \beta \cdot \gamma \cdot 10^{-2} \quad (\text{m/s}) \quad [1]$$

Os valores de α , β e γ estão dependentes do tipo de solo de fundação, do tipo de construção e também do número médio de solicitações.

Estes valores são expostos nas tabelas a baixo também presentes no documento analisado nesta subsecção:

Tabela 1 - Valores de α (Qualidade, 2015)

Características do terreno	α
Rochas e solos coerentes rijos	2
Solos coerentes muito duros, duros e de consistência média; solos incoerentes compactos; areias e misturas areia-seixo bem graduadas; areias uniformes	1
Solos incoerentes soltos, areias e misturas areia-seixo bem graduadas; areias uniformes; solos coerentes moles e muito moles	0.5

Tabela 2 - Valores de β (Qualidade, 2015)

Tipo de construção	β
Construções que exigem cuidados especiais	0.5
Construções correntes	1
Construções reforçadas	3

Tabela 3 - Valores de γ (Qualidade, 2015)

Número médio de solicitações	γ
<3	1
>3	0.7

De uma forma mais simples a norma pode ser exposta numa tabela para todas hipóteses possíveis:

Tabela 4 - Valores de velocidade de vibração de acordo com a norma NP2074 (Azevedo & Patrício)

V_L (mm/s) ► Tipo de solo ▼ Tipo de construção	Incoerentes soltos e coerentes moles	Incoerentes compactos e coerentes duros	Coerentes rijos
Sensíveis	1.75 – 2.5	3.5 - 5	7 - 10
Correntes	3.5 - 5	7 - 70	14 – 20
Reforçadas (de betão armado)	10.5 – 12.5	21 - 30	42 - 60

Reverendo a Tabela 4, é possível verificar que para um solo coerente compacto, o valor limite de velocidade situar-se-á entre os 3.5 mm/s e os 5 mm/s. Com a ajuda da expressão [1], o valor limite utilizado neste trabalho será mais concreto, visto que existem outros fatores além do tipo de solo que contribuem para o resultado da expressão.

3.1.2. Norma Alemã (DIN 4150) e Norma Italiana (UNI 9916)

As normas Alemã DIN 4150 e a Italiana UNI 9916 são bastante convergentes no que diz respeito aos limites máximos de vibração de curta e longa duração.

Nestas normas verifica-se a particularidade de os limites dependerem do tipo de edifício e da frequência da vibração, sendo que nos pontos mais altos o limite é fixo e independente da frequência (STRUTTURE, 2004).

Para vibrações permanentes, estas normas contemplam vibrações limites que apenas variam com o tipo de edifício. Os valores podem ser consultados nas tabelas abaixo:

Tabela 5 - Valores máximos de vibração de acordo com as normas DIN 4150 e UNI 9916 (Mateus, 2014)

Valores máximos de velocidade em mm/s	Danos estruturais para vibrações de curta duração			Danos estruturais para vibrações permanentes	
	Na fundação do edifício			Pontos altos	Toda a estrutura
	De 1 a 10 Hz	De 10 a 50 Hz	> 50Hz	Global	Global
Edifícios industriais e construções estruturalmente similares	20	20 (f=10Hz) a 40 (f=50Hz)	40 (f=50Hz) a 50 (f≥100Hz)	40	10
Edifícios residenciais e construções similares	5	5 (f=10Hz) a 15 (f=50Hz)	15 (f=50Hz) a 20 (f≥100Hz)	15	5
Edifícios sensíveis, como monumentos e outros edifícios históricos	3	3 (f=10Hz) a 8 (f=50Hz)	8 (f=50Hz) a 10 (f≥100Hz)	8	2.5

Através da leitura da Tabela 5, é possível verificar que em vibrações permanentes, o valor de velocidade que terá de ser tomado por referência neste trabalho será o de 2.5 mm/s, uma vez que é o valor referente a monumentos e pode ser aplicado a qualquer cota da estrutura.

Já o valor para vibrações de curta duração está dependente da frequência, mas como a gama de frequências se situará entre os 0.1Hz e os 40Hz, o intervalo de valores será entre 3 mm/s e 5 mm/s (Kouroussisa, Conti, & Verlinden, 2014).

3.1.3. Limites Usados em Estudos Americanos

Para analisar os limites usados nos Estados Unidos da América, foi tido em conta um estudo feito em estruturas históricas situadas no cemitério Cypress Lawn, sito na Califórnia.

As estruturas são de categoria semelhante à estrutura em estudo no presente trabalho e tal análise será oportunamente aqui explanada. No entanto surge aqui espaço para adiantar que foi usado como limite máximo para a velocidade de vibração o valor de 2.03mm/s, sendo este o valor mais conservativo usado em estruturas do género da analisada na presente dissertação (D'Avino et al., 2012).

Estão também presentes neste estudo os valores máximos admitidos por várias entidades, os quais servem de referência nos EUA. Tais valores estão explanados na Tabela 6 e revelam em que tipos de construção podem ser usados e quais os danos mais prováveis quando os limites são ultrapassados.

Tabela 6 - Valores máximos admitidos nos EUA segundo várias entidades (D'Avino et al., 2012)

Entidade	Origem da vibração	Tipos de estruturas	Possíveis tipos de danos	Limite de vibração (mm/s)
British Standards Institute (1993)	Todas (incluindo explosões)	Estruturas não reforçadas ou de estrutura leve	Estéticos	15.24 até 50.8 ⁴ (edifícios históricos podem necessitar de considerações especiais)
Sedovic (1984)	Todas	Edifícios históricos em bom estado de conservação	--	12.7
City of New York City (1988); Esrig and Ciancia (1981)	Explosões, cravação de estacas, tráfego	Estruturas que sejam designado Marcos da cidade de Nova Iorque, ou localizados dentro de uma zona histórica ou listadas no NHRP	--	12.7
Whiffin and Leonard (1971)	Tráfego	Edifícios com paredes e tetos em gesso	Danos arquitetónicos e risco de danos estruturais	10.16 até 15.24
Rudder (1978)	Tráfego	Todas as estruturas	Danos estruturais	10.16
City of Toronto (2008)	Todas (explosões não são mencionadas)	Todos os edifícios	--	7.62 até 25.4 ⁴ (limites inferiores podem ser identificadas pelo engenheiro)
Konon and Schuring (1985)	Todas (desde que sejam de curta duração)	Edifícios históricos	Estéticos	6.35 até 12,7 ⁴
Swiss Standards Association (1992)	Todas (explosões, equipamento de construção e tráfego)	Edifícios históricos e edifícios protegidos	--	5.08 até 12.7 ⁴
Federal Transit Administration (2006)	Todas	Edifícios de madeira sem projeto de engenharia e edifícios de alvenaria	--	5.08

Sedovic (1984)	Todas	Edifícios importantes a nível históricos e arquitetónico em estado deteriorado de manutenção	--	5.08
Whiffin and Leonard (1971)	Tráfego	Edifícios com paredes e tetos em gesso	Risco de danos arquitetónicos	5.08
Feilden (2003)	Todas	Todos os edifícios	Risco de danos estruturais	5.08
Rudder (1978)	Tráfego	Todas as estruturas	Possibilidade reduzida de danos	5.08
Konon and Schuring (1985)	Todas com curso estável	Edifícios históricos	Estéticos	3.3 até 6.35 ⁴
Deutsches Institut für Normung DIN 4150-3 (1999)	Todas	Edifícios de grande valor intrínseco	Efeitos permanentes que reduzem a qualidade do edifício	3.05 até 10.16 ⁴
Federal Transit Administration (2006)	Todas	Edifícios extremamente sensíveis a vibrações	--	3.05
American Association of State Highway and Transportation Officials (2004)	Todas	Locais históricos e outros locais críticos	Limite para fendas estéticas	3.05
Esteves (1978)	Explosões	Edifícios históricos com cuidados especiais	--	2.54 até 10.16 ⁵
Rudder (1978)	Tráfego	Todas as estruturas	Risco de danos estruturais	2.54
Whiffin and Leonard (1971)	Tráfego	Edifícios com paredes e tetos em gesso	Praticamente nenhum risco de danos arquitetónicos	2.54
Feilden (2003)	Todas	Todos os edifícios	Limite para fendas no gesso	2.03
Whiffin and Leonard (1971)	Tráfego	Ruínas e monumentos antigos	--	2.03

3.1.4. NBR 9653 – Guia para Avaliação dos Efeitos Provocados Pelo Uso de Explosivos na Minerações em Áreas Urbanas (2005)

Nesta norma brasileira, são especificados limites de vibração para vibrações pontuais. A norma NBR 9653 apresenta valores semelhantes às normas Alemã DIN 4150 e a Italiana UNI 9916, mas apenas para ações pontuais e generalizando para todos os tipos de estruturas, não contemplando ações contínuas.

Estes limites, podem ser apresentados pelo gráfico da Figura 7 abaixo:

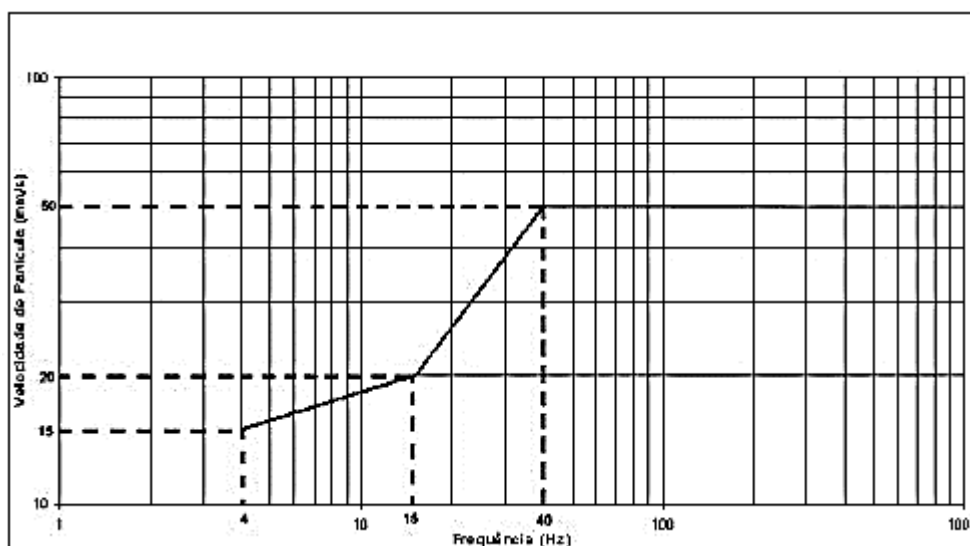


Figura 7 - Representação gráfica dos limites de velocidade de vibração de partícula de pico por faixas de frequência (Técnicas, 2005)

Em que se retira que a velocidade de vibração de pico nas frequências de 4 Hz a 15 Hz, iniciando em 15 m/s, aumenta linearmente até 20 m/s. De 15 Hz a 40 Hz o limite fixa-se de 20 m/s e aumenta linearmente até 50 m/s. Acima de 40 Hz a velocidade máxima de vibração não pode ser nunca superior 50 m/s para qualquer que seja a frequência (Técnicas, 2005).

3.2. Estudos Semelhantes

Tendo como objetivo uma análise dos trabalhos semelhantes ao que se pretende realizar para identificação dos métodos de medição adotados e de análise de resultados, procedeu-se à revisão de vários trabalhos desenvolvidos na área, em Portugal e no estrangeiro. Desta forma foi possível ter noção da diferença entre valores limite e também a diferença da própria utilização das normas em função de cada estrutura, bem como os métodos de colocação, utilização do equipamento e medidas a aplicar em caso de as medições ultrapassarem o valor máximo limite.

Ao longo deste estudo foi também verificado que este tipo de projetos é essencialmente desenvolvido para a monitorização de edifícios para qualquer tipo de situação e para qualquer tipo de fonte de vibração.

3.2.1. Cemitério Cypress Lawn – Arco da Entrada e Mausóleo de la Montanya – Califórnia – EUA (2012)

Com a construção da nova linha de metro para o Aeroporto Internacional de São Francisco, foi necessário monitorizar dois dos mais antigos e mais importantes monumentos antigos do cemitério: o Arco da entrada (Figura 8) e o Mausóleo de la Montanya (Figura 9).

As maiores vibrações impostas nestas estruturas foram originadas pela execução de paredes abaixo da cota de solo, com uma mistura de solo-cimento, assim como o foram motivadas pelas escavações operadas ou ainda, dado o reaproveitamento de elementos cravados e movimentação de maquinaria.

Para monitorizar as duas estruturas, colocou-se um sismógrafo na base de cada uma, programando-se nesse momento um alarme sonoro ao qual acresciam luzes de aviso, para que existisse uma forma de alertar quando os valores máximos admitidos fossem ultrapassados, permitindo assim que os trabalhadores fizessem ajustes no seu projeto.

Segundo os técnicos, o limite máximo de velocidade de vibração adotado seria 2.03mm/s, de acordo com as normas, tendo ainda em conta que as estruturas podem ser

consideradas monumentos antigos, apesar de se apresentarem em bom estado de conservação.



Figura 8 - Arco da Entrada do Cemitério Cypress Lawn (D'Avino et al., 2012)

Durante as atividades de medição, foram medidas vibrações máximas de 3.3mm/s no Arco da Entrada. Apesar de este valor ser superior ao máximo estabelecido inicialmente, não foram encontrados danos na estrutura.

Já em relação ao Mausoléu de James de la Montanya (Figura 9) diga-se que, dado ser uma estrutura de grande importância e de igual fragilidade, por opção do engenheiro responsável, foram aplicadas escoras no seu interior, de forma a que fosse possível acrescentar resistência para o aumento de vibração, evitando assim danos no Mausoléu. Nesta estrutura foram medidas velocidades superiores a 2.03 mm/s, causados pela passagem de uma pequena máquina de rastros a 4.5m do Mausoléu e não foram verificados danos (D'Avino et al., 2012).



Figura 9 - Mausoléu de James de la Montanya no Cemitério Cypress Lawn (D'Avino et al., 2012)

No final das obras, a direção do cemitério processou em tribunal o empreiteiro por danos no Mausoléu, os quais foram mais tarde avaliados e comparados com fotografias obtidas antes das obras, resultando claro que tais danos já existiam antes de se dar início das obras.

3.2.2. Fort Point – São Francisco – EUA (2012)

Numa avaliação à Golden Gate Bridge conclui-se que esta entraria em colapso caso fosse sujeita a um sismo de magnitude igual ou superior a 8. Nesse sentido, decidiu-se que a ponte devia ser melhorada mas de forma a garantir que o Forte (Figura 11) não era afetado, impunha-se a necessidade de monitorizar.

Como método de monitorização utilizaram-se dois sismógrafos colocados, um no exterior e outro no interior do Forte (Figura 11) na zona mais próxima da ponte. Pensou-se que assim seria possível apurar a diferença entre as vibrações no exterior e no interior do dito Forte.

Em complemento ao estudo, o técnico responsável pela medição teve também a tarefa de inquirir os utilizadores de edifícios vizinhos, procurando saber se os trabalhos na ponte também estavam de alguma forma a afetar as estruturas nas proximidades.

De forma a obter sucesso neste estudo, foram tomados em conta dois limites máximos de velocidade de vibração: 2.54 mm/s para atividades continuadas e 25.4 mm/s para eventos pontoais, uma vez que o Forte é uma estrutura histórica de alvenaria, construída em 1854.

O valor mais alto registado foi de 4.32 mm/s na cravação de estacas prancha, pelo que não existiram, nesta ótica, preocupações em relação ao Forte.

Foram medidas por igual as vibrações resultantes de furações e de escavações de novas fundações para as torres mas nenhuma destas atividades verificou velocidades de vibração superiores a 2.29 mm/s (D'Avino et al., 2012).



Figura 10 - Interior do Fort Point (D'Avino et al., 2012)



Figura 11 - Exterior do Fort Point (D'Avino et al., 2012)

3.2.3. Mosteiro de Santa Clara a Velha – Coimbra – Portugal (2014)

Neste trabalho foram estudadas as vibrações ambientes na estrutura numa primeira fase provocadas pelo trânsito, pelos visitantes no interior, por uma fonte de percussão e emissão de som no interior do Mosteiro. Na segunda fase as vibrações medidas tiveram origem de um concerto a 170 m do Mosteiro e do fogo-de-artifício lançado a 400m do monumento.

Para fazer as medições, foram usados vários equipamentos, tais como, um analisador portátil (Symphonie - 01dB) em conjunto com um computador para aquisição e tratamento de dados, acelerómetros do tipo ICP (PCB Piezotronics 352B) e um sonómetro integrador (Solo Premium - 01dB, com microfone MCE212 e pré-amplificador PRE21S). Já com o objetivo de simular o ruído no interior do Mosteiro lançou-se mão de uma fonte sonora omnidirecional dodecaédrica de ruído aéreo (DO12 – 01dB; ML 800 – INTER; RD10 – 01dB).

Em relação a níveis máximos de vibração foram os impostos pelas normas DIN 4150 e UNI 9916, para edificações sensíveis referidos no capítulo (Mateus, 2014).

Em todos os cenários constatou-se que não havia lugar a quaisquer perigos originados pelas vibrações ambientais, que ficaram a 10% e (vibração de longa duração) e 9% (vibração de curta duração) do valor máximo limite para cada uma destas duas categorias.

Cumprе realçar que apenas foram referidas algumas medidas de segurança, de como é exemplo a sugestão deixada no sentido de alterar o sistema de som do Mosteiro, substituindo o atual por um com frequências baixas e sem subgraves. Foi também recomendado que se deixasse de usar cargas explosivas superiores às usadas na data do ensaio (Mateus & Pereira, 2014).



Figura 12 - Mosteiro de Santa Clara a Velha (Mateus & Pereira, 2014)

3.2.4. Forte de Santo António da Barra – Salvador – Brasil (2014)

Ainda em português, não poderíamos deixar de nos debruçar sobre o projeto desenvolvido em Salvador, no qual foram avaliados os efeitos do desfile de carnaval no Forte de Santo António da Barra.

Nas medições foram usados acelerómetros triaxiais, acelerómetros monoaxiais e acelerómetros sísmicos nas posições que, segundo os técnicos envolvidos, seriam as mais afetadas.



Figura 13 - Indicação, em planta, da disposição dos equipamentos no interior da fortificação (Muñoz, Magalhães, Cafezeiro, & Oliveira, 2014)

Ao analisar os resultados segundo norma alemã DIN 4150, verifica-se que apenas em alguns locais do Forte os valores de vibração são superiores aos máximos admissíveis. Porém, é referido que nos locais onde esses valores são ultrapassados, existe o risco de danificar os elementos do Museu Náutico, presentes em vitrinas, e causar o dano e/ou colapso de alguns elementos do forte (Muñoz et al., 2014).



Figura 14 - Forte de Santo António da Barra (Muñoz et al., 2014)

3.2.5. Avaliação da Transmissão de Vibração Num Edifício Existente (2010)

Nesta dissertação foi avaliada a adequabilidade da Base Naval do Alfeite como escola de Tecnologias Navais, após o encerramento da Escola da Marinha de Vila Franca de Xira.

Para esse efeito, foi estudado o comportamento das vibrações provenientes do ruído e da utilização do edifício, para assim saber se a estrutura poderia ter um bom comportamento com o aumento de alunos vindos de Vila Franca de Xira.



Figura 15 - Base Naval do Alfeite

Numa primeira fase foram postos acelerómetros na base dos equipamentos que impusessem mais vibrações no edifício. Estes equipamentos foram testados em Vila Franca de Xira, na escola que fechou, de forma a apurar se poderiam ser utilizados na nova escola. Numa segunda fase foi usada uma máquina de precursão para replicar as vibrações registadas na primeira fase.

No final, concluiu-se que algumas das máquinas a mudar para a Base Naval do Alfeite iriam despoletar situações de desconforto, visto que as frequências a que estas máquinas operam iriam gerar vibração perceptível no edifício.

É ainda feita referência ao facto de que numa sala específica, qualquer máquina nas oficinas iria provocar desconforto (T. M. d. O. Silva, 2010).



Figura 16 - Exemplo de um dos equipamentos analisados (T. M. d. O. Silva, 2010)

3.3. Comentários Finais

No final deste capítulo importa avaliar os valores mais apropriados para levar a cabo o estudo central deste trabalho, o qual é especificamente voltado para ações pontuais e tendo em conta a norma NP-2074, assim como os dados referentes ao solo, tipo de construção e número de solicitações por dia.

Partindo então da expressão [1] e também dos valores indicados para o caso em estudo, temos que:

$\alpha=1$ (solo coerentes compactos)

$\beta=0.5$ (construções que exigem cuidados especiais)

$\gamma=0.7$ (mais do que três solicitações em média)

$$v_L = 1 * 0.5 * 0.7 * 10^{-2} = 0.0035m/s = 3.5mm/s$$

Para as ações contínuas, o valor máximo de velocidade a ser usado neste trabalho terá de se situar em 2.5 mm/s, estando de acordo com a tabela baseada nas normas italiana UNI-9916 e alemã DIN-4150. Este valor máximo de velocidade é válido para qualquer ponta da estrutura e a qualquer cota de altura.

Em relação aos trabalhos semelhantes sucintamente apresentados neste capítulo, verificamos que apenas é possível seguir as normas; no entanto, surgirão de certo situações onde os limites definidos podem ser adaptados, tendo em conta o estado da estrutura.

Cumpra ainda ressaltar que, ao analisar as estruturas em tempo real, é possível parar qualquer atividade que esteja a decorrer e aplicar as medidas de segurança e de reforço imprescindíveis à não ocorrência de danos. Esta vantagem é importantíssima pois não é possível prevenir os danos que possam resultar de qualquer atividade que emita vibrações.

Outra função deste tipo de estudos consiste na possibilidade de avaliar a mudança de funções de um edifício, sem que essas funções estejam a ser executadas fiquem comprometidas; ou seja, é possível saber se um edifício tem capacidade de incluir nas suas funções certos tipos de atividades e/ou equipamentos (BSi, 1993).

4. ANÁLISE DAS VIBRAÇÕES AMBIENTAIS SOBRE A ESTRUTURA

4.1. Introdução

No presente Capítulo são apresentadas as medições de acelerações (e velocidades) que foram efetuadas na estrutura, bem como o equipamento empregado em tal atividade, assim como a sua comparação com valores limite.

Inicialmente, pretende-se questionar a possível amplificação da vibração com a altura e desenvolvimento do Mosteiro; posteriormente, será escolhida a posição com maiores efeitos de vibração, para que nela seja colocado o equipamento de medição para campanhas mais extensas.

Será levado ainda a cabo um estudo de avaliação do comportamento das vibrações no pátio da entrada principal do Mosteiro, para perceber a perda de energia das vibrações enquanto estas se deslocam pelo solo.

No final, serão analisadas as medições na fachada do Mosteiro e comparados os seus resultados com os valores constantes das normas.

4.2. Análise de Amplificação

Dada a necessidade de perceber o comportamento das vibrações desde a sua origem (IC2) até ao Mosteiro de Santa Maria da Vitória, este subcapítulo será composto por dois estudos diferentes: um, em que se estuda a amplificação das vibrações apenas na estrutura, de forma a perceber o seu comportamento e com o objetivo de escolher as posições de medida das vibrações, descritas mais à frente neste trabalho; outro, consistirá exclusivamente na análise do pátio da entrada principal, para avaliar o comportamento das vibrações e a dissipação da energia no solo.

4.2.1. Estudo 1 - Análise de Amplificação Estrutura

Inicialmente é fundamental identificar qual seria o melhor local para posicionar o sismógrafo de forma a concretizar medições mais longas. Assim, foi necessário saber onde se verificava maior vibração. Precisamente por esse motivo, foram utilizados dois sismógrafos, e a análise consistiu em colocar um deles na base do Mosteiro (fixo) enquanto um outro (móvel) era colocado em várias localizações, alternáveis. Os sismógrafos foram então programados para que as medidas fossem executadas ao mesmo tempo, permitindo assim a sua comparação direta para as mesmas ações ambientais (ver Figura 17).

Em seguida será analisado os registos adquiridos entre a fonte (IC2) e a fachada principal do Mosteiro, conseguindo desta forma uma imagem mais completa do comportamento das vibrações.

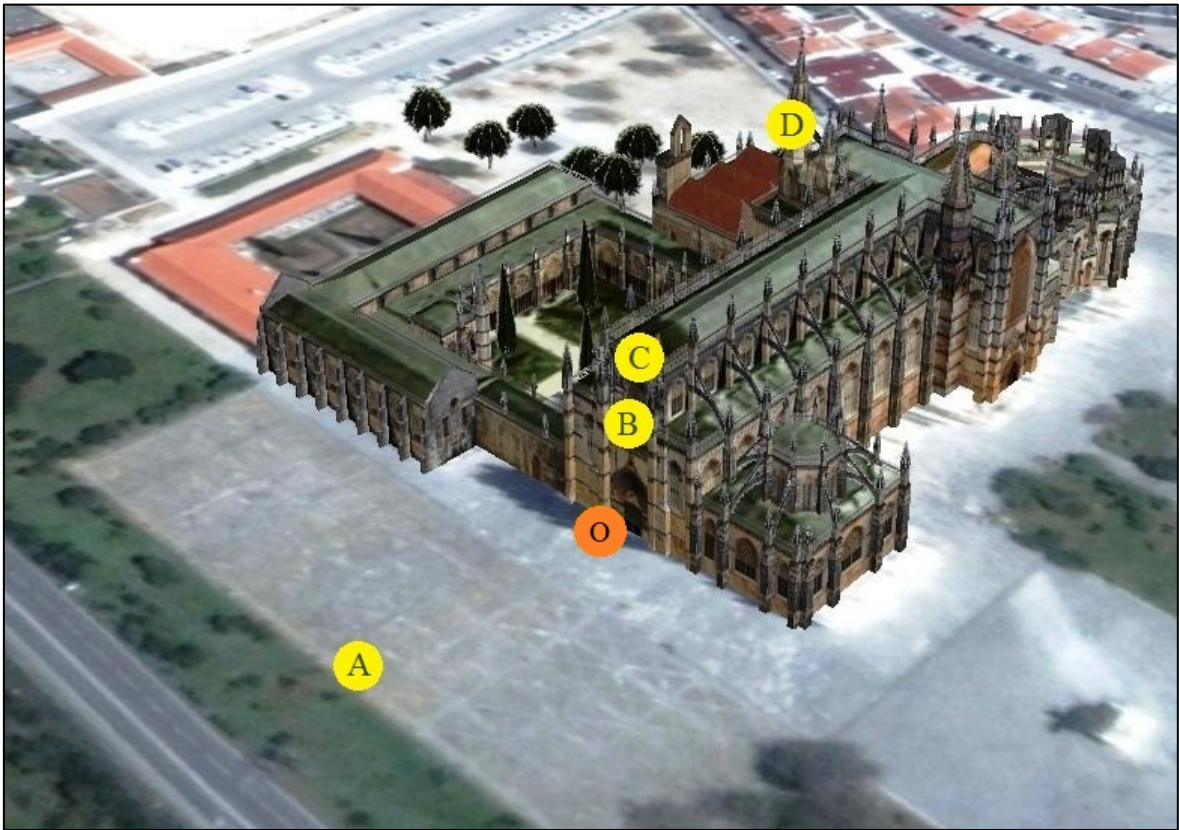


Figura 17 - Posições dos sismógrafos para avaliação da amplificação

O sismógrafo S1 foi colocado na posição O, sendo a sua posição fixa durante todas as medições. O sismógrafo S2 foi colocado em cada um dos outros pontos (A, B C e D) assinalados na Figura 17, sincronizado com S1 e efetuando medições de 15 min em cada posição. Nas Figura 18 à Figura 22 mostra-se o equipamento nos diversos locais de medida.



Figura 18 - Sismógrafo na posição O



Figura 19 - Sismógrafo na posição A



Figura 20 - Sismógrafo na posição B



Figura 21 - Sismógrafo na posição C



Figura 22 - Sismógrafo na posição D

Para a escolha das posições foram tidas em conta várias razões:

1. Sendo o ponto A o mais próximo da principal fonte de vibração, este foi escolhido para que se tivesse uma noção dos valores de vibração emitidos e que seriam em princípio os maiores valores medidos.
2. O ponto O seria o ponto de “cota zero”, ou seja, seria aquele que mediria as vibrações na base da estrutura e seria a estação fixa que serviria de base de comparação com todos os outros pontos.
3. A posição B foi escolhida por estar na fachada principal e por estar o mais aproximado possível da metade do pé direito do mosteiro.

4. O local C é o sítio mais alto da fachada do mosteiro, o que permitiu fazer a comparação com os outros dois pontos da fachada, esclarecendo o modo como é o comportamento das vibrações em relação com a altura do edifício.
5. O ponto D localizado na torre do relógio foi medido apenas para ter uma noção do seu comportamento, visto que aparenta pela sua geometria ser um elemento menos rígido.

Estas posições são bastante semelhantes às escolhidas no estudo referido na subsecção 2.3, pelo que, os resultados e conclusões obtidas neste trabalho podem ser comparados com o estudo feito em 1989, sabendo assim, se houve algum aumento das vibrações impostas no Mosteiro da Batalha desde a mencionada data até aos dias de hoje.

4.2.2. Estudo 2 - Análise de Amplificação da Capela do Fundador

Por a Capela do Fundador ser um elemento do Mosteiro de Santa Maria da Vitória que sofreu bastantes danos durante o sismo de 1755, foi feita uma avaliação à amplificação das vibrações, para se avaliarem possíveis fragilidades, visto que de acordo com a restante estrutura não será de esperar que exista já que a estrutura é natureza bastante rígida.

Foram colocados dois sismógrafos em medições simultâneas, sendo um deles de posição fixa e outro móvel de acordo com a Figura 23.

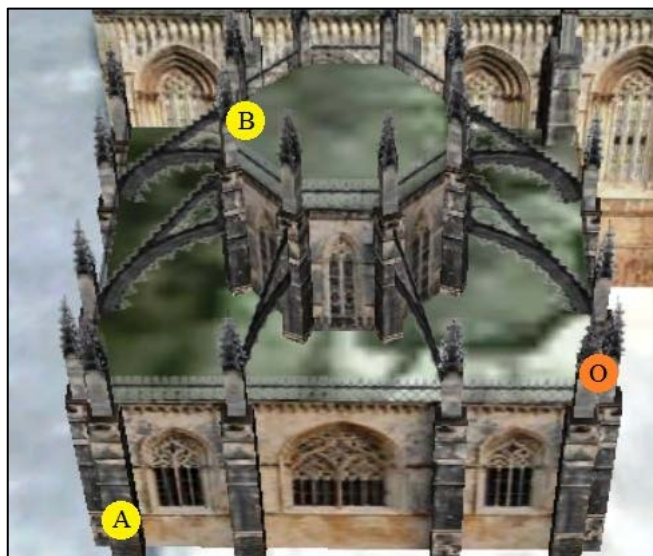


Figura 23 - Posições dos Sismógrafos

As medições consistiram em colocar um sismógrafo no ponto O sempre fixo e outro sismógrafo na posição A durante dez minutos e de pois na posição B durante outros dez minutos. Estes pontos foram escolhidos, pois são três pontos em três cotas diferentes e a análise das vibrações em cada um destes pontos possibilitará saber se as velocidades e acelerações sofrem um aumento ou uma diminuição à medida que se deslocam pela estrutura. É de referir que se admite que a estrutura se comporta da mesma forma para pontos com mesmas cotas e por isso se admite também que as acelerações e as velocidades medida em outros pontos com a mesma cota em zz mas com valores diferentes de xx e yy serão as mesmas.

4.2.3. Equipamento utilizado

Para a execução destas dois estudos foram utilizados dois sismógrafos da marca GEOSIG, modelo GSR18, equipamento que permite desenvolver medições contínuas, as quais se programam de forma a que o sismógrafo possa ser autónomo, não sendo portanto necessário que o operador esteja presente para iniciar cada medição.

Os dados foram medidos com uma taxa de amostragem de 250Hz e armazenados no cartão de memória de 120Mb.

Uma vez que o sismógrafo guarda dez segundos antes do início estabelecido e dez segundos depois do final da medição, é possível obter medições de cada intervalo de tempo. De referir ainda que para comunicar com os sismógrafos e para o tratar dados, foi usado o *software* GeoDAS 2.27(Ltd, 2014), fornecido pelo fabricante do equipamento.



Figura 24 - Sismógrafo utilizado

4.2.4. Análise das Vibrações na superfície do solo, desde o IC2 até à Fachada do Mosteiro

Foi ainda analisado o comportamento das ondas entre o IC2 e a fachada do Mosteiro, uma vez que se verifica uma acentuada diferença entre os valores de velocidade de vibração entre os dois pontos. Para o efeito, colocaram-se acelerómetros em vários pontos intermédios.

Esta avaliação consistiu em colocar um sistema de acelerómetros bidirecional (Figura 30), que permitiu medir as acelerações em X e em Y, permitindo-nos desta forma estudar o seu comportamento.



Figura 25 - Equipamento de tratamento de sinal



Figura 26 - *Setup* de medição nº5

Foram feitas seis medições em que em todas elas existia um grupo de acelerómetros fixo e outro que era movido aproximando-se dez metros do Mosteiro a cada medição, no ultimo evento ficou a cinco metros e trinta centímetros da fachada por ser a ultima medição.

Na Figura 27 estão dispostas as posições de medição utilizadas sendo o ponto “R” o local onde estava o grupo de acelerómetros fixos que serviu de referência para os cálculos.



Figura 27 - Localização dos acelerómetros

Durante as medições foi possível acompanhar o comportamento das vibrações em tempo real (Figura 28) e observar a grande diferença entre valores dos dois grupos de acelerómetros.

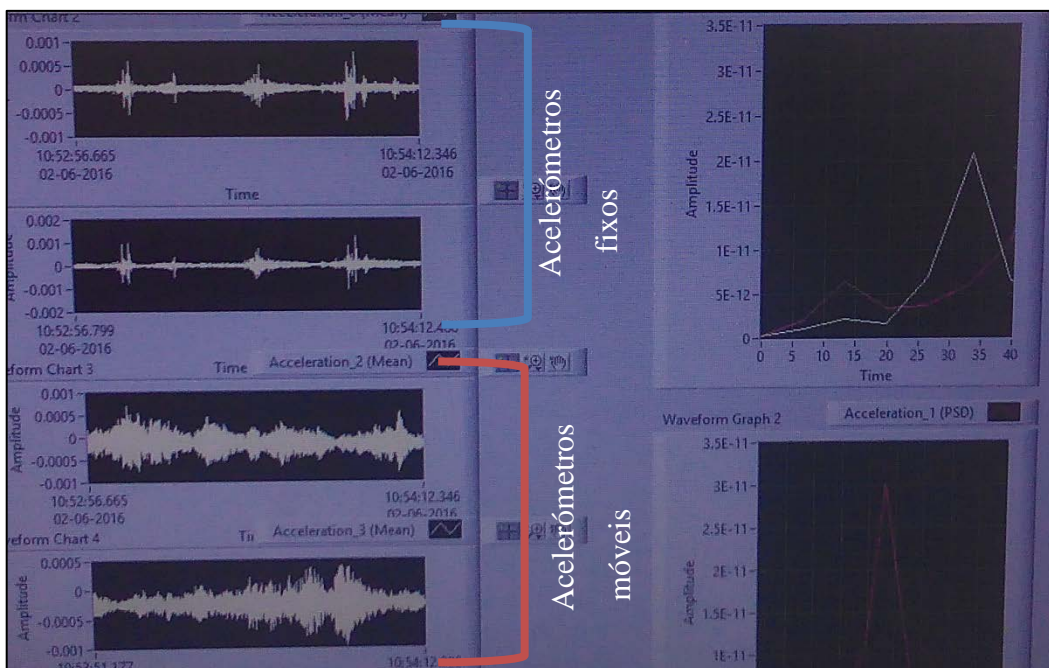


Figura 28 - Valores observados em tempo real durante a medição

4.3. Equipamento Utilizado

4.3.1. Estudo 1 e Estudo 2

Para a execução desta avaliação foram usados sismógrafos da marca GEOSIG, modelo GSR18, equipamento que permite desenvolver medições contínuas, as quais se programam de forma a que o sismógrafo possa ser autónomo, não sendo portanto necessário que o operador esteja presente para iniciar cada medição.

Os dados foram medidos com uma taxa de amostragem de 250Hz e armazenados no cartão de memória de 120Mb.

Uma vez que o sismógrafo guarda dez segundos antes do início estabelecido e dez segundos depois do final da medição, é possível obter medições de cada intervalo de tempo. De referir ainda que para comunicar com os sismógrafos e para o tratar dados, foi usado o *software* GeoDAS 2.27, fornecido pelo fabricante do equipamento.



Figura 29 - Sismógrafo utilizado

4.3.1. Estudo 3

No estudo para avaliação do comportamento das vibrações ao longo do pátio entre o IC2 e a fachada principal do Mosteiro da Batalha foram usados acelerómetros da marca PCB Piezotronics, modelo 393B31, com sensibilidade 9.85V/g e nível de polarização 10.9V com

capacidade de medição apenas numa direção, estes acelerómetros foram fixados aos pares com parafusos em dois cubos fazendo assim medições na direção paralela e perpendicular ao IC2.



Figura 30 - Sistema de acelerómetros bidimensional

Para comunicação entre o computador e os acelerómetros foi usada uma placa de aquisição com oito canais, resolução de 24 bits.

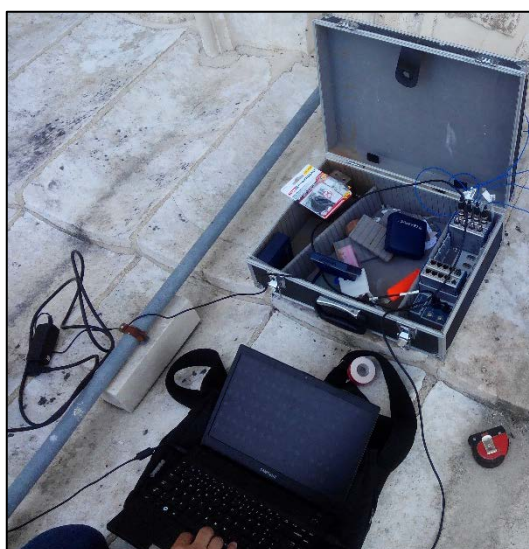


Figura 31 - Placa de comunicação e computador para processamento dos sinais

4.4. Análise de Resultados

4.4.1. Estudo 1 - Análise de Amplificação na Estrutura

Concluídas as medições cujo procedimento foi descrito acima, estão presentes agora as condições de analisar os dados obtidos, através do *software* GeoDAS 2.27.

Os valores foram avaliados tanto em acelerações como de velocidades. Tais análises permitem apurar em qual posição, dentro do leque das escolhidas, as vibrações tendem a ser mais agressivas sobre a estrutura. Sabendo o local mais afetado, é possível focar atenções nessa posição, o que resulta inevitavelmente num melhor aproveitamento dos recursos sejam eles equipamentos ou pessoas (BSi, 1990).

4.4.1.1. Análise de Acelerações

Para começar a análise é necessário aceder ao *software* GeoDAS 2.27 para obter o sinal não tratado das medições e para se poder proceder à sua análise.

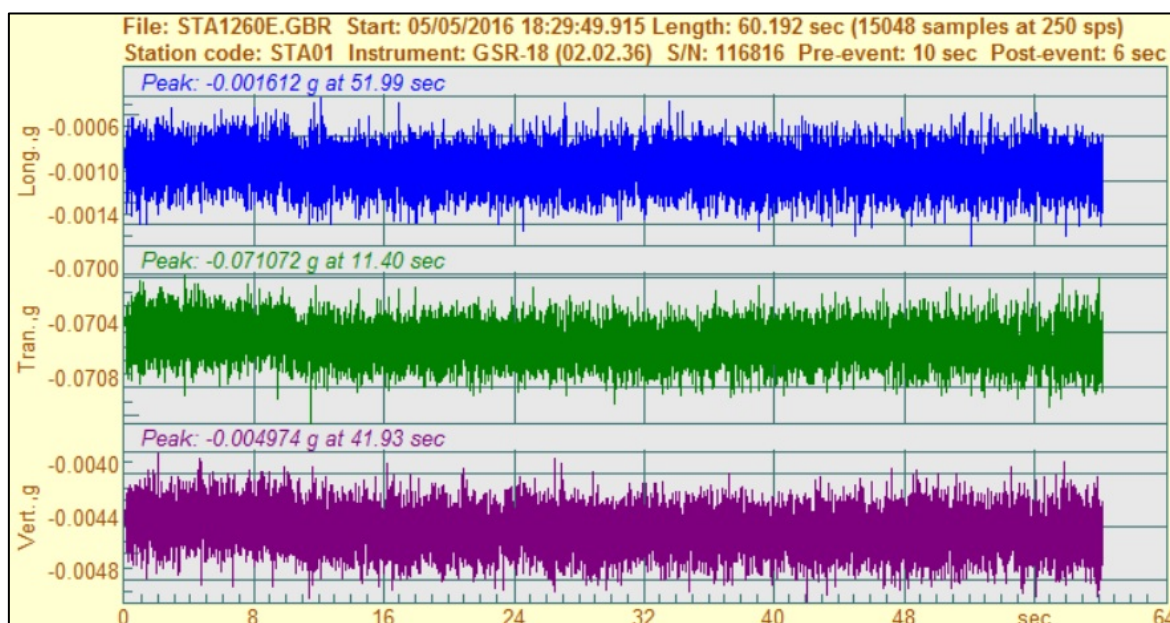


Figura 32 - Sinal original em aceleração (sem filtros)

De seguida foi feito o tratamento do sinal que consistiu em 2 passos de cálculo:

1. *Baseline* – Subtração do valor inicial a todos os outros valores
2. *Bandpass 0.1Hz-40Hz* – Seleção dos valores com frequências entre 0.1Hz e 40Hz

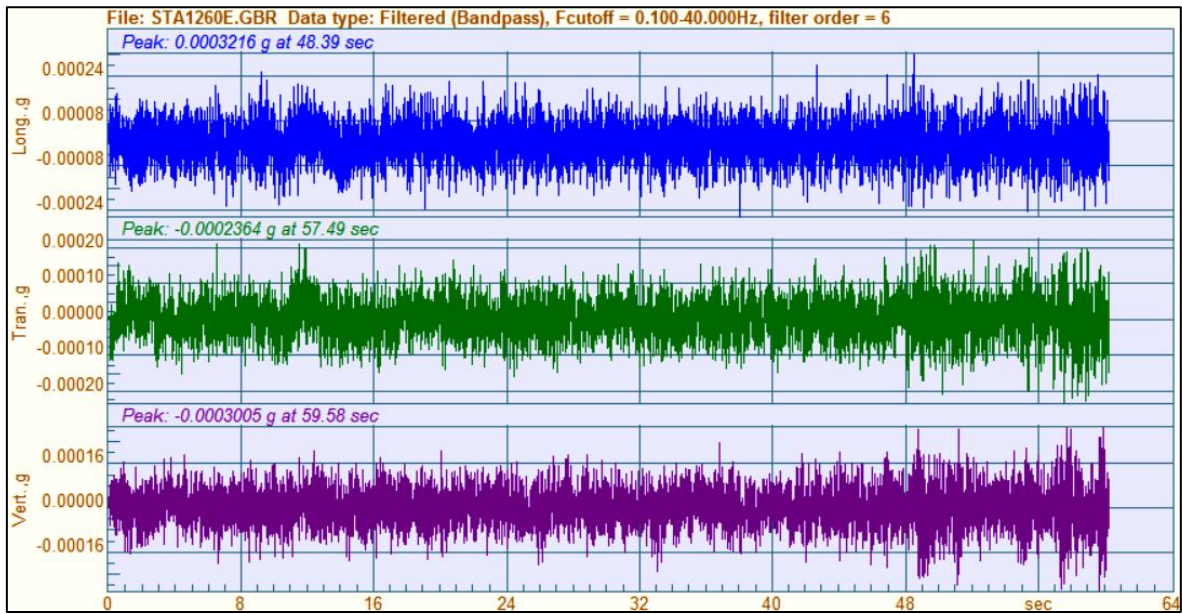


Figura 33 - Sinal tratado de aceleração (com baseline, bandpass)

Depois de aplicar os filtros acima mencionados, revelou-se necessário transformar os valores nas três direções ortogonais (expressão [2]) num vetor, de forma a simplificar a análise (T. M. d. O. Silva, 2010).

$$\vec{v} = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} \quad [2]$$

Sendo:

\vec{v} – vetor velocidade

v_x – componente da velocidade em xx

v_y - componente da velocidade em yy

v_z - componente da velocidade em zz

Aplicando então o filtro *Vector sum*, obteve-se o espectro na imagem abaixo:

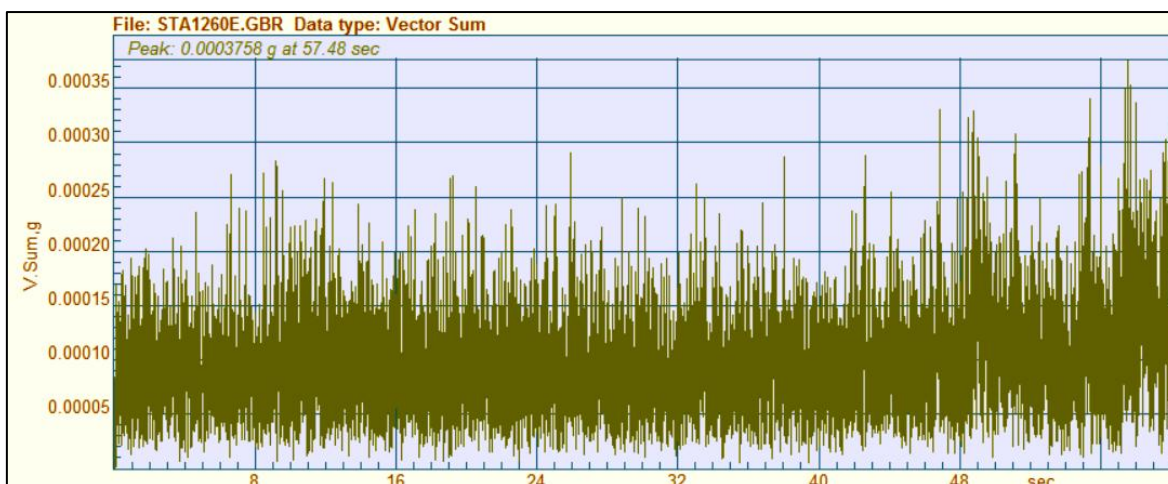


Figura 34 - Vetor do sinal aceleração (através do passo de cálculo *Vector sum*)

Tratando todos os sinais das posições referidas na Figura 17, procedeu-se à elaboração de um gráfico de comparação entre o sismógrafo de posição fixa (S1) e o sismógrafo móvel (S2).

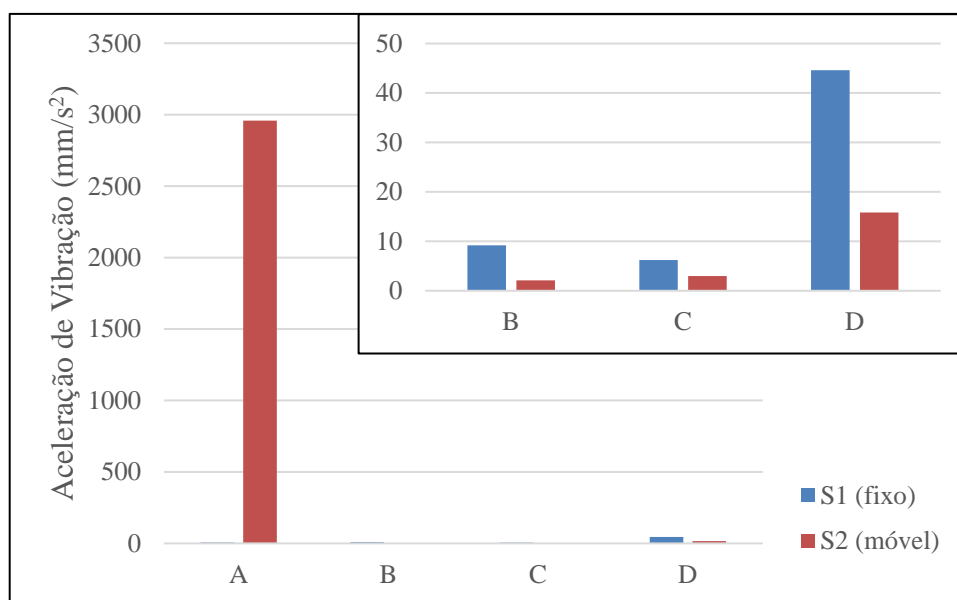


Figura 35 - Gráfico representativo da análise de amplificação na estrutura com acelerações

Como mostra a Figura 35, numa avaliação global, a única posição do sismógrafo S2 que tem valor superior ao sismógrafo S1 é a posição A. Esta posição não faz parte do edifício, mas sim da fonte da vibração, motivo pelo qual não se revela em condições para que seja a posição escolhida.

No Mosteiro, verifica-se que as vibrações medidas na base pelo sismógrafo S1 são sempre superiores às vibrações do sismógrafo S2, podendo assim ser afirmado que no que diz respeito a esta análise de sinal, a posição a medir mais à frente neste trabalho será sempre na base da fachada.

4.4.1.2. Análise de Velocidades

Do *software* foi tirado o ficheiro de sinal não tratado, esta imagem mostra a medição em bruto feita pelo sismógrafo.

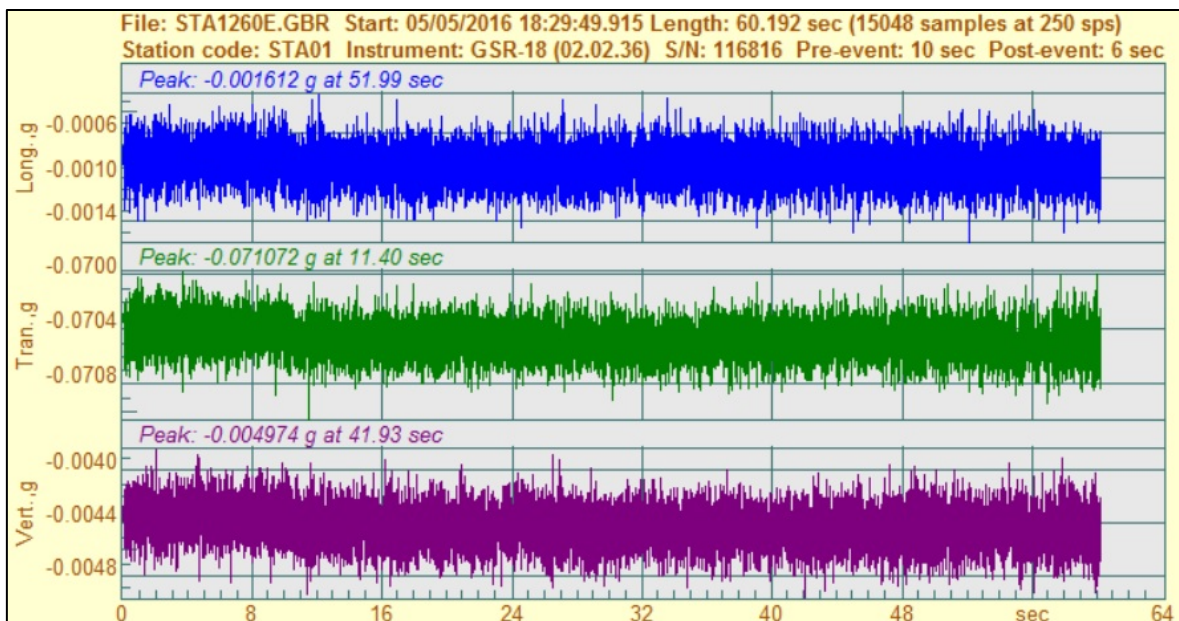


Figura 36 - Sinal original em aceleração (sem filtros)

De seguida foi feito o tratamento do sinal que consistiu em 3 etapas:

1. *Baseline* – Subtração do valor inicial a todos os outros valores
2. *Bandpass 0.1Hz-40Hz* – Seleção dos valores com frequências entre 0.1Hz e 40Hz
3. *Integration* – Integração dos valores passando de G/s^2 (aceleração) para G/s (velocidade)

Aplicados estes filtros aos valores medidos, os resultados apresentam-se como no exemplo abaixo na Figura 37:

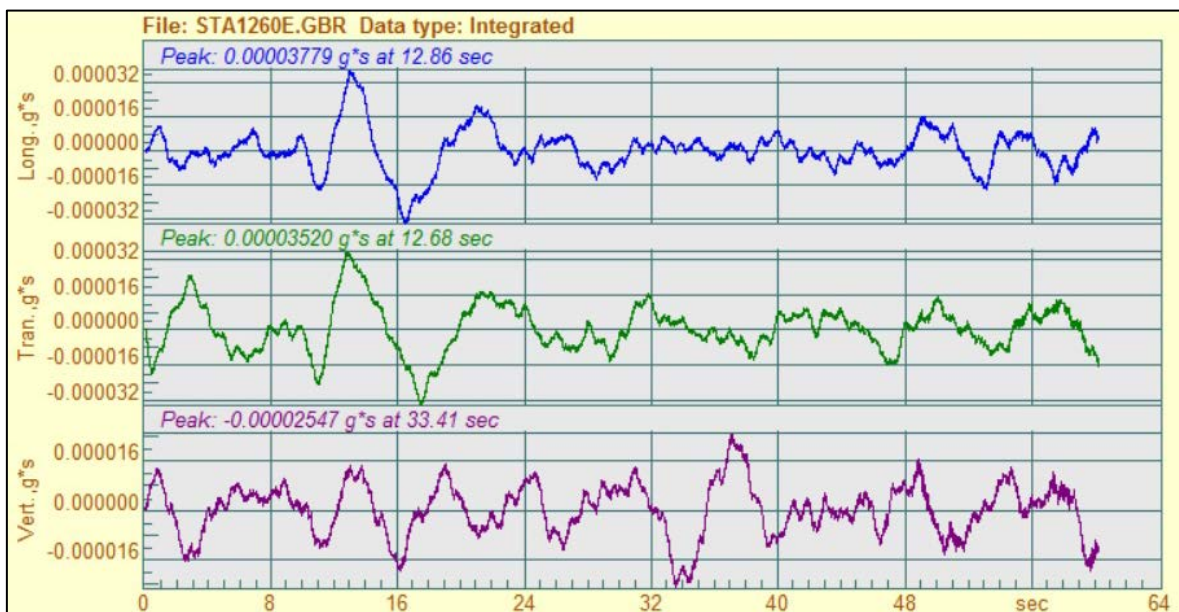


Figura 37 - Sinal tratado em velocidade (com *baseline*, *bandpass* e *integration*)

Para simplificar os valores obtidos nas coordenadas x, y e z foi aplicado o filtro *Vector sum* que transforma as três coordenadas num vetor (Figura 38) de acordo com a expressão [2], sendo esse depois o valor usado para comparação com a norma.

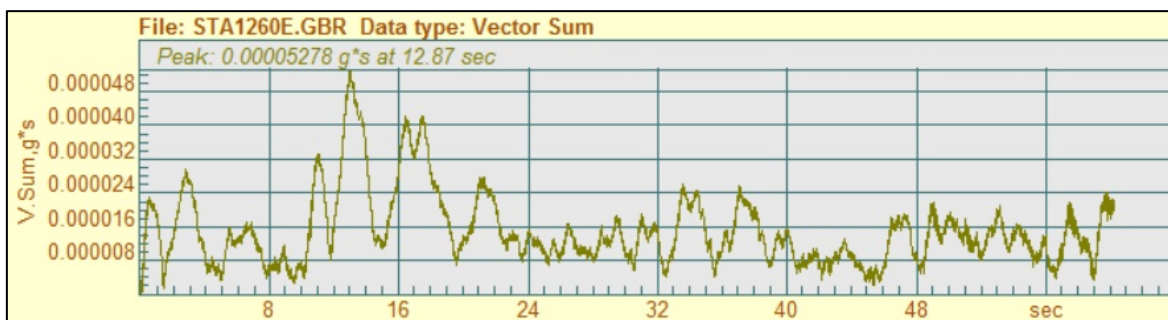


Figura 38 - Vetor do sinal velocidade (através do passo de cálculo *Vector sum*)

Após terem sido retirados todos os valores em forma de vetores, estes foram convertidos de g/s para mm/s, já que os valores da norma estão apresentados nessa grandeza.

Retirando os valores dos vetores das amostras dos sismógrafos S1 e S2, criou-se um gráfico para que se tivesse uma noção das alterações na vibração nas várias posições.

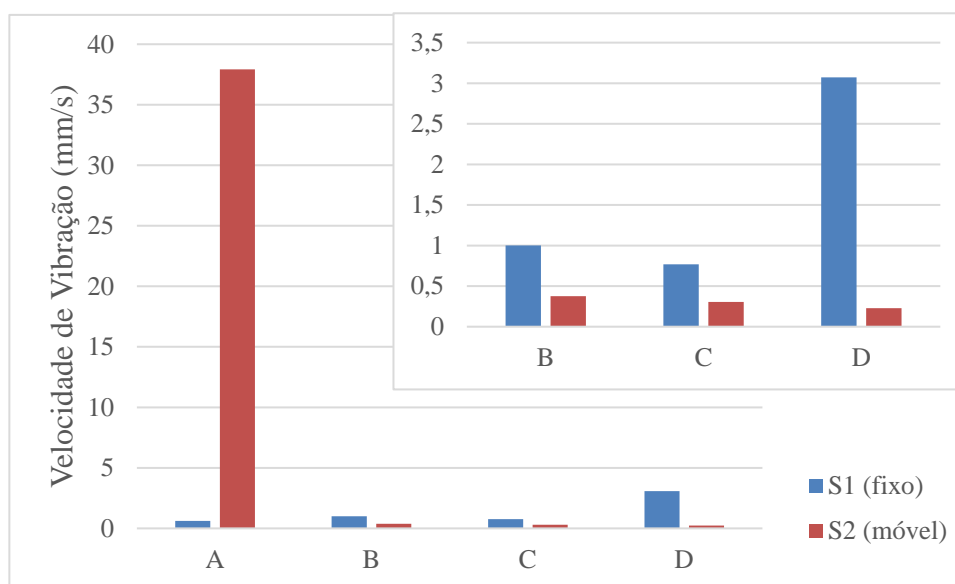


Figura 39 - Gráfico representativo da análise de amplificação na estrutura com velocidades

Analisando os dados obtidos, é possível verificar que só na posição A as vibrações medidas pelo sismógrafo S1 são superiores a S2. No entanto, uma vez que este local não pertence ao Mosteiro e representar apenas uma referência para os valores de vibração inicial da fonte, este não será o ponto de medição.

Entre os restantes pontos, aquele que tem maiores valores de vibração é o ponto B onde está o sismógrafo S1. Neste sentido, e tendo em especial consideração o facto do tempo de realização deste trabalho ser limitado, esta posição será o centro de todas medições, visto que os valores regulamentares serão mais facilmente atingidos onde a vibração é maior.

4.4.2. Estudo 2 - Análise de Amplificação da Capela do Fundador

O tratamento dos dados foi em grande parte semelhante ao usado na secção 4.4.1, diferenciando-se apenas no intervalo de frequências selecionado, visto que na capela do fundador existem vitrais de grande dimensão e que possivelmente terão frequências superiores.

Pode-se então tomar em consideração para o tratamento dos dados os seguintes passos de cálculo no *software* GeoDAS 2.27:

1. *Baseline* – Subtração do valor inicial a todos os outros valores
2. *Bandpass 0.1Hz-60Hz* – Seleção dos valores com frequências entre 0.1Hz e 60Hz
3. *Integration* – Integração dos valores passando de g/s^2 (aceleração) para g/s (velocidade)
4. *Vector sum* – Transforma as três coordenadas x, y e z num único vetor

O passo número três só é usado para obter valores de velocidade, quando o objetivo é obter apenas acelerações, não é considerado.

Depois destes passos de cálculo obtêm-se do software os seguintes sinais dos vetores de aceleração e velocidade:

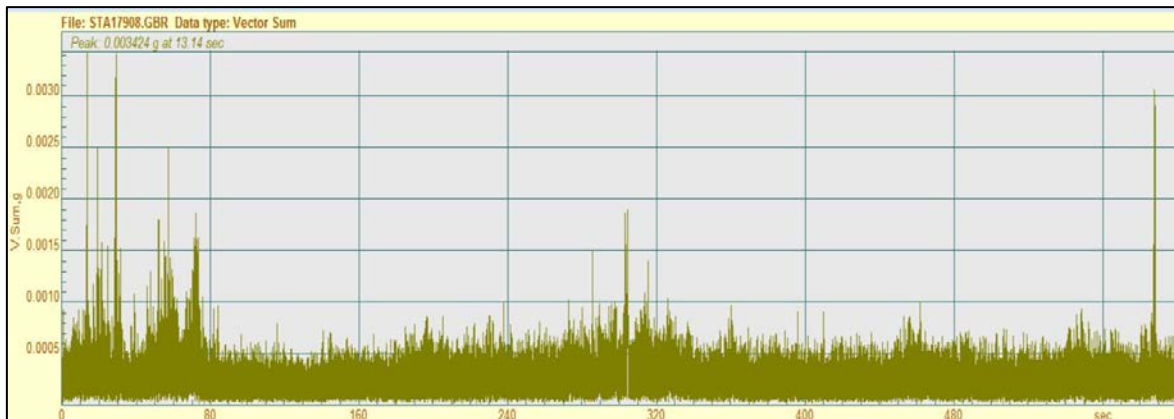


Figura 40 - Vetor aceleração da posição 9

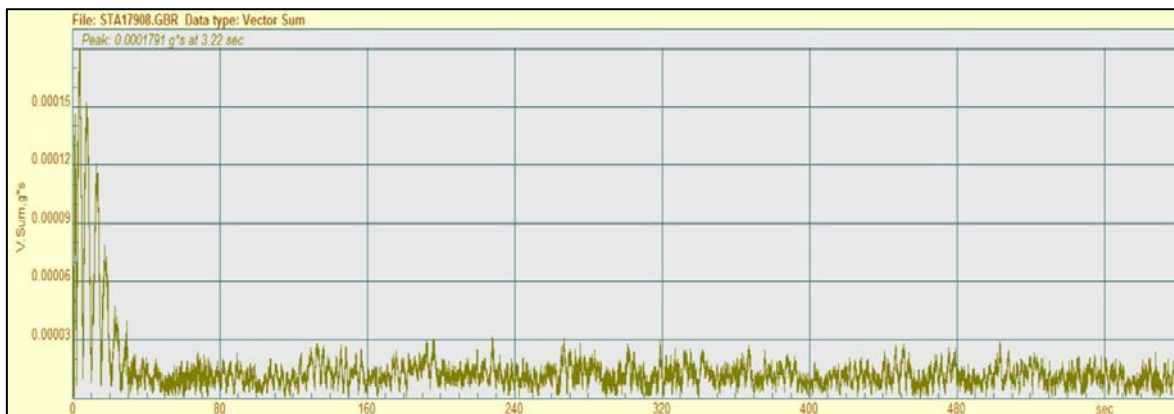


Figura 41 - Vetor velocidade da posição 9

Com os valores de aceleração e velocidade pode-se avaliar o comportamento das vibrações na Capela do Fundador através nos gráficos abaixo:

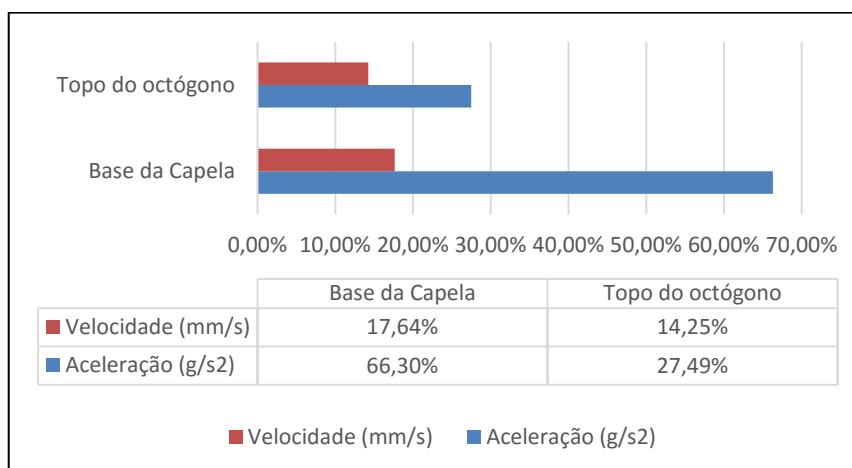


Figura 42 - Comparação de valores de velocidade e aceleração

Pela análise da Figura 42 conclui-se que os valores de aceleração e velocidade na base da Capela do Fundador e no topo do Octógono são superiores aos valores medidos no telhado intermédio. Ou seja, existe uma atenuação das vibrações até metade da altura da capela do fundador que depois dá lugar a uma amplificação no Octógono.

Este aumento da vibração no Octógono pode significar a existência de uma fragilidade tendo em conta que este sofre um colapso da sua cobertura em 1755 que depois foi reconstruída de forma mais modesta reduzindo o peso.

Apesar de várias intervenções de restauro no século XX a capela do Fundador apresenta algumas fissuras no topo dos vitrais do Octógono o que poderá explicar os resultados obtidos pelas medições em análise nesta subsecção.

O valor máximo de velocidade medido no topo do Octógono, foi de 1.76 mm/s, este valor está abaixo do valor limite de 2.5mm/s que apesar de não ter sido ultrapassado está bastante próximo da norma e é até superior ao medido na base sendo este 1.56 mm/s,

4.4.1. Estudo 3 - Análise das Vibrações na superfície do solo, desde o IC2 até à Fachada do Mosteiro

Todos os sinais recolhidos, foram analisados na sua componente de velocidade, para analisar os dados do estudo do comportamento das vibrações no pátio e de forma a trabalhar com o mesmo tipo de unidades em toda a subsecção 4.4.

Concluídos os trabalhos de medição, os dados recolhidos foram analisados com o *software* SeismoSignal 5.1.0 (SeismoSoft, 2013), programa no qual foram aplicados os seguintes passos de cálculo:

1. *Baseline* – Subtração do valor inicial a todos os outros valores
2. *Bandpass 0.1Hz-40Hz* – Seleção dos valores com frequências entre 0.1Hz e 40Hzn

Após a análise de todas as medições com o *software*, foram retiradas as velocidades para serem comparadas em gráficos. Abaixo estão exemplos das comparações em X e Y das vibrações:

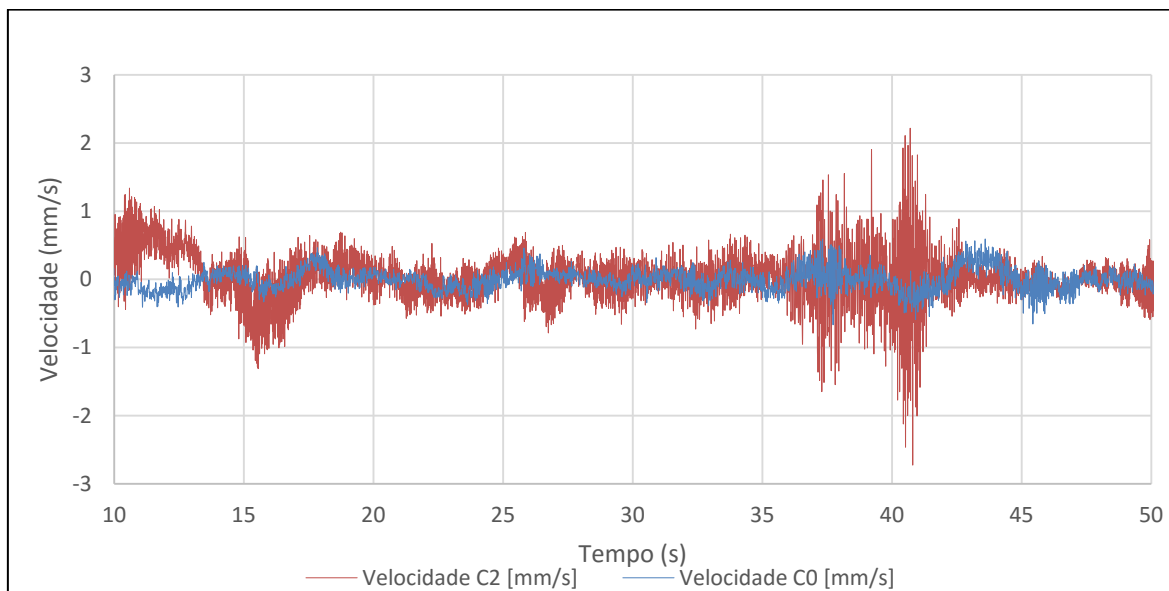


Figura 43 - Setup 1 - Direção X

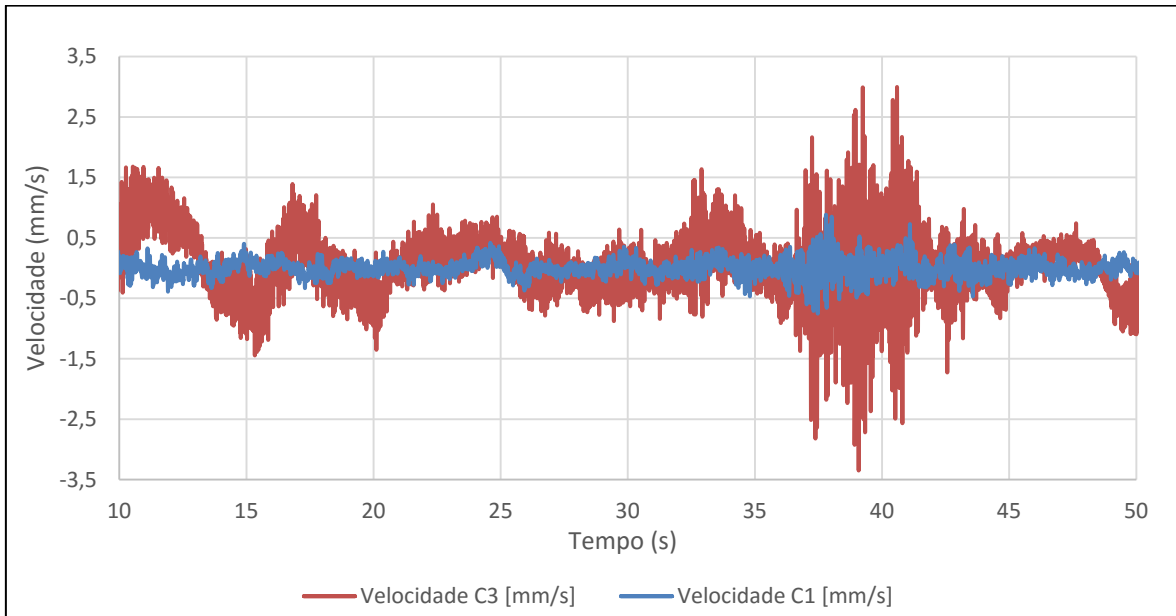


Figura 44 - Setup 1 - Direção Y

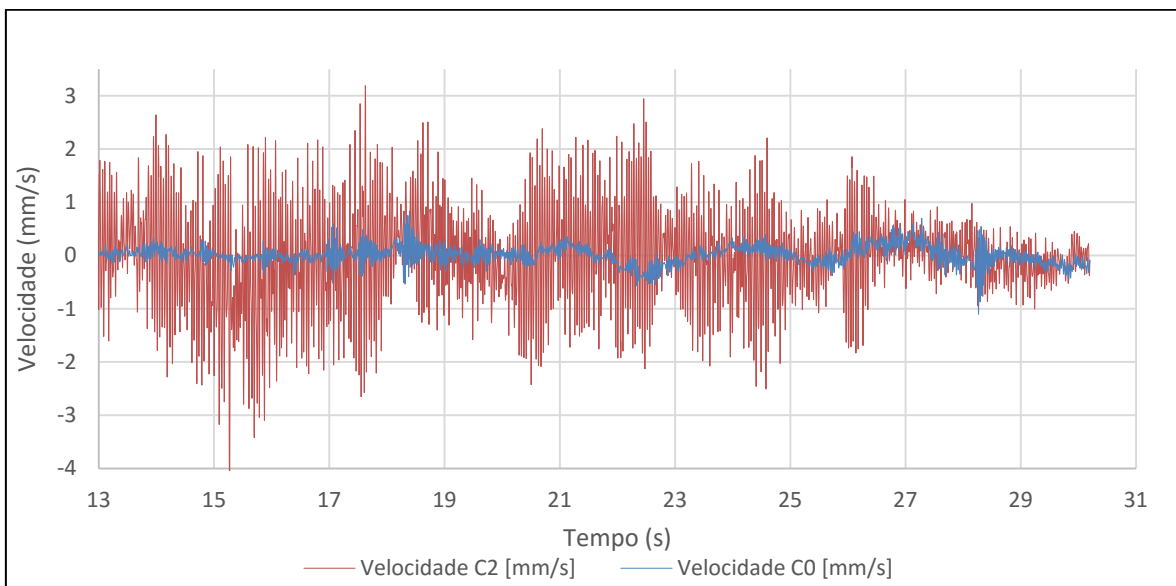


Figura 45 - Setup 2 - Direção X

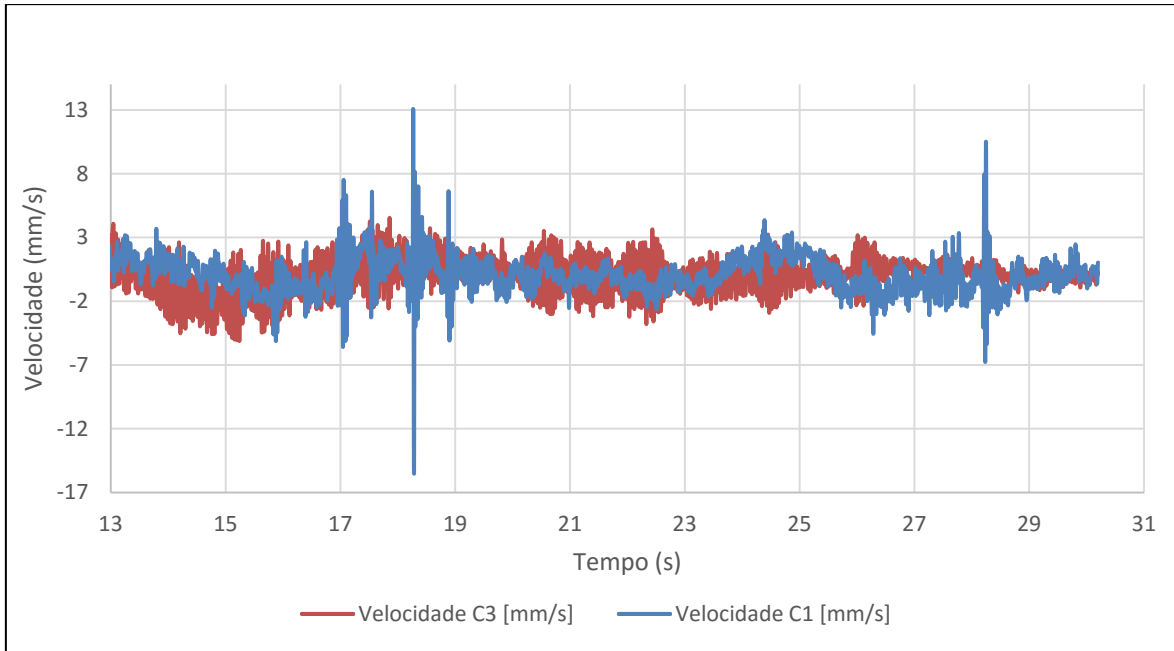


Figura 46 - Setup 2 - Direção Y

Analisando todas as medições foi criado um gráfico (Figura 47) para ilustrar o amortecimento em toda a frente do Mosteiro desde a fachada principal até ao jardim próximo do IC2. Este gráfico mostra cada *Setup* com o valor em percentagem da vibração em relação ao sistema de referência na fachada e a distância a que o grupo móvel está.

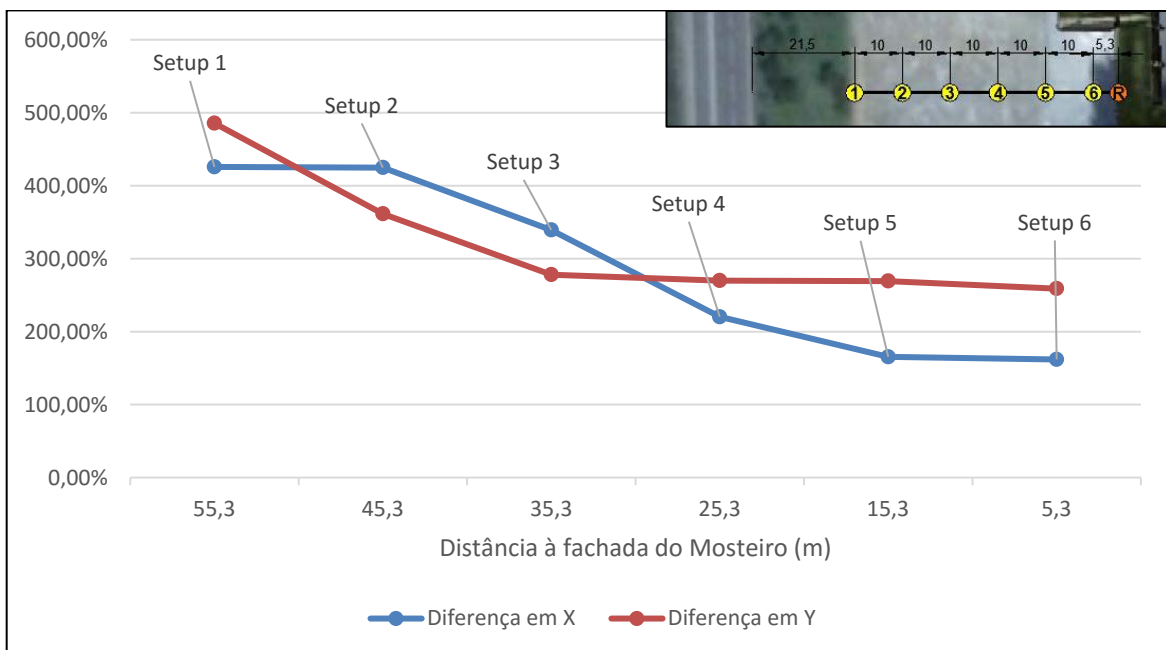


Figura 47 - Variação da velocidade em função da distância à fachada do Mosteiro

Analisando o gráfico acima apresentado, é possível verificar que a velocidade retirada na posição mais próxima do IC2 (55.3m) é quase 485% em Y e 425% em X, quando comparada com a velocidade retirada do grupo de referência. Já no momento em que é medido a apenas 5.3 metros da fachada, a vibração é 260% em Y e 160% em X.

Em suma, da análise deste estudo simplificado, pode verificar-se que desde o IC2 até à fachada do Mosteiro da Batalha, as ondas se atenuam, reduzindo assim de forma significativa este efeito. Tal atenuação é relacionável com essencialmente dois fatores: a geometria do terreno e a dissipação de energia, devida às propriedades do solo (BSi, 1993; Soares, 2009).

As ondas com maior frequência atenuam-se mais rapidamente e, desse modo, só as frequências mais baixas atingem a fachada devido à compactação do solo entre o IC2 e o Mosteiro (Azevedo & Patrício).

4.5. Análise das Velocidades Máximas na Base da Estrutura

Para a análise das vibrações no mosteiro foi colocado um sismógrafo durante vários dias em dois locais diferentes na fachada do edifício, com base nos estudos realizados e já apresentados. O objetivo de tal opção seria minimizar os erros provocados por possíveis defeitos na base da estrutura, suscetíveis de alterar os valores.

Os locais escolhidos foram o Museu dos Combatentes (I) e a Capela do Fundador (II), representados na Figura 48. Aqui, optou-se pelas posições mais próximas possíveis da fachada - note-se que a estrada está a aproximadamente 70m a Oeste - e que simultaneamente, não estivessem ao alcance dos visitantes, evitando assim distúrbios no equipamento.

No total, foram sete dias de medições que resultaram em trezentos e oitenta e dois eventos. Tais medições consistem em amostras de sessenta segundos, registadas a cada quinze minutos, o que perfaz quatro medições por hora.

Através da análise destas amostras, é possível apurar as velocidades de vibração em qualquer altura do dia, fornecendo assim informações sobre os intervalos de tempo que se revelam mais críticos.



Figura 48 – Localização dos sismógrafos na base do Mosteiro da Batalha

No interior do Mosteiro, foram escolhidas as seguintes posições, tendo em conta que a opção se prendeu com o facto de serem, de entre as possíveis, as mais discretas e as mais próximas da fachada:



Figura 49 - Posição I

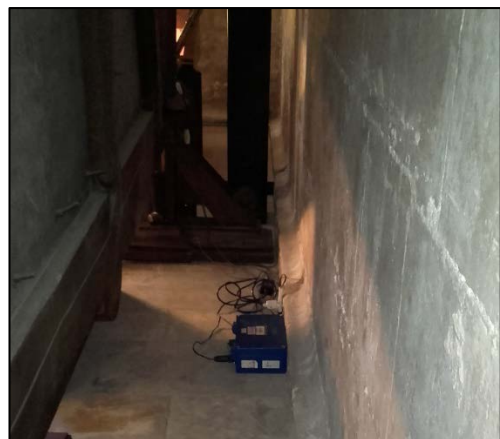


Figura 50 - Sismógrafo na posição I



Figura 51 - Posição II



Figura 52- Sismógrafo na posição II

4.6. Análise de Resultados

Depois de feita a campanha de medições, os dados foram analisado através do *software* GeoDAS 2.27, sendo o procedimento igual ao descrito na subsecção 4.2.2, no qual se utilizaram os sinais originais e aplicaram os quatro passos de cálculo:

1. *Baseline* – Subtração do valor inicial a todos os outros valores
2. *Bandpass 0.1Hz-40Hz* – Seleção dos valores com frequências entre 0.1Hz e 40Hz
3. *Integration* – Integração dos valores passando de G/s^2 (aceleração) para G/s (velocidade)
4. *Vector sum* – transforma as três coordenadas num vetor

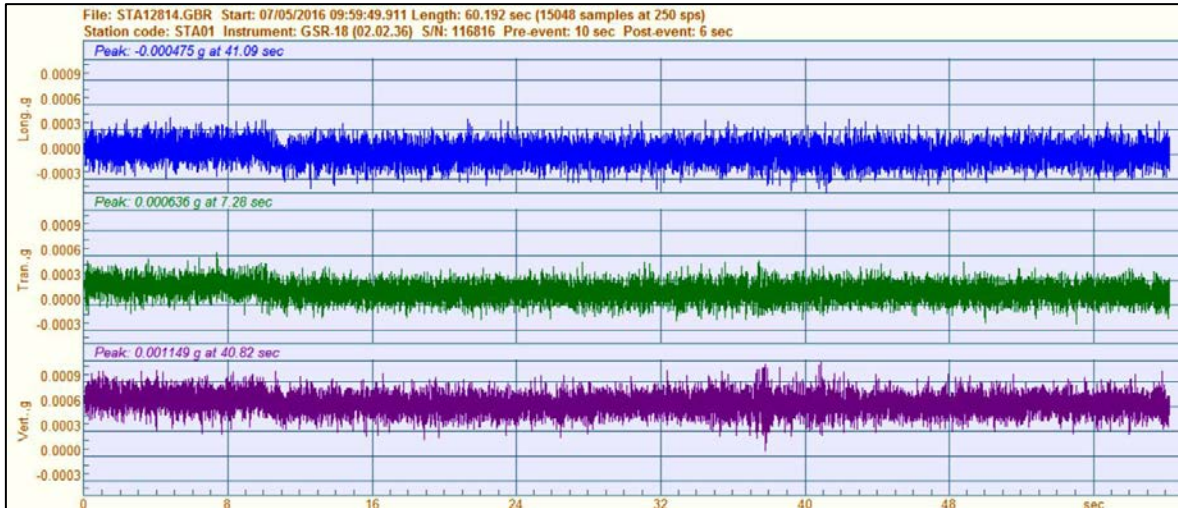


Figura 53 - Sinal original em aceleração (sem filtros)



Figura 54 - Sinal tratado em velocidade (com baseline, bandpass e integração)

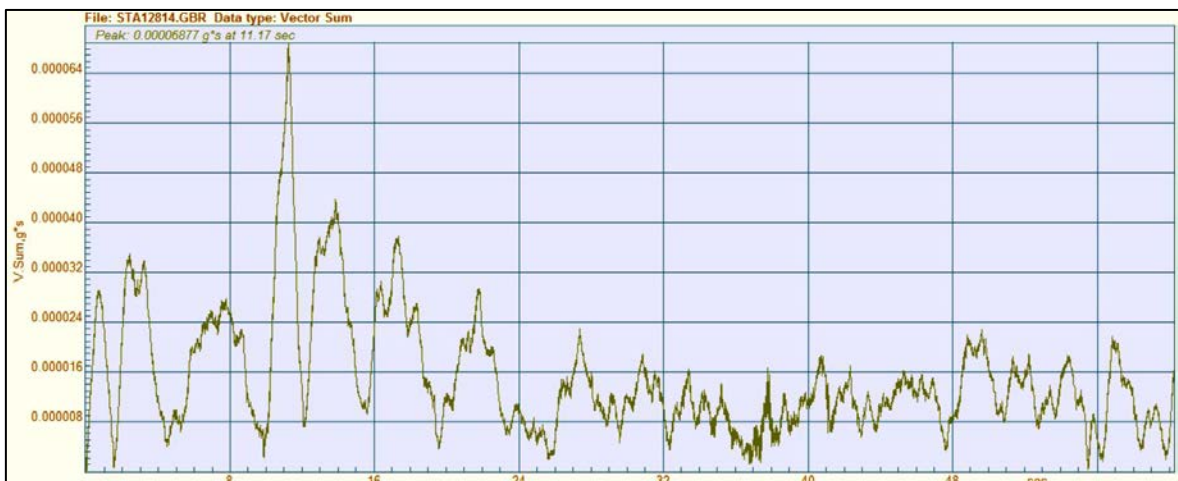


Figura 55 - Vetor do sinal velocidade (através do passo de cálculo *Vector sum*)

Os valores foram transformados de g/s para mm/s, para estarem de acordo com a norma no que diz respeito a unidades. De seguida, foram inseridos em dois gráficos - um referente ao Museu dos Combatentes (com 225 medições) e outro à Capela do Fundador (com 157 medições), de forma a que os resultados se tornassem mais perceptíveis, tanto ao nível da grandeza, como também em termos de evolução no tempo.

O que se acaba de afirmar pode então ser avaliado nos gráficos abaixo:

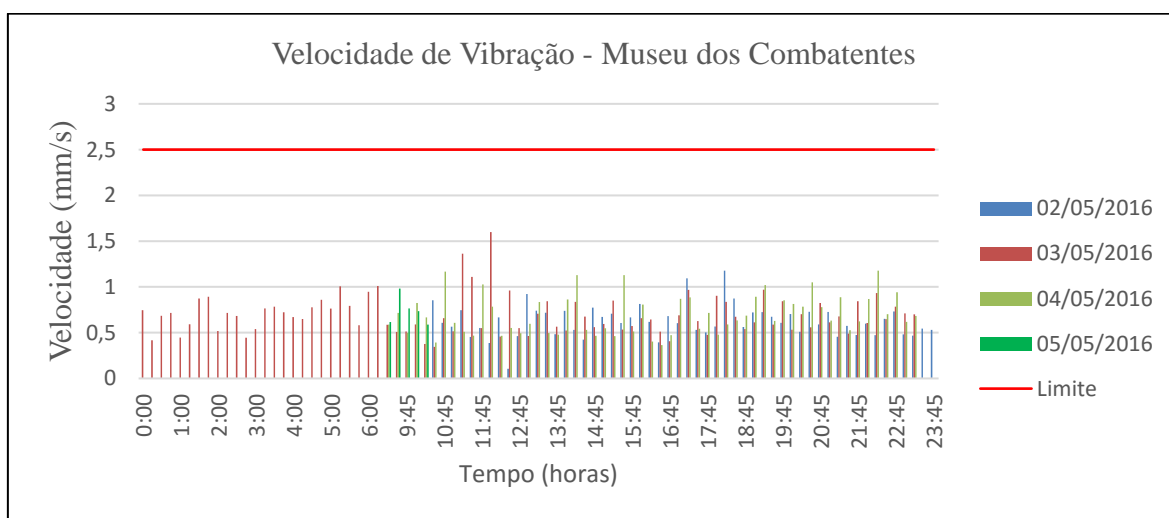


Figura 56 - Gráfico de velocidades medidas no Museu dos Combatentes [dia 2 a dia 3 de Maio de 2016]

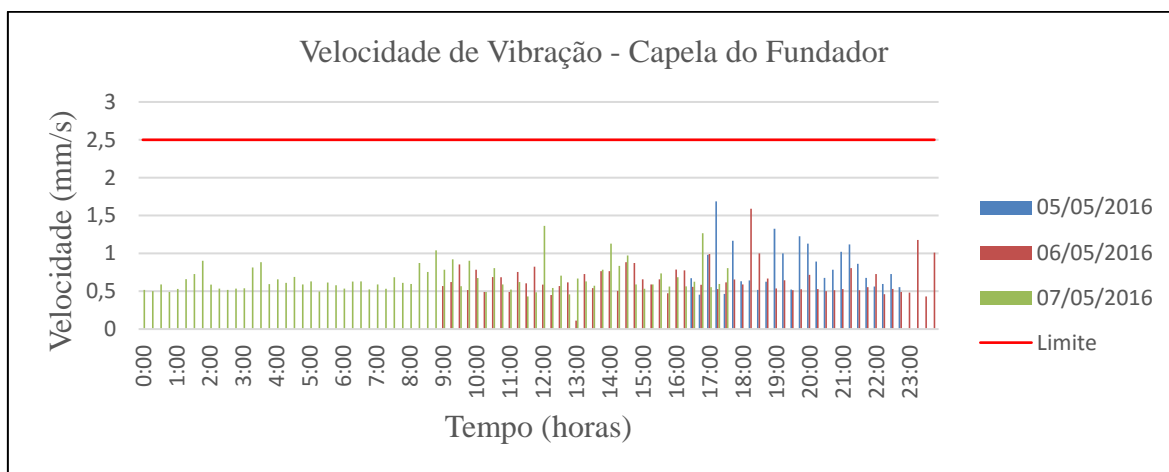


Figura 57 - Gráfico de velocidades medidas na Capela do Fundador [dia 5 a dia 7 de Maio de 2016]

Analisando os gráficos acima, pode-se dizer que os valores de vibração impostos na estrutura não são superiores ao valor máximo de 2.5mm/s (segundo as normas DIN 4150 e

UNI 9916) adotado para este trabalho. É possível observar também que à exceção de algumas ocasiões pontuais, a maioria dos valores obtidos são inferiores a 1mm/s, ou seja, inferiores ao valor máximo admitido. Pode-se então afirmar que no que diz respeito à estrutura do Mosteiro de Santa Maria da Vitória, as vibrações impostas pelos veículos não são até à data deste trabalho um fator que ponha em causa a segurança estrutural do monumento.

4.7. Comentários Finais

Nesta sede, cumpre apontar que foi possível verificar que o comportamento das vibrações é bastante claro, adiantando desde já que existe uma grande perda de energia das ondas no solo ao atravessarem o pátio entre o IC2 e o Mosteiro de Santa Maria da Vitória. Já as vibrações captadas na fachada são muito inferiores às captadas pelo sistema de acelerómetros na posição mais próxima ao IC2.

Também pode ser concluído que nos pontos estudados da estrutura desde a entrada até à torre, não se verifica uma amplificação de vibrações, deixando como pontos mais importantes para este estudo e possíveis para estudos futuros, os pontos medidos na base, especificamente no Museu dos Combatentes e na Capela do Fundador.

A Capela do Fundador tem um comportamento muito particular no que diz respeito à amplificação das vibrações, tendo uma atenuação da base até ao telhado intermédio e depois um razoável aumento até ao topo do Octógono chegando por vezes a ser maior do que a vibração medida na base da estrutura o que pode resultar de fissuras e outras fragilidades no topo do Octógono e às quais seria aconselhada manutenção. Também se conclui que as deformações da Capela do fundador são maiores na direção perpendicular ao IC2 (X), sendo as deformações em Y mais reduzidas devido à presença do Mosteiro.

Quanto a estes pontos medidos na base do Mosteiro, verifica-se que as vibrações medidas não ultrapassam o valor máximo adotado e especificado nas normas alemã DIN 4150 e italiana UNI 9916 (2.5 mm/s), sendo o valor máximo medido de 1.69 mm/s. Por outro lado, comparado o presente estudo com o relatório CMEST realizado em 1989 (João José Rio Tinto de Azevedo et al., 1989), em que não foram encontrados valores de velocidade significativos, pode observar-se que o aumento da vibração é notório apesar de não ser crítico.

5. AVALIAÇÃO DAS VIBRAÇÕES NA CAPELA DO FUNDADOR

5.1. Introdução

Neste capítulo, serão avaliadas as vibrações na Capela do Fundador, visto que este elemento tem como grande parte constituinte elementos não estruturais frágeis nomeadamente os vitrais e tem vindo a ser objeto de estudo detalhado nos últimos anos. Combinando também com os acontecimentos ao longo da história como os danos causados pela atividade sísmica, cria-se a necessidade de avaliar o comportamento destes elementos e as suas condições.

O objetivo principal deste trabalho foi a identificação dinâmica apenas dos vitrais do Octógono na cobertura, mas devido à possibilidade de usar os sismógrafos decidiu-se também fazer a identificação dinâmica da estrutura da Capela do Fundador. Desta forma não foi possível obter um trabalho mais completo, mas também se aproveitou a oportunidade para recolher dados importantes que serão bastante importantes para futuros estudos.

Servindo de comparação com possíveis trabalhos futuros, estes dados poderão estabelecer um ponto de origem para as condições da estrutura. Assim poderá saber-se no futuro se o estado da estrutura piorou ou não. Como ainda não tinha sido feita nenhuma avaliação deste género no passado, não foi possível determinar qualquer tipo de modificação no tempo desta estrutura.

5.2. Identificação dinâmica da capela do fundador

Neste subcapítulo, é apresentada a identificação dinâmica da Capela do Fundador através da utilização de sismógrafos, que permite saber quais os movimentos da estrutura quando excitada por uma ação. Este método de identificação dinâmica *in-situ* pode competir com outros ensaios não destrutivos, trazendo a vantagem de serem não destrutivos e possíveis de aplicar numa estrutura como o Mosteiro de Santa Maria da Vitória, o que não seria possível com outras técnicas como a aplicação de macacos planos.

Todas as estruturas possuem características únicas entre si que caracterizam a forma como se comportam na presença de ações dinâmicas. Essas grandezas são a massa, o amortecimento e a rigidez que em conjunto com os vetores aceleração, velocidade e deslocamento descrevem o vetor resultante das ações de acordo com a expressão [3].

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = f(t) \quad [3]$$

Sendo:

M - Massa

C - Amortecimento

K - Rigidez

u – Vetor deslocamento

\dot{u} – Vetor velocidade

\ddot{u} – Vetor aceleração

Neste trabalho serão apenas feitos ensaios dinâmicos na Capela do Fundador para que depois de analisados os dados resultantes, se possa obter o comportamento da estrutura quando exposta às vibrações externas tais como o vento, o transido do IC2, etc. Este facto deve-se à existência de sensores com sensibilidade suficiente para registar as respostas das estruturas quando sujeitas a excitações ambientais, não sendo necessária nem possível qualquer tipo de meio de excitação forçada (Lopes, 2009).

Os dados serão obtidos na forma de acelerações registadas por sismógrafos num esquema de *setups* previamente definido de forma a captar os pontos mais importantes e a reunir a informação que torne o modelo matemático mais parecido possível com a situação real.

Esta avaliação consistiu em colocar dois sismógrafos na capela e assim se criar um modelo dinâmico da estrutura. Foram feitos nove *setups* (Figura 58) que consistiram em colocar um sismógrafo fixo na posição “O” e colocar outro sismógrafo nas outras nove posições.

As medições dos dois sismógrafos em simultâneo tiveram a duração de dez minutos cada uma para que se pudesse relacionar os valores medidos no ponto O com os valores das outras nove posições e servindo assim para determinar posteriormente as frequências e modos de vibração no *software* ARTeMIS Extractor 5.3 (Solutions, 2011).

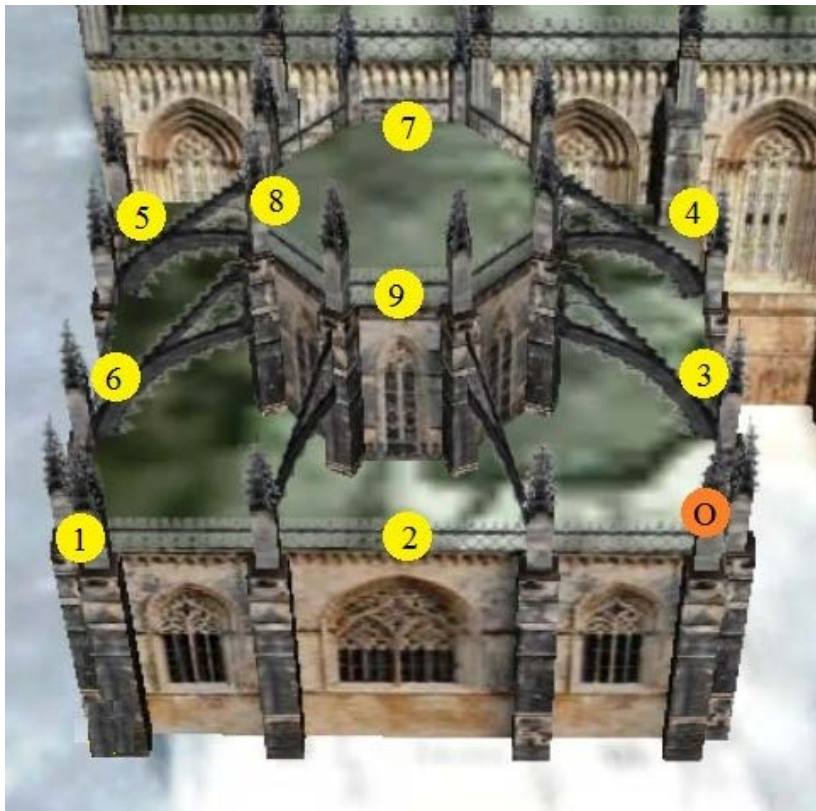


Figura 58 - Setups na Capela do Fundador para identificação dinâmica



Figura 59 - Colocação de sismógrafos para identificação dinâmica (*setup* 3), fixo posição "O" e móvel na posição "3"



Figura 60 - Sismógrafo fixo na posição "O"



Figura 61 - Sismógrafo móvel na posição “3”



Figura 62 - Sismógrafo móvel na posição “5”

Como se pode ver na Figura 59, os sismógrafos são colocados a medir ao mesmo tempo, sendo o sismógrafo do lado direito sempre fixo e o sismógrafo do lado esquerdo sempre móvel. Este sismógrafo móvel percorre todas as posições marcadas na Figura 58, à exceção da posição “O”.

Um dos grandes problemas deste tipo de avaliação é o facto de poderem existir anomalias durante a medição e por isso os resultados não serem totalmente fiáveis, por essa razão foram feitas medições de dez minutos de forma a conseguir reduzir o impacto de possíveis anomalias.

Este tipo de ensaio tem também a vantagem ajudar a calibrar modelos numéricos, visto que na execução de um modelo numérico não é fácil conseguir obter o comportamento dinâmico real devido a irregularidades na estrutura. Tendo como exemplo a Capela do Fundador, que possui algumas fissuras no Octógono e que pelo seu tipo de construção tem um comportamento muito próprio. Ao fazer este estudo e com os valores obtidos é possível calibrar um futuro modelo numérico.

Com toda a informação recolhida e com as formas de avaliação descritas em cima, é possível monitorizar a estrutura usando o mesmo o mesmo modelo numérico mas calibrando ao longo do tempo com estudos *in-situ* como aquele que estamos a realizar neste trabalho.

Desta forma, é possível monitorizar o comportamento da estrutura ao longo do tempo, sabendo se ocorreu alguma anormalidade no desenvolvimento do tempo na estrutura. Este método de trabalho permite coordenar eventos de restauro e reabilitação na estrutura quando necessário, ajudando assim a preservar o património (Fernandes, 2014).

5.2.1. Análise de Resultados

Usando as medições, criou-se um modelo matemático através do *software* ARTeMIS Extractor 5.3. Através desse modelo foi possível visualizar os modos de vibração e as frequências a que estão associados.

O modelo baseou-se nas medições do mosteiro retiradas de ficheiros DWG com toda a arquitetura do monumento. Os pontos da base foram criados e restringida a sua deslocação de forma a ficarem fixos. Nos pontos do modelo que não são posições dos sismógrafos, foi dado o comando ao *software* para que este arbitrasse os deslocamentos em função dos pontos onde os sismógrafos estiveram a medir (Fernandes, 2014).

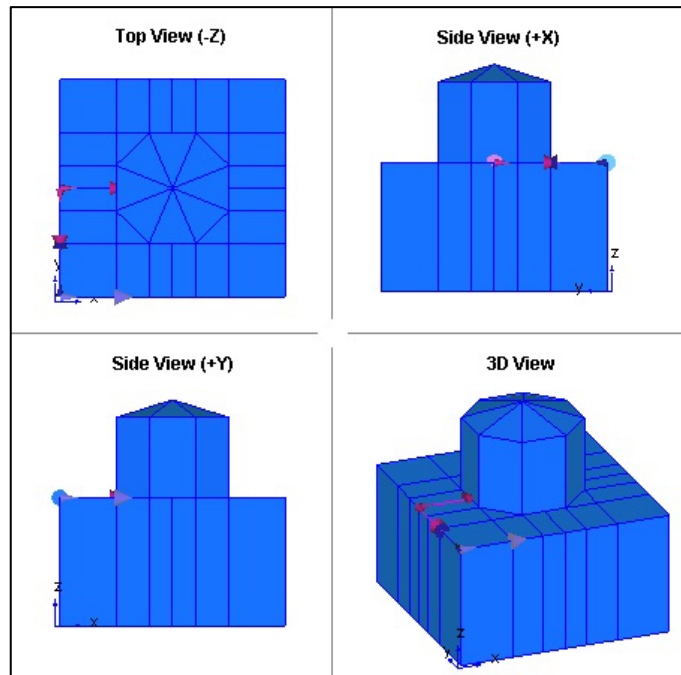


Figura 63 - Representação da Capela do Fundador

Ao analisar os dados, o método avançado de decomposição no domínio da frequência (“*Frequency Domain Decomposition*” – FDD), presente no *software* ARTEMIS Extractor 5.3 (Solutions, 2011).

Este método divide as medições em valores singulares, o que depois sabendo a frequência de cada singularidade, permite criar um gráfico de densidade. Esse gráfico terá na sua composição picos em determinadas frequências. Esses picos ilustrarão as frequências naturais dos modos de vibração da estrutura para cada *setup* medido (Branco, 2005).

Depois de executar um gráfico de densidade para cada um dos nove *setups*, é possível conjugá-los num só gráfico e retirar as frequências naturais reais dos modos de vibração da estrutura como se pode ver na Figura 64.

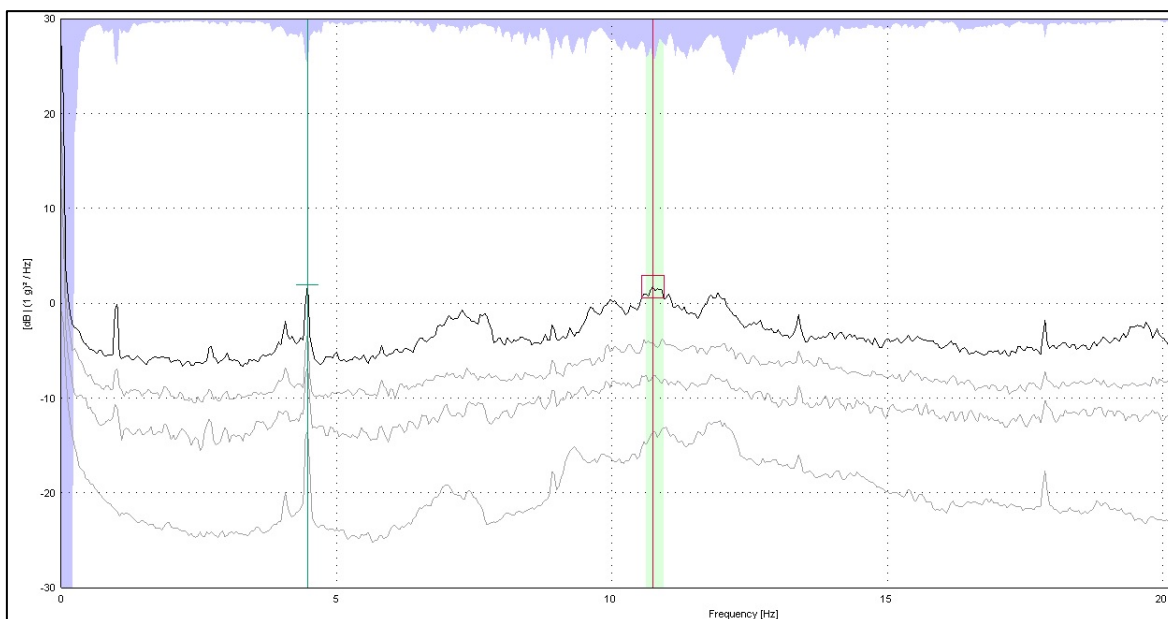


Figura 64 - Espectro das frequências combinadas dos 9 *setups* da Capela do Fundador

Para saber as frequências dos modos de vibração foi usada a ferramenta de adição de novos modos no separador “FDD Peak Picking”. Existe também a ferramenta de seleção automática de modos de vibração, mas ao observar os resultados concluiu-se que os modos resultantes da seleção automática não correspondiam aos primeiros dois modos de vibração que realmente interessam para este trabalho (Pinho, 2016).

Analisando a Figura 64, é possível afirmar que o primeiro e segundo modo de vibração estão associados às frequências 4.48Hz e 10.74Hz respectivamente. Com os modos de vibração conhecidos, é possível saber a deformada modal da estrutura.

Tabela 7 - Modos de Vibração da Capela do Fundador

Modos de vibração	Frequência
Modo 1	4.48Hz
Modo 2	10.74Hz

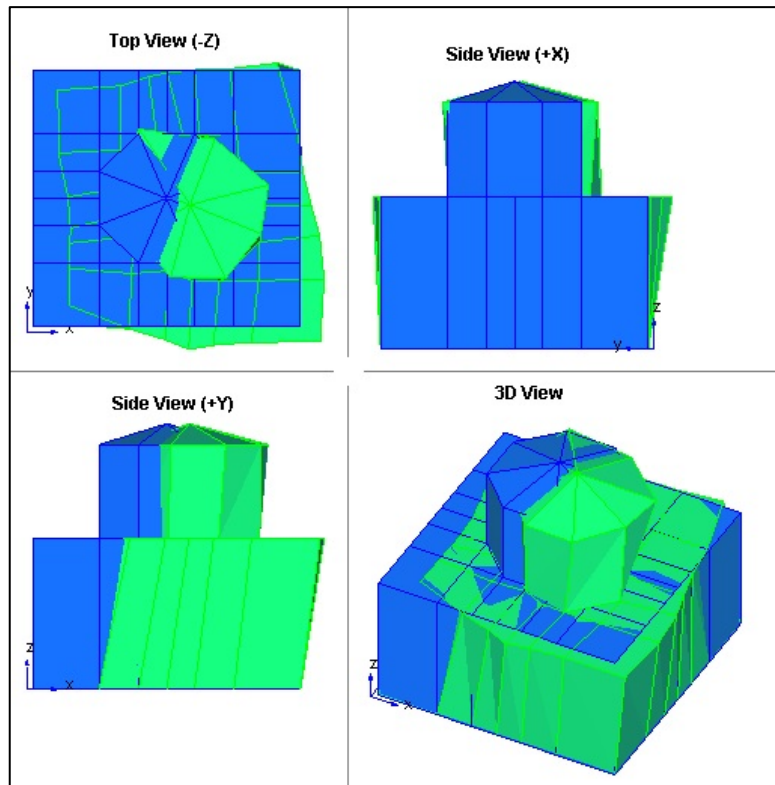


Figura 65 - Primeiro modo de vibração da Capela do Fundador

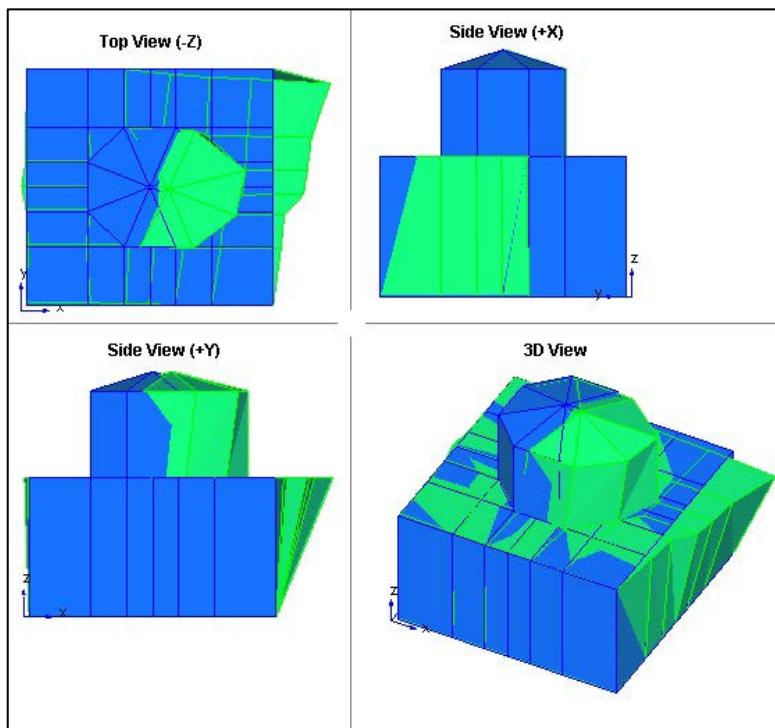


Figura 66 - Segundo modo de vibração da Capela do Fundador

Sabendo que o Mosteiro da Batalha se encontra solidário à Capela do Fundador, está justificada a redução das deformações no eixo YY, a estrutura mostra maiores deformações no eixo XX, direção essa que é perpendicular ao IC2.

5.3. Medição das vibrações nos vitrais

Nesta secção vai tratada a análise dinâmica dos vitrais, através da medição de acelerações e caracterização das frequências e modos de vibração. Este tipo de estudos sofre de falta de informação para comparar com outros estudos devido à sua raridade de execução.

Por não se ter encontrado estudos anteriores no Mosteiro da Batalha nem qualquer outra estrutura com vitrais, nem mesmo normas com valores limite de vibração e métodos de execução de ensaios, todo o procedimento foi pensado para esta tese.

Com estas medições, é possível determinar frequências naturais dos modos de vibração, e com esses valores comparando ao longo do tempo com ensaios iguais é possível verificar se existe variação das frequências que se podem traduzir em variações de rigidez se a massa dos vitrais se mantem e a forma também, uma vez que se pode assumir que a perda de rigidez se deve às condições de ligação.

Usando estes ensaios em conjunto com inspeções visuais podemos complementá-los, visto que por vezes podem existir patologias nos vitrais que não se conseguem determinar apenas com inspeções visuais. Desta forma se permite coordenar eventos de reparação e reabilitação dos vitrais sem que estes estejam num estado para lá do irreparável.

5.3.1. Equipamento utilizado

Para esta avaliação foi necessário usar equipamento de menor dimensão ao usado no capítulo anterior devido à fragilidade e à necessidade de fixar o mesmo nos vitrais.

Por essa razão foram usados acelerómetros da marca PCB Piezotronics, modelo 353B03, com sensibilidade 9.95mV/g e nível de polarização 9.1V.



Figura 67 - Acelerómetro PCB Piezotronics, modelo 353B03

Foi também usada uma placa de aquisição com oito canais, resolução de 24 bits para recolher os sinais e servir de comunicação entre o computador e os acelerómetros.



Figura 68 – Mala com placa de aquisição

O *software* utilizado para comunicar com todos os elementos e para tratar os dados foi o SeismoSignal 5.1.0 (SeismoSoft, 2013).

5.3.2. Estudo preliminar para avaliação das condições de apoio

Tendo em conta a relevância dos vitrais do Mosteiro no panorama da arte nacional e dada a sua elevada fragilidade, é de realçar que foi pensado um especial cuidado em relação à forma de fixar os acelerómetros, de forma a, por um lado, não comprometer a integridade dos vitrais e, por outro, não falsear ou destruir a fiabilidade dos resultados. Nesse sentido, antes de executar qualquer tipo de ensaio nos vitrais, desenvolveu-se uma pequena estrutura com uma massa e com apenas um grau de liberdade (Figura 71).

Os testes desenvolvidos nos vitrais consistiram em fixar no corpo dos mesmos, dois acelerómetros e recolher dados com uma excitação inicial com diversas alturas, desde a base até à massa (Figura 72).

Antes de comparar os resultados entre os dois tipos de apoios diferentes, revelou-se pertinente observar o comportamento dos acelerómetros fixados com parafuso (opção mais rígida), de forma a apurar as diferenças existentes entre os dispositivos. Note-se que tal assim sucedeu para que não se confundisse os erros de medição do equipamento com os possíveis erros da forma de fixação.

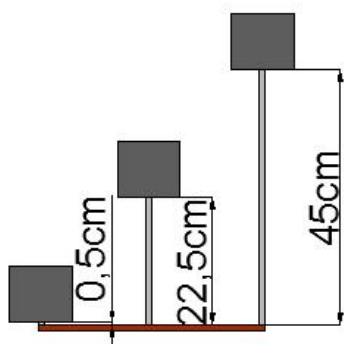


Figura 69 – Esquema parafuso / parafuso

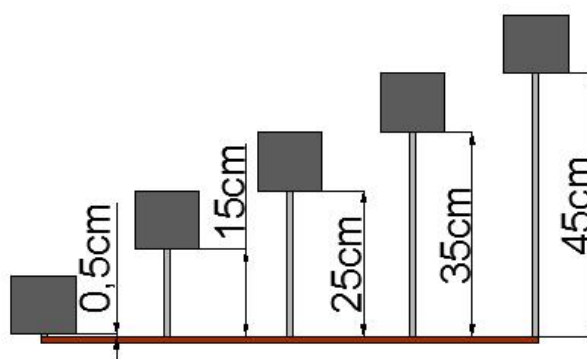


Figura 70 - Esquema parafuso / fita-cola



Figura 71 - Estrutura com um grau de liberdade



Figura 72 – Acelerómetros fixados na massa

5.3.2.1. Análise de Resultados

De forma a alcançar o objetivo de avaliação dos resultados, foram tidos em conta apenas os valores de aceleração na direção em que se provoca a excitação. Para que os valores fossem iguais e para que se pudessem detetar eventuais diferenças, o valor de aceleração de um acelerómetro foi multiplicado por -1, dado que, em condições perfeitas, os valores seriam simétricos (note-se que os acelerómetros estão em direções contrárias no sentido da excitação).

Para tratar os dados adquiridos foi feito um *baseline* com o *software* SeismoSignal 5.1.0 para que os valores iniciais fossem zero.

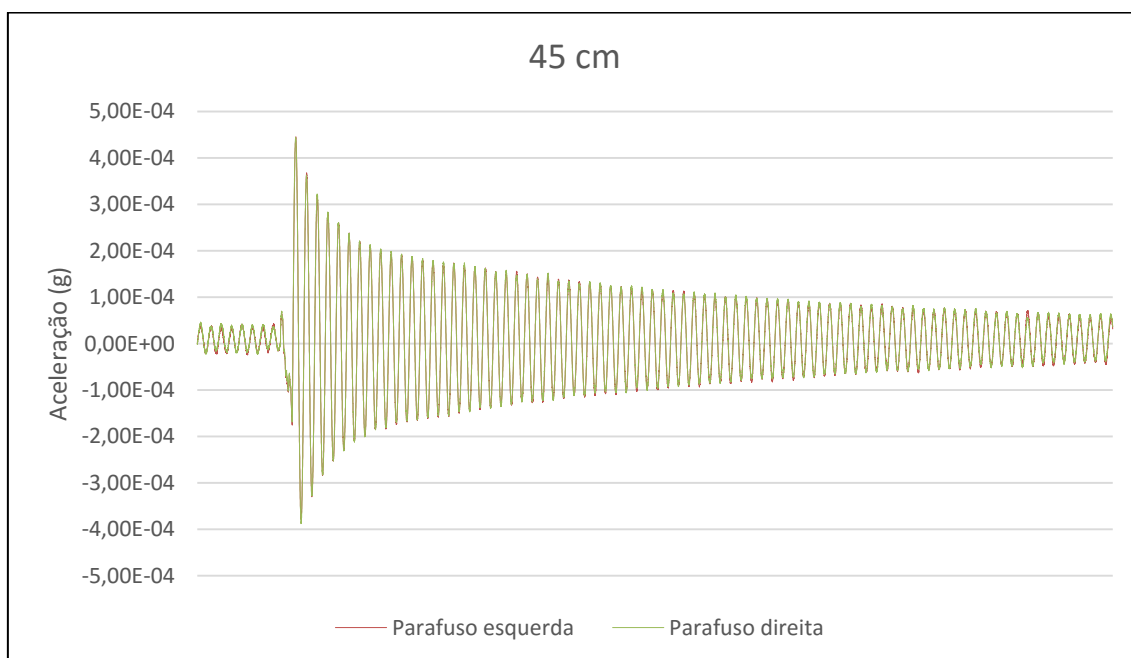


Figura 73 - Gráfico de comparação de valores de aceleração com acelerómetros fixados com parafuso

Tabela 8 - Comparação de valores de aceleração com acelerómetros fixados com parafuso

	Comparações finais Parafuso / Parafuso					
	45 cm		22,5cm		0,5 cm	
	Esq.	Dir.	Esq.	Dir.	Esq.	Dir.
Max (g)	4,45E-04	4,44E-04	5,54E-04	5,56E-04	6,77E-04	7,04E-04
Min (g)	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Variação (g)	3,63948E-06		3,26149E-06		2,05601E-06	
Frequência (Hz)	1,455	1,455	3,557	3,557	ND	ND

Depois de uma análise dos gráficos e da tabela, verificou-se que perante as mesmas condições de apoio, os acelerómetros não tinham significantes diferenças de medição, o que implica que os possíveis erros de medição que poderão aparecer quando for mudada a condição de apoio de um acelerómetro sejam só e apenas só devidos ao apoio e não ao acelerómetro.

Como as dúvidas em relação ao equipamento foram esclarecidas, foi então posto à prova um novo tipo de apoio, fita-cola de dupla face num dos acelerómetros. O procedimento anterior foi novamente repetido, mas desta vez acrescentando outras alturas da massa à base.

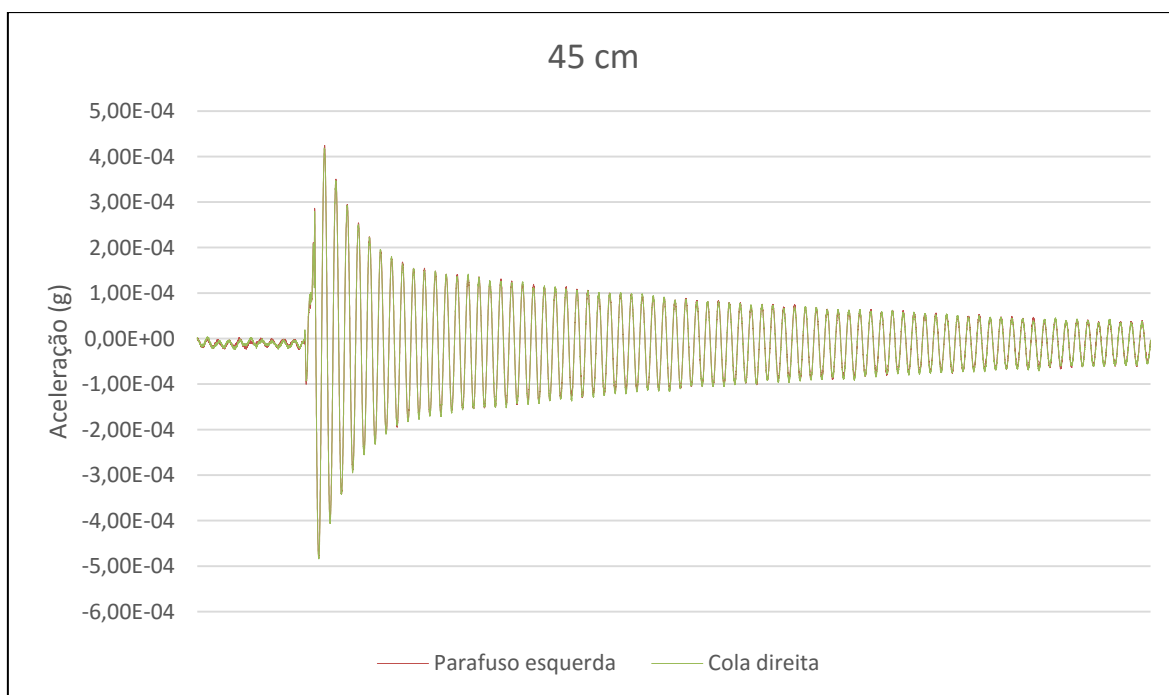


Figura 74 - Gráfico de comparação de valores de aceleração com um acelerómetro fixado com parafuso e outro com fita-cola

Tabela 9 - Comparação de valores de aceleração com um acelerómetro fixado com parafuso e outro com fita-cola

	Comparações finais Parafuso / Fita-cola					
	45 cm		35 cm		25 cm	
	Esq.	Dir.	Esq.	Dir.	Esq.	Dir.
Max (g)	4,82E-04	4,84E-04	6,49E-04	6,69E-04	9,44E-04	9,71E-04
Min (g)	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Variação (g)	3,18739E-06		3,8206E-06		4,18688E-06	
Frequência (Hz)	1,455	1,455	1,758	1,758	2,607	2,607

Tabela 10 - Comparação de valores de aceleração com um acelerómetro fixado com parafuso e outro com fita-cola (continuação)

	Comparações finais Parafuso / Fita-cola			
	15 cm		0,5 cm	
	Esq.	Dir.	Esq.	Dir.
Max (g)	1,25E-03	1,21E-03	1,04E-03	1,29E-03
Min (g)	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Variação (g)	3,30183E-06		2,36594E-06	
Frequência (Hz)	4,871	4,850	ND	ND

Analisando as tabelas referentes aos dois tipos de apoios, podemos concluir que as variações são todas da mesma ordem de grandeza e que podem ser apenas originadas pelos acelerómetros. É também importante referir que a variação não é grande o suficiente para ser considerada já que os valores limite para edifícios são de uma grandeza bastante superior.

5.3.3. Identificação dinâmica nos Vitrais

Na medição das vibrações nos vitrais do octógono da cobertura da Capela do Fundador, decidiu-se analisar todos os oito vitrais para que o registo para o futuro ficasse mais completo e para que numa futura medição, seja possível partir de valores de referência que permitam avaliar as possíveis variações em qualquer um dos vitrais do octógono.

De realçar que, pese embora o esforço desenvolvido no sentido de encontrar legislação sobre vitrais ou trabalhos semelhantes, verificamos que em Portugal não existe, até à data, qualquer tipo de diploma legal que disponha sobre manutenção, preservação ou restauração de vitrais, nem para encontrar estudos científicos sobre a aplicação desta técnica.

O que este estudo pretende é registar as frequências ocorridas nos vitrais e a partir desses valores, de forma a que num futuro próximo se possam levar a cabo novas medições, percebendo assim se se regista ou não, algum tipo de aumento da fragilidade dos referidos elementos. Tais dados são comparáveis, dado que a expressão [4], que afirma que se a massa não sofrer alteração, a variação da frequência natural, resulta da variação da rigidez, sendo assim uma redução na rigidez traduz-se numa redução da frequência natural (Correia, 2007).

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad [4]$$

Sendo:

ω – Frequência natural

m – Massa

k – Rigidez



Figura 75- Fachada Oeste Capela do Fundador

Como questão prévia cumpre informar que no presente estudo, cada vitral terá o nome do ponto cardinal, uma vez que todos eles se encontram orientados de acordo com os pontos cardiais.

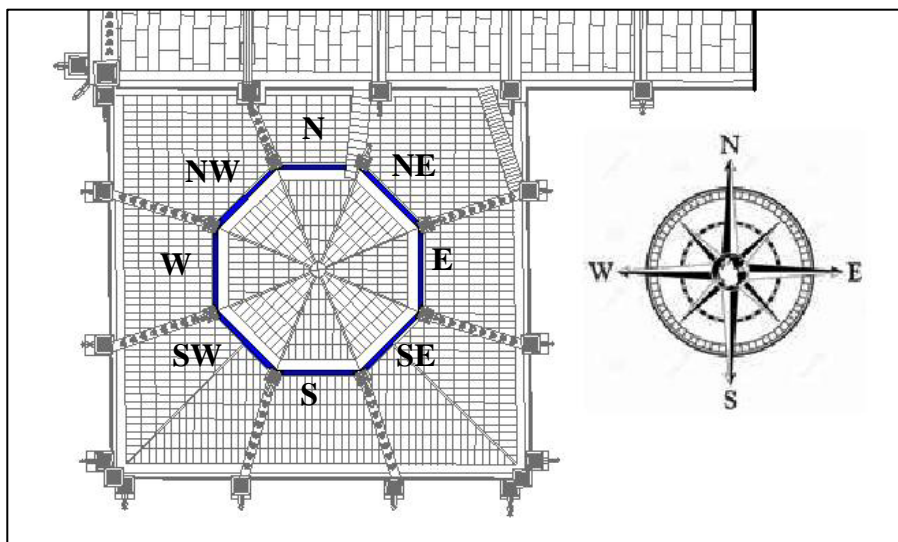


Figura 76 - Cobertura da Capela do Fundador com representação dos vitrais

Para que não fossem impostos quaisquer tipos de danos nos vitrais, os acelerómetros utilizados foram fixados com fita-cola de dupla face (Figura 77), que como foi demonstrado na subsecção anterior, não interfere com as medições.



Figura 77 - Fita-cola utilizada para fixação dos acelerómetros

5.3.3.1. Análise Vitral – Estrutura

A título de enriquecimento deste trabalho foram comparadas as acelerações entre o Vitral O e a pedra da estrutura.

Como *setup* de ensaio (Figura 78), fixaram-se três acelerómetros em diferentes partes do vitral e um na pedra. Foi feita uma medição durante dez minutos. Posteriormente, foram comparadas as acelerações entre o vitral e a pedra para saber existe amplificação entre o vitral e a pedra.

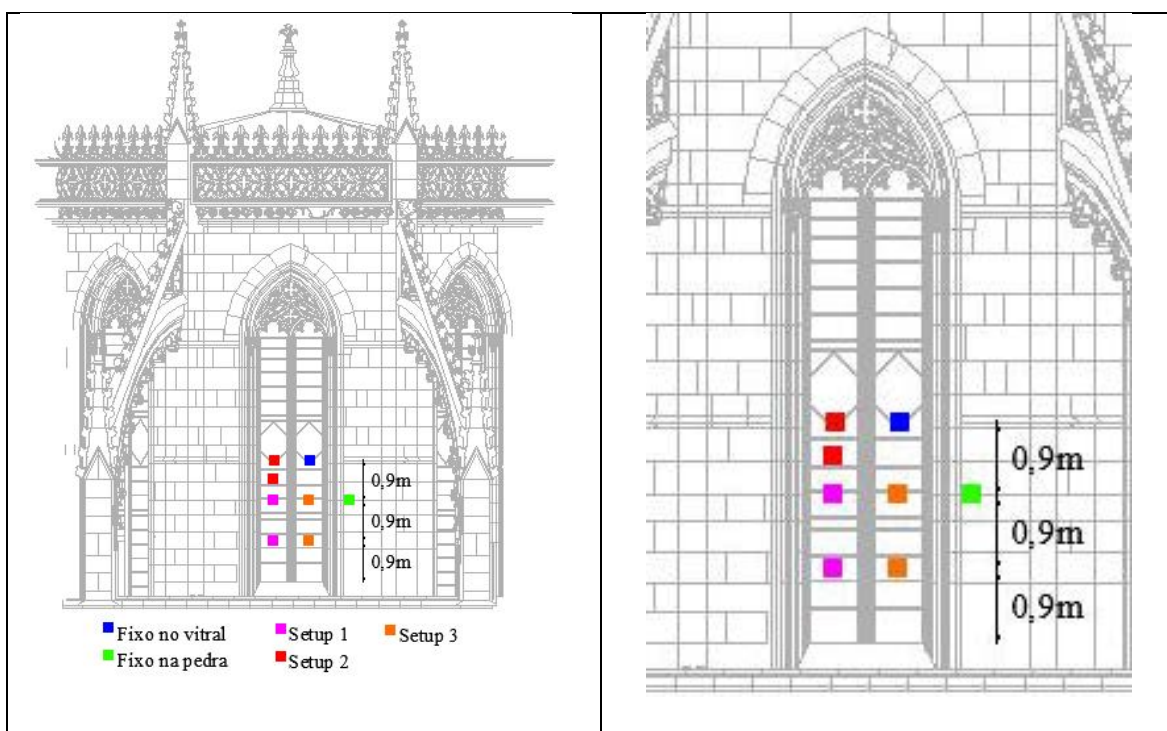


Figura 78 - Setup do Vitral O

5.3.3.1.1. Análise de Resultados

Analisando os valores com o *software* SeismoSignal 5.1.0, foram aplicados os seguintes passos de cálculo:

1. *Baseline* – Subtração do valor inicial a todos os outros valores
2. *Bandpass 0.1Hz-40Hz* – Seleção dos valores com frequências entre 0.1Hz e 40Hz

Depois de trados os dados, estes foram colocados num gráfico para que se pudesse analisar com mais facilidade de que forma os valores de aceleração no Vitral O diferem ou não dos valores registados na pedra.

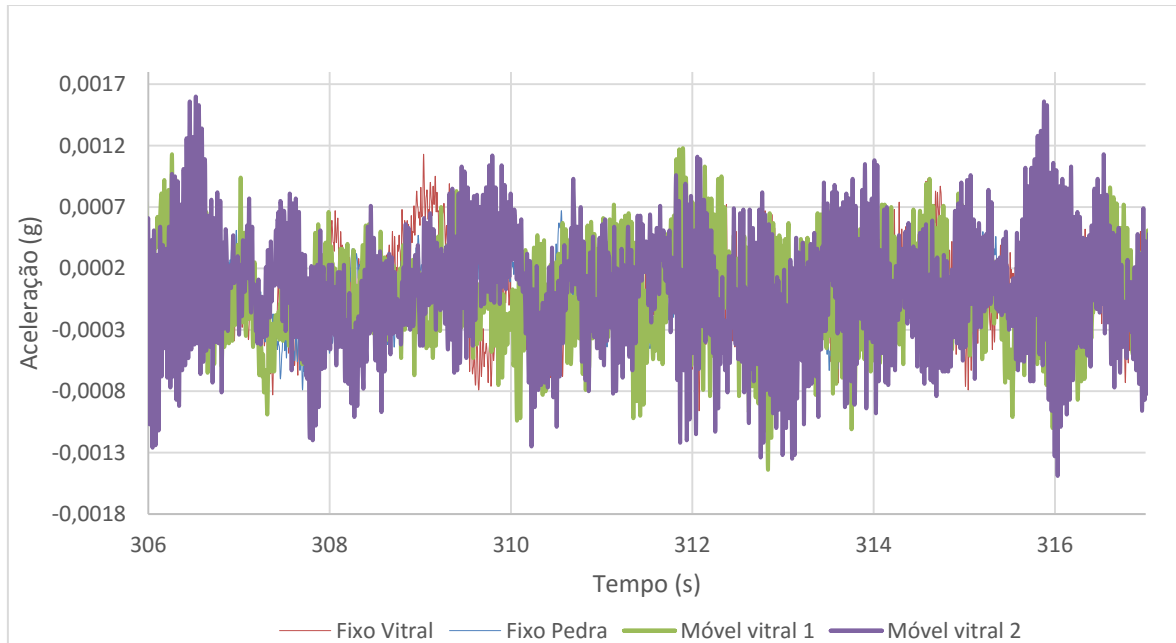


Figura 79 - Gráfico das acelerações do *setup 2*

Analisando o gráfico da Figura 79, podemos afirmar que as acelerações dos vitrais e na pedra do Octógono da Capela do Fundador, são da mesma ordem de grandeza. É então seguro dizer que não existe amplificação ou redução da aceleração na transmissão pedra-vitral e que se os limites na estrutura de pedra do Mosteiro não forem ultrapassados, também não existira problema nos vitrais. Esta afirmação é feita tendo em conta que a única referência a limites de vibração existente é em relação à estrutura e não aos vitrais.

5.3.3.2. Análise nos Vitrais

Para executar a campanha de medições, foram criados diferentes, estes *Setups* consistiram em colocar dois acelerómetros fixos no vitral para servirem de referência para o *software* e dois acelerómetros que variam de posição no vitral de acordo com a Figura 80. Estes acelerómetros móveis posicionam-se a várias cotas nos vitrais, desta forma e executando os *Setups* de igual forma é possível fazer uma comparação mais direta e com mais exatidão.

À medida que o *Setup* era modificado apenas dois acelerómetros no vitral variaram de posição, para que o *software* mais à frente calcule os modos de vibração e a frequência natural do vitral, e posteriormente se faça a comparação com a estrutura.

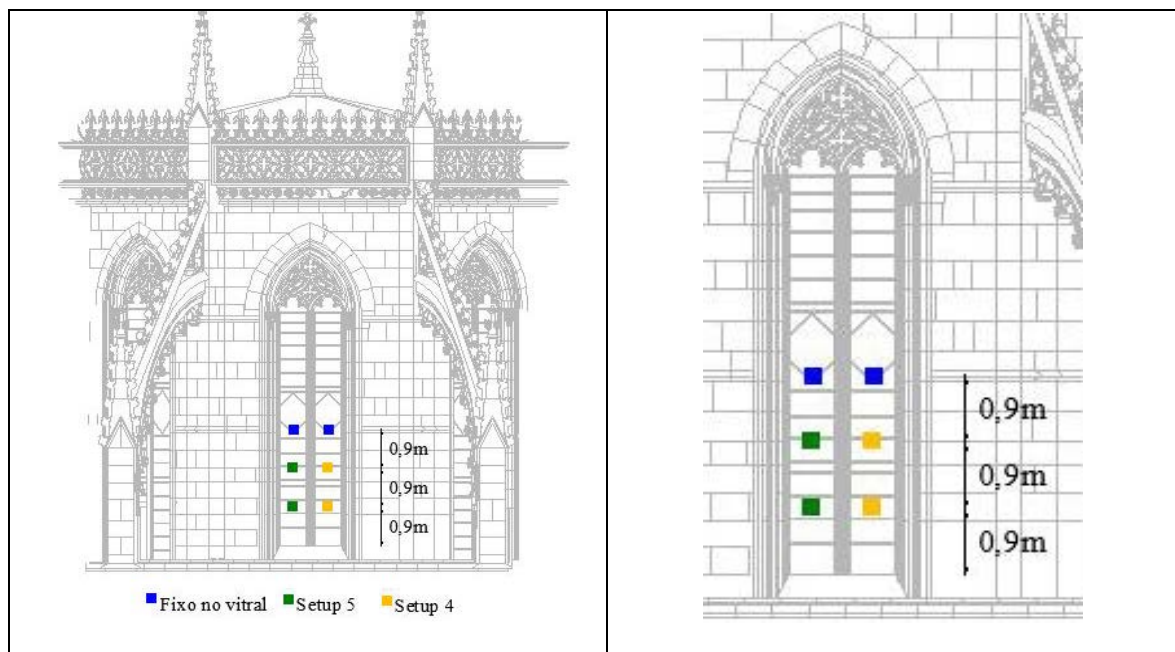


Figura 80 - *Setups* usados nos oito vitrais

5.3.3.2.1. Análise de Resultados

Após as medições terem sido feitas todas as medições, foi usado o *software* ARTeMIS Extractor 5.3 para calcular o primeiro e o segundo modo de vibração. Através das frequências de vibração poderemos dizer quais os vitrais que são mais frágeis admitindo que a sua massa é aproximadamente igual.

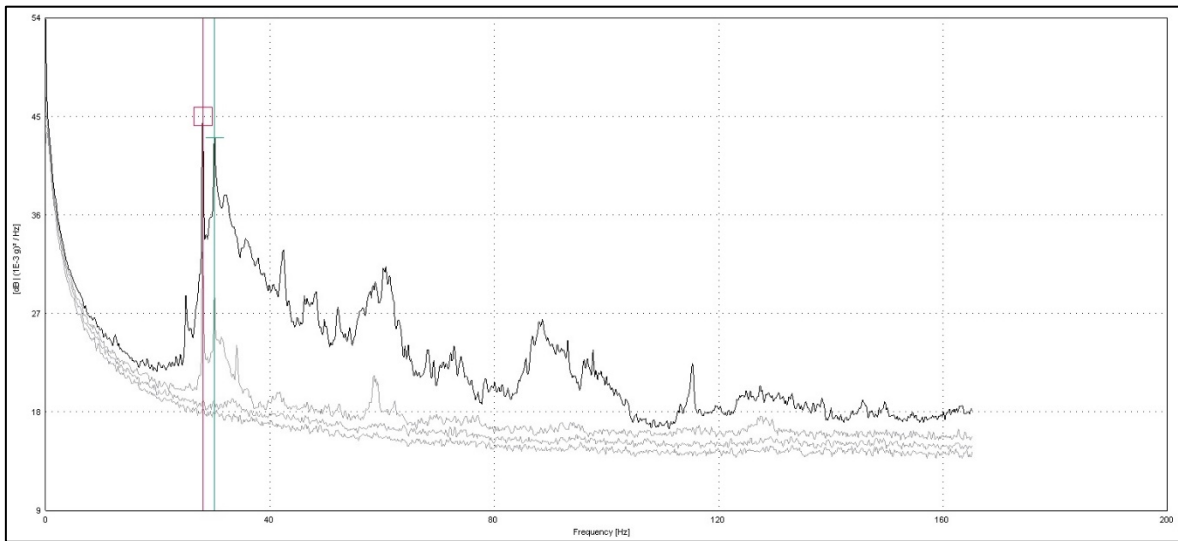


Figura 81 - Espectro das frequências combinadas dos dois *Setups* do Vitral Oeste

Após se obter o espectro das frequências (Figura 81), foram escolhidos os dois primeiros picos correspondentes aos dois primeiros modos de vibração. Esses dois modos podem ser expostos graficamente (Figura 82 e Figura 83) para se compreender a forma como os vitrais se comportam, ou seja, é possível saber como e quanto se deforma cada parte do vitrais e também é possível saber se as duas partes do vitral trabalham em conjunto ou em separado.

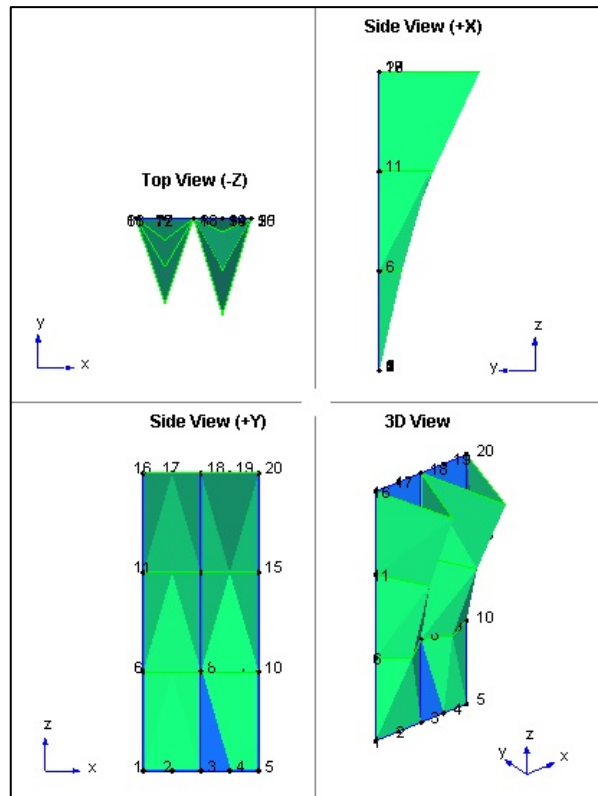


Figura 82 - Vitral N - Modo de Vibração 1

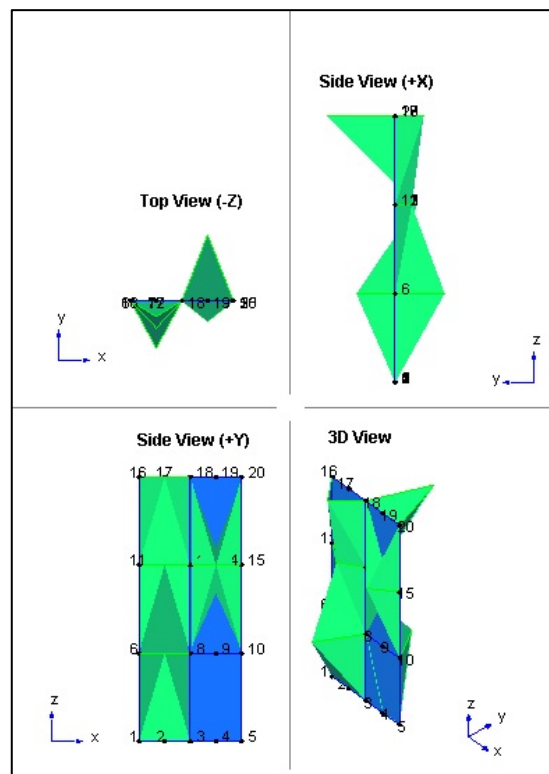


Figura 83 - Vitral SO - Modo de Vibração 2

Neste exemplo dos Vitrais acima, é possível dizer que as duas partes do Vitral trabalham em separado visto que as deformações apresentadas para as duas partes do Vitral não são iguais para o mesmo espaço de tempo.

Fazendo o mesmo processo de tratamento dos danos pelo *software* ARTeMIS Extractor 5.3 podemos colocar os valores do primeiro e segundo modos de vibração num gráfico. Desta forma as medições feitas no futuro poderão ser comparadas com os valores obtidos neste trabalho e avaliar-se se de alguma forma a rigidez dos vitrais foi alterada (Fernandes, 2014).

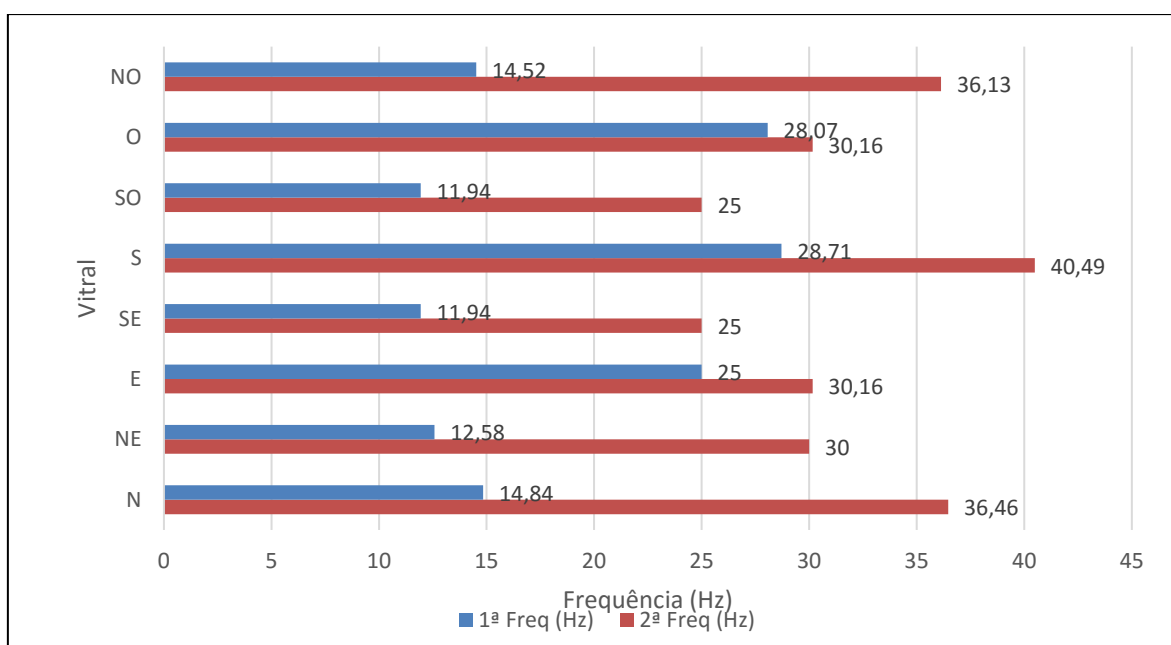


Figura 84 - Frequências dos modos de vibração dos vitrais

Ao analisar a Figura 84, é possível verificar que existe um padrão de frequências na maioria dos vitrais em que o primeiro modo está no intervalo de 11.94 Hz e 14.84Hz e o segundo modo está entre os 25Hz e os 30.16Hz. Também existem vitrais que possuem certos modos de vibração diferentes da maioria, o que pode significar que a sua rigidez não é semelhante à maioria dos vitrais (Borges, 2015).

Como complemento das medições e para comprovar a eficácia dos ensaios, foi feita uma inspeção aos vitrais contemplando os aspetos visuais. Esta avaliação pode ser exposta na Tabela 11 que retrata as condições de cada um dos oito vitrais do Octógono da Capela do Fundador.

Tabela 11 - Avaliação visual e ao toque dos vitrais do Octógono da Capela do Fundador

Vitral	Aspetto visual da argamassa de fixação ao caixilho (1-10)
N	No geral apresenta bom estado de conservação com fissuras esporádicas (7)
NE	Argamassa com fissuras e separação do caixilho em vários locais (5)
E	
SE	
S	
SO	
O	
NO	

Comparando as medições com a inspeção, pode-se afirmar que o estado visual em que estão os vitrais corrobora os resultados medidos, em especial através do toque nos vitrais, que apesar de não ser um método muito exato, permite corresponder frequências diferentes a vitrais que visualmente parecem em iguais condições.

Embora existam diferenças entre algumas frequências de vibração entre os vitrais enquanto as suas condições visuais são semelhantes, essas diferenças podem ser explicadas pela degradação individual e invisível de cada um bem como a forma como cada vitral está fixado nos caixilhos apesar do estado exterior da argamassa.



Figura 85 - Argamassa de fixação do Vital N



Figura 86 - Argamassa de fixação do Vital NE

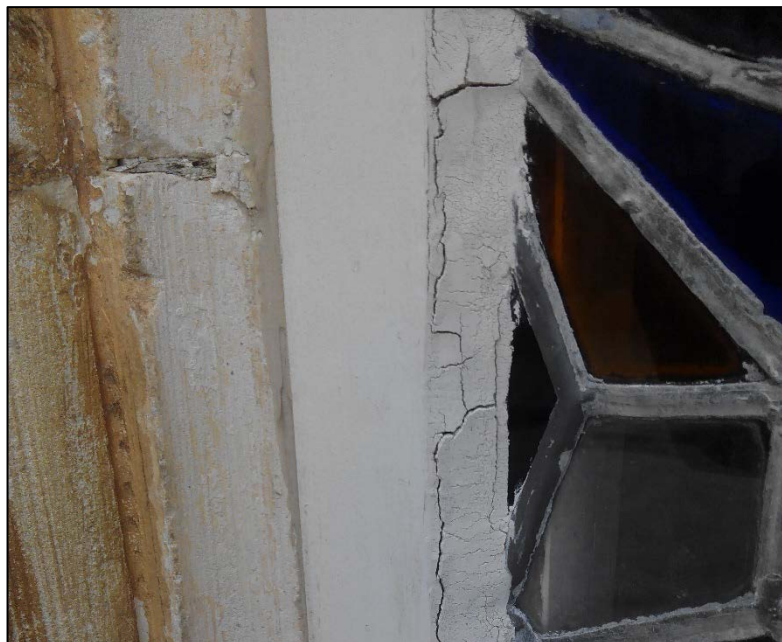


Figura 87 - Argamassa de fixação do Vitral SO

Dos oito vitrais presentes no Octógono, o Vitral N é o vitral que apresenta melhores condições de argamassa de fixação, sendo também um dos com maiores frequências de vibração e conseqüentemente um dos mais rígidos. É de referir que não se encontram padrões geométricos que expliquem o porquê das diferenças da vibração.

Apesar de os restantes vitrais apresentarem argamassas de fixação aproximadamente no mesmo estado de conservação, existem diferenças na sua rigidez. Esta diferença nas frequências de vibração pode indicar que, apesar da existência de alguma degradação visual da argamassa, alguns vitrais estão em melhor estado de fixação do que outros.

Em nota final aconselha-se a reparação da argamassa de pelo menos sete vitrais para que exista incremento de rigidez. O vitral N está em bom estado de conservação, não apresentando necessidade de intervenção. No caso de não ser possível a reparação de todos os vitrais propostos, aconselha-se que se dê prioridade aos vitrais com menores frequências de vibração.

Aconselha-se que se conjuguem avaliações dinâmicas e visuais para obter resultados mais fiáveis. A maior vantagem da avaliação dinâmica é a possibilidade de poder encontrar fragilidades em vitrais que apresentem boas condições visuais que podem não ser sinónimo de boas condições gerais desses elementos.

5.4. Comentários Finais

Neste capítulo conclui-se que o sistema usado para fixação dos acelerómetros aos vitrais é válido e permite avaliar este tipo de elementos sem os danificar e que pode ser usado em vários trabalhos do género, apesar se não se terem encontrados quaisquer resultados ou estudos semelhantes na revisão da literatura.

Ao analisar os resultados medidos nos vitrais do Octógono da Capela do Fundador, nem todos os vitrais possuem as mesmas condições de rigidez e que é necessário repetir regularmente este estudo de forma a controlar a integridade dos elementos.

Conjugando uma avaliação visual com as medições, conclui-se que existe a necessidade de efetuar reparações na maioria dos vitrais do Octógono, dando prioridade aos vitrais com menores frequências visto que esses são os que possuem menor rigidez.

Os valores das frequências dos modos de vibração medidos neste trabalho, servem de referência para medições e comparações futuras. Não só se pode avaliar se o estado dos vitrais se está a degradar, mas também se as ações de reparação e de reforço atingem os objetivos esperados.

6. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

6.1. Principais Conclusões

Cada vez mais a preocupação pelo Mosteiro de Santa Maria da Vitória está presente tanto na população que vive na sua periferia como quem vive em zonas mais afastadas. Essa preocupação é bastante evidenciada através da sua difusão pela comunicação social, sendo referidas não só a preocupações da população, associações locais e nacionais, assim como das autoridades nacionais.

Apesar do aumento de avaliações em monumentos através de técnicas de avaliação dinâmica, ainda é necessário que se criem normas exclusivamente dedicadas à realidade portuguesa no que diz respeito a eventos de vibração contínua.

No que diz respeito ao comportamento das vibrações provenientes do IC2, existe uma atenuação considerável deste a estrada até à fachada principal maioritariamente devido à dissipação de energia através do terreno.

A amplificação de vibrações na estrutura do Mosteiro da Batalha, não se evidencia, à exceção do Octógono no topo da Capela do Fundador, que por possuir um historial de danos e colapsos devidos à atividade sísmica a que foi alvo. Estes problemas agravam-se pela falta de uma maior regularidade nas intervenções de reparação e reforço, expondo fragilidades visíveis através de inspeção visual e outras através de avaliação de comportamento dinâmico.

Com recurso à análise das medições contínuas executadas durante vários dias na base do Museu dos Combatentes e da Capela do Fundador, conclui-se que os valores máximos de velocidade de vibração não ultrapassam os valores adotados das normas alemã DIN 4150 e italiana UNI 9916 (2.5 mm/s), sendo o valor máximo medido de 1.69 mm/s.

Fazendo uma comparação entre as medições da velocidade de vibração deste trabalho com os resultados apresentados no relatório executado pelo Centro de Mecânica e Engenharia Estruturais da Universidade Técnica de Lisboa em 1989, existe um aumento considerável das ações impostas à estrutura. No relatório de 1989 os valores de velocidade medidos foram de dimensão insuficiente para serem considerados o que levou a que fossem apenas medidos deslocamentos. Nesta dissertação os valores medidos, não só são suficientemente importantes para serem contabilizados, chegando a ser superiores a metade do valor limite adotado.

Esta evolução das vibrações impostas na estrutura do Mosteiro da Batalha desde 1989 até 2016, pode ser associada ao aumento do tráfego que acompanha a evolução da economia e da sociedade. É de referir então que com a provável evolução do tráfego no futuro, será possível que os valores ultrapassem o máximo especificado normas alemã DIN 4150 e italiana UNI 9916 (2.5 mm/s) e que por essa razão imponham ações que podem introduzir danos estruturais e não estruturais no monumento.

Em relação às medições feitas nos vitrais do Octógono da Capela do Fundador, é de referir que a maior parte dos vitrais necessita de reparação da argamassa de fixação aos caixilhos. O seu estado através de inspeção visual apresenta variadas fissuras e desprendimento da estrutura do caixilho. Essa degradação é perceptível nas medições executadas através dos acelerómetros que revelaram diferenças de frequências de modos de vibração que representam diferenças substanciais na rigidez entre os vitrais.

No futuro as frequências dos dois primeiros modos de vibração, servirão de referência para novas medições e para comparação tanto da evolução da rigidez dos vitrais ao longo do tempo como também para verificar a eficácia de possíveis reparações e reforços.

6.2. Proposta de Trabalhos Futuros

Tendo em vista outras propostas para trabalhos futuros, são descritos alguns temas que sigam na mesma direção do presente trabalho, avaliando as condições de elementos estruturais e não estruturais do Mosteiro de Santa Maria da Vitória através de métodos de análise dinâmica:

- Identificação dinâmica de elementos não estruturais do Mosteiro
- Avaliação das características dinâmicas de vitrais de outros elementos do Mosteiro
- Criação de um sistema de monitorização contínuo de vibrações ambientes no Mosteiro da Batalha

Bibliografia

Azevedo, F. S. d., & Patrício, J. Vibrações ambientes. Critérios de danos e de incomodidade. Actualidade e perspectivas futuras (pp. 9): LNEC.

Borges, A. M. S. (2015). *Identificação das tipologias de paredes de alvenaria de enchimento e caracterização do sistema estrutural em edifícios existentes de betão armado*. (Mestrado), Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

Branco, J. M. P. F. (2005). Case Studies of Vibrations in Structures: Instituto de Engenharia de Estruturas, Território e Construção do Instituto Superior Técnico.

BSi. (1990). BS 7385-1:1990 Evaluation and measurement for vibration in buildings *Part 1: Guide for measurement of vibrations and evaluation of their effects on buildings* (Vol. BS 7385-1:1990). Inglaterra: BSi.

BSi. (1993). BS 7385-2:1993 - Evaluation and measurement for vibration in buildings *Part 2: Guide to damage levels from groundborne vibration* (Vol. BS 7385-2:1993). Inglaterra BSi.

Correia, A. A. (2007). Dinâmica - Vibrações de sistemas com 1 grau de liberdade (pp. 26). Lisboa: Instituto Superior Técnico.

D'Avino, G. A., Cubick, K., McKay, J., Newbery, R. S., Opperman, A. F., Sanchez, M., . . . Patel, E. Z. (2012). Current practices to address construction vibration and potential effects to historic buildings adjacent to transportation projects. EUA.

Ellis, P. (1987). Effects of traffic vibration on historic buildings. *The Science of the Total Environment*, 9.

Fernandes, J. P. S. (2014). *Avaliação das características dinâmicas de estruturas existentes*. (Mestrado), Universidade de Aveiro, Portugal.

Hunaidi, O. (2000). Traffic Vibrations in Buildings. *Construction Technology Update*, 39, 6.

João José Rio Tinto de Azevedo, Jorge Miguel S. F. M. Proença, & Branco, F. A. (1989). Mosteiro da Batalha - análise dos níveis de vibração provocados pelo tráfego rodoviário na EN1: CMEST.

João José Rio Tinto de Azevedo, F. A. B. (1990). Mosteiro da Batalha - Inspeção e avaliação estrutural: CMEST.

Johnson, A. P., & Hannen, W. R. (2015). Vibration Limits for Historic Buildings and Art Collections. *APT BULLETIN JOURNAL OF PRESERVATION TECHNOLOGY*, 46.

Kouroussisa, G., Conti, C., & Verlinden, O. (2014). Building vibrations induced by human activities: a benchmark of existing standards. *Mechanics & Industry*, 15, 9.

Lopes, V. A. M. (2009). *Identificação Mecânica e Avaliação do Comportamento Sísmico de Chaminés em Alvenaria*. (Mestrado), Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

Ltd, G. (2014). GeoDAS 2.27 (Version 2.27).

Lusa. (2013). Trânsito estraga mosteiro da Batalha. Retrieved 20/05/2016, 2016

Maps, G. (2016).

Mateus, D. (2014). Avaliação de vibrações ambientais em edifícios – critérios de admissibilidade. *CONSTRUÇÃO MAGAZINE*, 59, 2.

Mateus, D., & Pereira, T. (2014). Avaliação da influência de vibrações ambientais na estrutura de monumento antigo situado em Coimbra. *REHABEND 2014*, 8.

Muñoz, R., Magalhães, A. C., Cafezeiro, Y. G., & Oliveira, M. M. d. (2014). O carnaval de salvador e seus efeitos no forte de santo antônio da barra. *REHABEND 2014*, 8.

Notícias, J. d. (2013). Secretário de Estado quer desviar trânsito do Mosteiro da Batalha.

Pinho, M. Â. O. (2016). *Caracterização De Edifícios De Betão Armado Com Paredes De Alvenaria De Enchimento – Estudo Numérico E Experimental*. (Mestrado), Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

Público. (2014). Batalha apresenta medidas para travar danos estruturais ao Mosteiro causados por trânsito rodoviário. Retrieved 2016, 20/05/2016

Qualidade, D. G. d. (2015). NP - 2074 Avaliação da influência em construções de vibrações provocadas por explosões ou solicitações similares (Vol. NP - 2074, pp. 3). Portugal: Direção Geral da Qualidade.

Redol, P. (2011). *Batalha - Viagem a um Mosteiro desaparecido com James Murphy e William Beckford*. Portugal: Gráfica Almondina.

SeismoSoft. (2013). SeismoSignal.

Silva, J., & Redol, P. (2007). *Mosteiro da Batalha* (1 ed.). Espanha: Instituto Português do Património Arquitectónico; Scala Publishers.

Silva, T. M. d. O. (2010). *Avaliação da transmissão de vibração num edifício existente*. (Mestrado), Instituto Superior Técnico, Portugal.

Soares, S. D. C. (2009). *Vibrações induzidas em edifícios sensíveis devidas ao tráfego rodoviário*. (Mestrado), Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

Solutions, S. V. (2011). ARTeMIS Extractor Pro (Version 5.4).

STRUTTURE, U. (2004). UNI 9916:2004 - Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici (Vol. UNI 9916:2004). Italia.

Técnicas, A. A. B. d. N. (2005). NBR 9653:2005 *Guia para avaliação dos efeitos provocados pelo uso de explosivos nas minerações em áreas urbanas* (pp. 10). Brasil.

Vazão, F. J. M. (2015). *Levantamento e caracterização das patologias da Capela do Fundador do Mosteiro da Santa Maria da Vitória*. (Mestrado), IPL - Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Portugal.

Verdes, P. E. O. (2015). *Pela Defesa do Mosteiro da Batalha*. Retrieved 20/05/2016, 2016