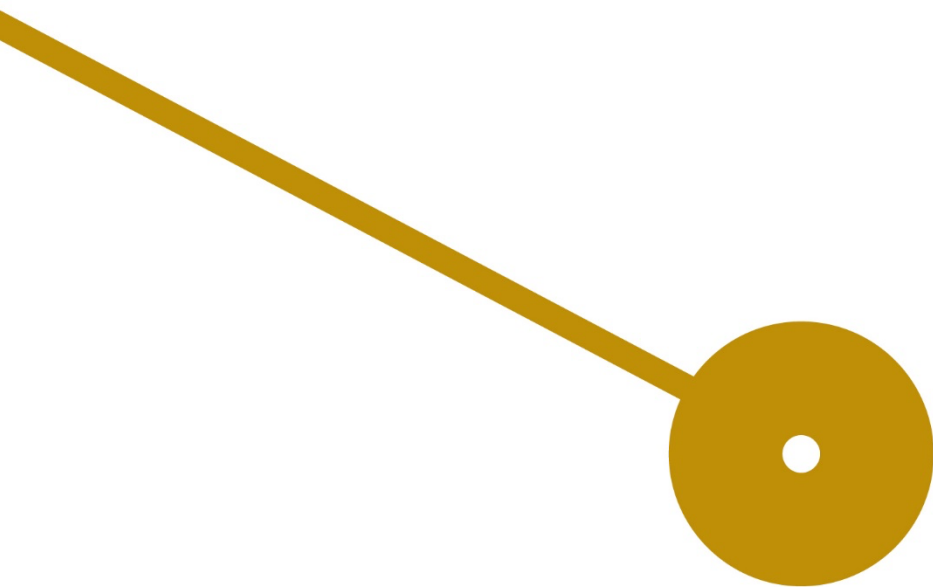




# Caracterização e *Sampling* do Órgão da Igreja de Santa Clara

Luís Eduardo Ventura Moreira

11/2022





# Caracterização e *Sampling* do Órgão da Igreja de Santa Clara

Luís Eduardo Ventura Moreira

Projeto apresentado à Escola Superior de Música e Artes do  
Espetáculo como requisito parcial para obtenção do grau de  
Mestre em Artes e Tecnologias do Som

## Orientadores

Prof. Pedro Emanuel de Oliveira Santos

Prof. Rui Miguel de Sousa Lima e Sá Ribeiro

Mestre-Organheiro Pedro Guimarães Von Röhden



*Dedico este trabalho à Beatriz e à Noa, por ter sido principalmente a elas que subtraí o tempo necessário para o concluir.*

## **Agradecimentos**

O presente projeto foi desenhado e desenvolvido com o apoio de várias pessoas e entidades, sem as quais, não teria sido possível chegar a este ponto. Não se trata de um ponto, porto de chegada, mas antes um ponto, porto de partida rumo à descoberta de projetos futuros nas áreas de estudo.

Aos meus orientadores, Prof. Pedro Emanuel Oliveira Santos e ao Prof. Rui Miguel Lima de Sá Ribeiro, um agradecimento especial pela motivação que sempre me inculiram, pelos conhecimentos partilhados, pela disponibilidade e objetividade demonstrada no processo de orientação.

Ao Mestre-Organheiro Pedro Guimarães Von Röhden, e Beate Von Röhden, pela forma como me acolheram na Oficina e Escola de Organaria, pelos ensinamentos da arte da organaria, do restauro de instrumentos históricos e do respeito pelos saberes ancestrais de bem fazer.

Ao Professor Mário Azevedo, por me ter ajudado a ouvir e a ver melhor.

Ao Prof. Gustavo Almeida do Laboratório de Acústica da ESMAE, pela disponibilização dos equipamentos para realização dos ensaios acústicos.

À Raquel Faria, minha companheira, pelo apoio incondicional e paciência demonstrada ao longo deste trabalho, sobretudo no processo disciplinador dos trabalhos de casa.

Ao musicólogo e organista Nuno Mimoso, pelo apoio durante as gravações de excertos musicais, e pelas conversas de partilha de conhecimento.

Ao cravista e organista Miguel Jaloto, pela disponibilidade demonstrada no esclarecimento de questões históricas relacionadas com o órgão, a música e as artes.

Ao Padre Paulo Pais, responsável pela Igreja de Santa Clara, pelo apoio prestado durante a realização dos ensaios acústicos e gravações.

À Direção Regional de Cultura do Norte, pelo trabalho desenvolvido na preservação do património organístico português e pela disponibilização de imagens e conteúdos.

## Resumo

A arte organística surge por vezes isolada na História, mas percorre na realidade um caminho com múltiplos cruzamentos, aproximações e afastamentos a outras áreas do saber. O objetivo deste trabalho é estudar e estabelecer pontes entre as diferentes áreas científicas e artísticas que integram o restauro do órgão da Igreja de Santa Clara, a caracterização acústica do espaço e a sua gravação para arquivo.

A identificação e qualificação, das principais características históricas da organaria Ibérica, da Igreja de Santa Clara e do seu órgão basearam-se numa revisão bibliográfica focalizada. A caracterização acústica do instrumento e do espaço envolvente foi obtida por meio de testes acústicos realizados para determinação de parâmetros objetivos, como o Tempo de Reverberação e a Inteligibilidade da Palavra. A gravação sistemática, e criteriosa de todas as notas produzidas pelos vários registos do instrumento permitiu a sua exata descrição sonora no presente, e constitui material essencial para a futura criação e programação de um instrumento virtual.

**Palavras-chave:** Acústica, análise espectral, igreja, órgão Ibérico, organaria, *sampling*.

## **Abstract**

The art of Organ Building although occasionally isolated in History description, actually follows a path with multiple crossings and deviations with other scientific and artistic areas of knowledge development. This project aims to translationally study the organ of the Santa Clara's church in Porto (Portugal): from its restoration to the acoustic characterization of the organ and its environment and, ultimately, its sound recording and archive to integrate a sound library.

The identification and classification of the main historical characteristics of the Iberian Organ Building, Santa Clara's Church and its organ were based on focused literature review. The acoustic characterization of the instrument and the space around it were obtained by acoustic tests carried out to determine objective parameters, such as Reverberation Time and Speech Transmission Index. The recording of all the notes produced by the various organ's stops were systematic and judicious allowing the exact sound description of the instrument in the present and support essential material to the future creation and programming of a virtual instrument.

**Keywords:** Acoustics, church, Iberian organ, organ building, sampling and spectral analysis

# Índice Geral

<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>IX</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS</b>	<b>X</b>
<b>CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1. ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA	2
<b>CAPÍTULO II – O ÓRGÃO: ENQUADRAMENTO HISTÓRICO</b>	<b>3</b>
2.1. O ÓRGÃO E A SUA ORIGEM	3
2.2. O ÓRGÃO IBÉRICO	5
<b>CAPÍTULO III – CARACTERIZAÇÃO ACÚSTICA DO ESPAÇO</b>	<b>8</b>
3.1. A IGREJA DE SANTA CLARA	9
3.2. CARACTERIZAÇÃO ACÚSTICA	14
3.2.1. DESCRITORES ACÚSTICOS SUBJETIVOS	14
3.2.2. DESCRITORES ACÚSTICOS OBJETIVOS	16
3.2.2.1. DESCRIÇÃO METODOLÓGICA DAS MEDIÇÕES	17
3.2.3. DETERMINAÇÃO TEÓRICA DO TEMPO DE REVERBERAÇÃO DA IGREJA DE STA. CLARA	25
<b>CAPÍTULO IV - CARACTERIZAÇÃO DO ÓRGÃO DA IGREJA DE SANTA CLARA</b>	<b>28</b>
4.1. O ÓRGÃO DA IGREJA DE SANTA CLARA	28
4.2. CARACTERIZAÇÃO ORGANOLÓGICA E RESTAURO DO INSTRUMENTO	29
4.3.1. TUBARIA OU CANARIA	32
4.3.2. CAIXA DO ÓRGÃO E CONSOLA	37
4.3.3. SOMEIRO	38
4.3.4. MECÂNICA DAS NOTAS E REGISTOS	40
4.3.5. SISTEMA DE VENTO	41
4.4. CARACTERIZAÇÃO ACÚSTICA DO INSTRUMENTO	42
4.5. ANÁLISE ESPECTRAL	44
<b>CAPÍTULO V - O SAMPLING DO ÓRGÃO DA IGREJA DE STA. CLARA.</b>	<b>48</b>
5.1. O SAMPLING DE INSTRUMENTOS MÚSICAIS	48
5.2. CONCEPTUALIZAÇÃO DO INSTRUMENTO VIRTUAL	51
5.3. DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE RECOLHA DAS AMOSTRAS SONORAS	53
5.3.1. TÉCNICAS DE CAPTAÇÃO	54
5.3.2. PROCEDIMENTOS	54
5.4.3. DADOS GERAIS	58

<b>CAPÍTULO VI - CONCLUSÃO</b>	<b>59</b>
--------------------------------	-----------

---

<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>61</b>
-----------------------------------	-----------

## Índice de figuras

FIGURA 1 - FOTOGRAFIA DA FACHADA DO ÓRGÃO DA IGREJA DE SANTA CLARA, GENTILMENTE CEDIDA POR CARLOS SOUSA PEREIRA. _____	7
FIGURA 2 - PLANTA DA IGREJA DE SANTA CLARA. _____	12
FIGURA 3 - CORTE LONGITUDINAL DA IGREJA DE STA. CLARA (VISTA LADO DO EVANGELHO). _____	12
FIGURA 4 - CORTE TRANSVERSAL DA IGREJA DE STA. CLARA (À ESQUERDA VISTA DO ALTAR MOR; À DIREITA VISTA DO CORO ALTO). _____	12
FIGURA 5 - PLANTA DA IGREJA DE SANTA CLARA COM A POSIÇÃO DA FONTE SONORA E DO MEDIDOR. _____	18
FIGURA 6 - INTERIOR DA NAVE DA IGREJA DE STA. CLARA; CONDIÇÕES DE MEDIÇÃO - 12 DE MARÇO DE 2021. _____	20
FIGURA 7 - INTERIOR DA CAPELA-MOR DA IGREJA DE STA. CLARA; POSIÇÃO DA FONTE SONORA - 12 DE MARÇO DE 2021. _____	20
FIGURA 8 - CURVA DAS MEDIÇÕES DOS TEMPOS DE REVERBERAÇÃO EM 1/3 DE OITAVA (T20). _____	21
FIGURA 9 - CURVA DAS MEDIÇÕES DOS TEMPOS DE REVERBERAÇÃO EM 1/3 DE OITAVA (T30). _____	21
FIGURA 10- CORTE DA NAVE DA IGREJA (EM CIMA) E PLANTA (EM BAIXO) COM IMAGEM IRIS 2D. _____	23
FIGURA 11 - FACHADA OU FRONTARIA DO ÓRGÃO DA IGREJA DE STA. CLARA. _____	29
FIGURA 12 - VISTA DA IGREJA DE STA. CLARA, LADO CORO-ALTO. _____	30
FIGURA 13: VISTA LATERAL DO SOMEIRO - MÃO ESQUERDA      FIGURA 14: VISTA LATERAL DO SOMEIRO - MÃO DIREITA _____	31
FIGURA 15 - DESENHO TÉCNICO COM A DISPOSIÇÃO DOS REGISTOS NO SOMEIRO. _____	31
FIGURA 16: COMPOSIÇÃO DOS REGISTOS DE VÁRIAS FILAS _____	32
FIGURA 17- SOMEIRO ANTES E DEPOIS DA AÇÃO DE RESTAURO. FOTOGRAFIA GENTILMENTE CEDIDA PELA OFICINA E ESCOLA DE ORGANARIA DE ESMORIZ. _____	33
FIGURA 18: CORTE TRANSVERSAL DO ÓRGÃO – DESENHO TÉCNICO DA AUTORIA DO ARQ. JOÃO VALÉRIO, DISPONIBILIZADO PELA OFICINA E ESCOLA DE ORGANARIA DE ESMORIZ _____	36
FIGURA 19 - CONSOLA DO ÓRGÃO DE STA. CLARA. FOTOGRAFIA GENTILMENTE CEDIDA POR CARLOS SOUSA PEREIRA. _____	37
FIGURA 20 - VISTA SUPERIOR DA TUBARIA E SOMEIRO. _____	39
FIGURA 21 - VISTA FRONTAL DA CONSOLA, REGISTOS E TRANSMISSÃO DAS NOTAS. _____	40
FIGURA 22 - VISTA INTERIOR DOS FOLE E SISTEMA DE VENTO. _____	42
FIGURA 23: DIFERENÇA DE TEMPERAMENTOS EM CENT _____	44
FIGURA 24: GRÁFICO DA RESPOSTA EM FREQUÊNCIA DO MICROFONE GEFELL M930, UTILIZADO NAS GRAVAÇÕES. _____	45
FIGURA 25 - ESPETROGRAMAS DE VÁRIOS REGISTOS COM A INTENSIDADE RELATIVA DOS DIFERENTES COMPONENTES HARMÓNICOS. _____	46
FIGURA 26 - SETUP DE GRAVAÇÃO. _____	47
FIGURA 27 - MICROFONES NO INTERIOR DA CAIXA DO ÓRGÃO. _____	47
FIGURA 28 - DISTRIBUIÇÃO DA POSIÇÃO DOS MICROFONES DURANTE OS ENSAIOS PRELIMINARES. _____	55
FIGURA 29 - POSIÇÃO DE MICROFONES DURANTE AS GRAVAÇÕES. _____	56
FIGURA 30 - ORGANIZAÇÃO DOS FICHEIROS ÁUDIO. _____	57
FIGURA 31 - POSIÇÃO DO MICROFONE PAR MS E SETUP DA FASE PRELIMINAR. _____	58

## Índice de tabelas

TABELA 1 - DIMENSÕES DA IGREJA DE STA. CLARA. _____	13
TABELA 2 - ÁREAS DE SUPERFÍCIE DA IGREJA DE STA. CLARA. _____	13
TABELA 3 - VOLUMETRIAS DA IGREJA DE STA. CLARA. _____	13
TABELA 4 - PARÂMETROS ACÚSTICOS SUBJETIVOS PARA A IGREJA DE STA. CLARA. ADAPTADO DE (LOPES DA SILVA, 2008)	16
TABELA 5 - TEMPO DE REVERBERAÇÃO (MEDIÇÃO A 12 DE MARÇO DE 2021). _____	19
TABELA 6 - TEMPO DE REVERBERAÇÃO (MEDIÇÃO A 22 DE JUNHO DE 2021). _____	19
TABELA 7 - DESCRITORES ACÚSTICOS (MEDIÇÃO A 12 DE MARÇO DE 2021). _____	20
TABELA 8 - MEDIÇÕES DOS TEMPOS DE REVERBERAÇÃO EM 1/3 DE OITAVA (T20). _____	21
TABELA 9 - MEDIÇÕES DOS TEMPOS DE REVERBERAÇÃO EM 1/3 DE OITAVA (T30). _____	21
TABELA 10 - CARACTERÍSTICAS ACÚSTICAS COMPARATIVAS DE QUATRO IGREJAS HISTÓRICAS DO PORTO. _____	22
TABELA 11 - COEFICIENTES DE ABSORÇÃO SONORA. _____	26
TABELA 12 - SUPERFÍCIE DE ABSORÇÃO SONORA E TOTAL E COEFICIENTE DE ABSORÇÃO MÉDIO. _____	26
TABELA 13 - TEMPOS DE REVERBERAÇÃO ESTIMADOS PELA EQUAÇÃO E EYRING E TEMPO DE REVERBERAÇÃO OBTIDO PELO IRIS. _____	27
TABELA 14 - COMPOSIÇÃO DO ÓRGÃO DA IGREJA DE STA. CLARA. _____	31
TABELA 15 - FLAUTADO DE 12 PALMOS ABERTO – MÃO ESQUERDA. _____	34
TABELA 16 - OITAVA REAL – MÃO ESQUERDA. _____	34
TABELA 17 - DOZENA – MÃO ESQUERDA. _____	34
TABELA 18 - BAIXÃO – MÃO ESQUERDA. _____	34
TABELA 19 - FLAUTADO DE 12 PALMOS ABERTO – MÃO DIREITA. _____	35
TABELA 20 - FLAUTA TRAVESSA – MÃO DIREITA. _____	35
TABELA 21 - PÍFANO – MÃO DIREITA. _____	35
TABELA 22 - CLARIM - MÃO DIREITA. _____	35
TABELA 23 - VALORES DE HUMIDADE E TEMPERATURA NA NAVE DA IGREJA DE STA. CLARA. _____	43
TABELA 24 - TEMPERAMENTO DO ÓRGÃO DA IGREJA DE STA CLARA. _____	43



## CAPÍTULO I - Introdução

O fascínio pelos órgãos históricos (instrumentos musicais, obras de arte e máquinas arcaicas resistentes ao tempo e à mudança, capazes de produzir uma sonoridade ímpar) levou-me à descoberta do maravilhoso mundo da organaria.

O património organístico português, pela sua relevância e qualidade, merece ser afirmado num contexto que ultrapasse os limites geográficos do país, no entanto, há ainda um caminho percorrer para o seu reconhecimento.

No caso particular da cidade do Porto, o início do último ciclo de sensibilização para a importância do órgão aconteceu durante a instalação do grande órgão da Sé do Porto em 1985. Este órgão foi construído pela firma Alemã do organeiro George Jann, que 10 anos mais tarde construiu o grande órgão da Igreja da Lapa. Estes dois projetos envolveram várias instituições e promoveram o entusiasmo pela formação, culminando na criação de várias escolas de organaria em Portugal e de uma Oficina e Escola de organaria. Sucederam-se instalações de órgãos novos e a recuperação e restauro de alguns dos mais importantes exemplares da organaria Ibérica dos Sec. XVII, XVIII e XIX: os órgãos da Igreja de São Francisco, São Lourenço, Mosteiro de São Bento da Vitória, Mosteiro de Grijó, Santo Ildefonso e Clérigos, entre outros.

A existência de diferentes tipos de instrumentos na cidade do Porto (Barrocos, Ibéricos e Sinfónicos/Românticos), transformou a oferta cultural e tornou possível a apresentação pública de diferentes repertórios e instrumentistas, em vários ciclos de concertos, conferências e festivais.

O percurso de divulgação da sonoridade dos instrumentos não se esgota na sua apresentação pública em concertos e no seu uso durante a liturgia, a sua divulgação e constituição de arquivo, para memória futura, passa pela digitalização da sua "assinatura sonora".

À semelhança do que aconteceu com outros órgãos históricos no mundo, a necessidade de democratização da sonoridade do instrumento levou à criação de instrumentos virtuais. Um dos muitos casos de sucesso no desenvolvimento de instrumentos virtuais é empresa Americana *Milan Digital Audio*, detentora da *Hauptwerk (Virtual Instruments)*. Através da divulgação e comercialização do som de alguns dos mais importantes instrumentos conseguem o duplo objetivo da divulgação e preservação do legado sonoro.

A exploração das potencialidades do órgão como instrumento multi-tímbrico, quer pela sua dimensão física, quer pela experiência sonora inseparável de um contexto acústico imersivo, tornam este trabalho mais estimulante no que se refere à captação para

*sampling* (desenvolvimento de uma biblioteca de sons para criação de instrumentos virtuais).

O conhecimento da mecânica do instrumento, pela proximidade ao processo de restauro e ao modo de produção sonora dos tubos, não sendo condição obrigatória, favorece a organização das metodologias para o desenvolvimento do presente projeto que, de forma translacional, integra as componentes práticas do restauro e caracterização do órgão da Igreja de Sta. Clara, o estudo acústico do espaço envolvente e a organização da biblioteca de sons para criação do instrumento virtual. Esta abordagem limita a profundidade da descrição de cada uma delas, mas favorece o conhecimento integrado do todo.

### **1.1. Organização e estrutura**

O presente projeto foi realizado no âmbito do Mestrado em Artes e Tecnologias do Som da Escola Superior de Música e Artes do Espetáculo, com o objetivo académico de aprofundar os conhecimentos em organaria, na relação funcional entre o órgão e o espaço acústico e nos processos de *sampling*.

O trabalho está dividido em 4 partes principais:

- Capítulo II - Enquadramento histórico do órgão. Uma abordagem geral à sua origem e desenvolvimento na Europa, na Península Ibérica e em Portugal.
- Capítulo III - Caracterização Acústica do Espaço. Resumo histórico da acústica das igrejas, descrição arquitetónica da Igreja de Santa Clara. Os parâmetros acústicos mais relevantes medidos *in situ*, pelo método da fonte interrompida e varrimento de onda com recurso ao programa IRIS 3D. Determinação teórica do Tempo de Reverberação através da fórmula de Eyring.
- Capítulo IV - Caracterização do Órgão da Igreja de Santa Clara. Descrição organológica do instrumento. Trabalhos de restauro das várias partes do órgão e caracterização acústica dos registos.
- Capítulo V - *Sampling* do Órgão da Igreja de Santa Clara. O *sampling* de instrumentos virtuais, metodologia e procedimentos durante a recolha das amostras sonoras com vista à implementação futura de um instrumento virtual.

## CAPÍTULO II – O órgão: Enquadramento Histórico

### 2.1. O Órgão e a sua origem

A origem do órgão, como instrumento, remonta ao Sec. III a.C. e é atribuída ao grego Ctesíbio de Alexandria, inventor e construtor de mecanismos, que criou o órgão hidráulico – *Hydraulus* ou *Organum Hydraulicum* –, utilizando nessa invenção os seus conhecimentos de mecânica, hidráulica e física. Este instrumento teria sido, mais tarde, aperfeiçoado por Arquimedes (287 a.C. - 212 a.C.).

As referências Bíblicas do Antigo Testamento, de período histórico anterior a Ctesíbio, relativas ao “órgão” poderão estar relacionadas com erros de interpretação na tradução do Hebraico para o Grego e deste para outras línguas: a palavra *organon* que em Grego significa “instrumento”, suscita dúvidas semânticas quando essas referências ocorrem. No início da criação do instrumento terá estado uma experiência com um vaso invertido colocado numa coluna de água e com uma abertura onde encaixava uma trombeta. Ao acrescentar água à coluna ou empurrar o vaso contra a coluna de água a trombeta produzia um som poderoso, por compressão da coluna de ar que se situava dentro do vaso. Esta experiência pode ter empurrado Ctesíbio para a criação de algo mais elaborado. A inspiração para a invenção do *Hydraulus* teria origem nos instrumentos de sopro arcaicos como a flauta de pan (já referenciadas em períodos históricos anteriores, em particular no Oriente), que era constituída por tubos de diferentes tamanhos dispostos em fila e que soavam com o vento proveniente da boca do instrumentista ou tangedor.

O funcionamento do sistema de vento no órgão hidráulico seria semelhante ao sistema pneumático que mais tarde se desenvolveu, composto por um reservatório de ar alimentado por bombas acionadas manualmente. A principal diferença residia na forma como a pressão do ar era mantida: através da massa de água que envolvia o reservatório de ar e garantia assim uma pressão uniforme. Os 8 a 12 tubos estavam dispostos numa fila, afinados de acordo com modos gregos antigos. Os tubos, aparentemente labiais, produziam som por efeito do vento que os atravessava, como uma flauta, por ação de uma alavanca ou mecanismo semelhante a uma tecla.

A sua introdução na Europa ocidental terá acontecido no Sec. VIII e é atribuída ao Imperador Constantino V *Kopronymos* (741-775), como oferenda ao Rei Pepino (714 - 768) “O Breve” de França.

O primeiro grande marco na evolução do instrumento ocorreu no Séc. IX, com a introdução da componente pneumática, imposta em primeiro lugar pelas limitações do uso da água a temperaturas inferiores a zero graus Celsius. Esta inovação possibilitou

a melhoria da autonomia do instrumento, o aumento do número dos registos e das dimensões dos tubos. Na Idade Média os órgãos eram usados habitualmente durante celebrações pagãs, torneios, banquetes e teatros, no entanto, a generalização da sua utilização na Igreja Católica catapultou o seu desenvolvimento ao longo dos tempos.

Terá sido por volta do Séc. IX, como afirma Manuel Valença, em *A Arte Organística em Portugal (c. 1326 - 1750)*, que o órgão se começou a vulgarizar na Alemanha, França e Inglaterra, dedicando-se vários monges à sua construção e aperfeiçoamento técnico. Ao princípio a função do órgão servia para o treino das vozes, para manter a altura de som do canto e melhorar a entoação das melodias cristãs.

No Séc. X a Catedral de Winchester, no Reino de Inglaterra, teria já um órgão com 400 tubos e um teclado manual com 40 notas. (Neville H. Fletcher, 1998)

É sabido que a complexidade mecânica do instrumento e a sua estrutura tímbrica sofreram alterações, adaptando-se às exigências dos executantes, às tendências dos períodos históricos, compositores e às inovações introduzidas e desenvolvidas pelos construtores.

Segundo afirmam alguns historiadores, H. Klotz, in *Über die Orgelkuntz*, terá sido no início do Sec. XIV que se começam a dar os primeiros passos para uma arte organística independente. Querem com isto dizer que o órgão deixaria de ser um instrumento de apoio às vozes, que se limitaria a duplicar a informação musical e ou antecipar o que ia ser cantado dando o tom, para passar a ter independência artística e literatura musical própria.

Foi durante o período Barroco, nos Séc. XVII e XVIII que a arte organística europeia atingiu o seu apogeu, em especial na Alemanha, Inglaterra, Países Baixos, Itália e França. Um dos nomes mais influentes da organaria europeia foi o construtor alemão Arp Schnitger (1648 - 1719), com mais de 170 instrumentos construídos, dois deles enviados para Portugal em 1701. Um desses instrumentos encontra-se na Igreja paroquial de Moreira da Maia, ainda em funcionamento. Mais tarde destacaram-se os irmãos Silbermann, Andreas Silbermann (1678 - 1734) que se fixou na Alsácia e Gottfried Silbermann (1683 - 1753) na Saxónia, ambos exímios construtores de instrumentos de tecla.

Um dos primeiros tratados de organaria, e talvez o mais completo e detalhado, sobre a arte da construção de órgãos foi editado e impresso em Paris no ano de 1766, escrito pelo monge Beneditino, Dom Bedos de Celles, para a Academia das Ciências de Paris, com o título *L'Art du Facteur D'Orgues*. (Celles, 1766) A publicação é constituída por 2 volumes, o primeiro teórico com descrições matemáticas, físicas, mecânicas e técnicas construtivas do instrumento, e o segundo volume com desenhos técnicos de projetos e processos construtivos. Na península ibérica é possível encontrar alguns manuscritos

desse período, finais do Sec. XVII e inícios do Sec. XVIII, nomeadamente os do Frei Franciscano, Pablo Nassarre (1654 -1730), editado em 1724 em Zaragoza, contudo não possuem o detalhe e rigor da publicação de Bedos de Celles.

Como compositores e organistas destacaram-se nesse período, entre outros, o italiano Girolamo Frescobaldi, (1583 - 1643), o francês Francois Couperin (1668 - 1733) e o alemão Johann Sebastian Bach (1685 - 1750).

No Séc. XIX, durante o período Romântico a figura maior da organaria foi o construtor francês Aristide Cavaillé-Coll (1811 - 1899). Uma das suas obras mais emblemáticas é o órgão da Catedral de Notre-Dame em Paris.

Por toda a Europa vão surgindo alterações estéticas e funcionais do órgão, de acordo com as tendências da época, mas sobretudo de acordo com as necessidades. A funcionalidade do instrumento para o culto religioso não seria igual em toda a Europa: enquanto em alguns locais o órgão acompanharia a assembleia, noutras partes, em particular na Península Ibérica, a realidade parece ter sido distinta e o órgão serviria de suporte às vozes do coro ou solista, tocando por vezes alternado com este. Estes factos aliados às diferenças de volumetria dos templos, fizeram com que não houvesse necessidade de ter instrumentos de grandes dimensões, em particular em Portugal, capazes de produzir grandes massas sonoras, dispensando assim os registos mais graves 16', 32' ou 64' pés, normalmente acionados por pedaleira, existentes noutros órgãos europeus.

Com o aumento de popularidade das grandes orquestras, durante o período clássico e romântico, o órgão perde protagonismo, e a arte organística entra em declínio. Esse pode ter sido o motivo para construtores como Cavaillé-Coll empreenderem esforços para reinventar o rei dos instrumentos.

## **2.2. O Órgão Ibérico**

O Órgão Ibérico genericamente designado por Barroco, poderá ser entendido como uma entidade sonora e funcional que ultrapassa a mera condição estética e geográfica, como aparentemente se pode fazer acreditar. Apesar de ser na Península Ibérica que se desenvolveu plenamente, pelo trabalho dos construtores da época, e onde se encontra a quase totalidade dos instrumentos existentes, é possível encontrar instrumentos com características idênticas na América do Sul e Ásia, consequência da relação histórica e geopolítica com países desses continentes. Durante os Sec. XVII e XVIII, a organaria na Península Ibérica desenvolveu-se de forma homogénea, pela relativa liberdade de circulação dos construtores em permanente contacto com a obra dos seus pares. A organaria Ibérica é sobretudo fruto do contributo de diferentes escolas de organaria da

europa, que estabeleceram pontes, adaptando-se às circunstâncias e necessidades locais. Algumas das soluções técnicas tomadas, como a ausência da totalidade das notas na primeira oitava, (oitava curta) e a existência de apenas um teclado manual são soluções condicionadas pela economia de recursos, que posteriormente são otimizadas, passando gradualmente a ser a assinatura deste tipo de organaria.

De acordo com alguns investigadores, como Marco Brescia, a origem do órgão Ibérico está associada ao órgão de raiz castelhana, de teclado partido criado entre 1560-1570 e composto por Flautado Principal de 12 palmos na fachada, normalmente em metal, e desdobrado nos registos de Oitava, Dozena, Quinzena, Dezanovena, Cheio e Símbala. Os registos de palheta com ressoador curto, como a Dulçaina poderiam encontrar-se no interior ou no exterior da caixa do órgão. Mais tarde os registos de palheta com ressoar longo como a trombeta Real, passariam para o exterior da caixa e em chamada, ou seja, no plano horizontal. Associado a este modelo de construção está a escola de organaria do mestre organeiro Basco, Frei Joseph de Eizaga Echevarría, que viveu em meados do Séc. XVII e se instalou na Galiza. Existem outras referências a manuscritos sobre a arte da organaria em Espanha em finais do Sec. XVII e início do Sec. XVIII atribuídos a Pablo Nassarre (*“Escuela Música”* Livro IV, Capítulo XIX) e na Catalunhã ao mestre organeiro Bernabeu Triay (1670 -1710) (Tafall, 1872). Como manual de referência na arte da organaria Ibérica foi publicado em Santiago de Galícia (Compostela) 1872, o primeiro de quatro volumes do tratado de organaria de D. Mariano Tafall - *Arte Completo del Constructor de Organos*. Apesar de ter sido publicado tardiamente o tratado faz referência à arte de construir instrumentos com carácter Ibérico / Barroco.

Os construtores que se fixaram em Portugal, provenientes do norte da Europa, influenciaram diretamente, através dos seus trabalhos, a forma de construir e pensar as funcionalidades do instrumento. São a marca dessa “globalização” fora do tempo, a presença de organeiros como Miguel Hensberg, natural de Bruxelas, que viveu no Porto entre 1685 e 1700 e construiu entre outros um órgão para o Mosteiro de Santa Cruz em Coimbra, Johann Heinrich Hullenkampf, discípulo de Arp Schnitger que se estabeleceu em Lisboa no início do Séc. XVIII, e construiu vários exemplares de elevada qualidade estética e técnica, como o órgão da Igreja de São Francisco em Lisboa em 1711, do Convento do Carmo em 1721, e o órgão da Sé de Faro. A influência da organaria Italiana é exercida pela presença do organeiro Dom Pascual Caetano Oldovino (1720 - 1785), que construiu entre outros o órgão da Sé de Évora.

São referências da organaria Ibérica em Portugal, entre outros: Padre Manuel Lourenço da Conceição, mestre construtor na Sé do Porto entre 1717 - 1733, Francisco António Solha (1731 - 1794), natural da Galiza, António Xavier Machado e Cerveira (1756 - 1828) e Manuel de Sá Couto (1768 - 1837).

Relativamente às técnicas construtivas e características dos instrumentos, os someiros e os teclados construídos na primeira metade do Sec. XVIII dispunham geralmente de oitava curta, a primeira oitava da mão esquerda não possuía os primeiros 4 acidentes (Dó#, Ré#, Fá# e Sol#), poupando desta forma muito material na construção de tubos e reduzindo os custos do instrumento, considerando que é necessário mais material para a construção dos tubos da primeira oitava, que para a construção das restantes oitavas. A extensão dos teclados estava compreendida entre Dó<sup>1</sup> e Ré<sup>5</sup> e após este período a extensão do teclado é aumentada até Fá<sup>5</sup>, passando no final do Sec. XVIII a ter a primeira oitava completa e um teclado com 54 notas.

Os Órgãos Ibéricos possuem apenas um manual, existindo algumas raras exceções de instrumentos com dois manuais, correspondendo sempre o manual de cima ao grande órgão e o manual de baixo a um expressivo ou caixa de ecos. Esta forma de organização dos teclados, diferente do resto da Europa, prende-se com questões funcionais da transmissão mecânica das notas. O teclado manual está dividido em duas partes, mão esquerda e mão direita, possuindo registações diferentes para cada uma delas. A mão esquerda está compreendida entre o Dó<sup>1</sup> e Dó<sup>3</sup> (oitava completa) e a mão direita entre Dó<sup>#3</sup> e Fá<sup>5</sup>. A nomenclatura dos registos vem comumente associado ao comprimento do tubo maior que gera a primeira nota e a unidade de medida utilizada é o palmo. Como exemplo, um tubo de 12 palmos tem correspondência ao de 8 pés.

O Órgão Ibérico não possui pedaleira e tem habitualmente os tubos de palheta na fachada em plano horizontal - tubos em chamada. Estes registos de palheta justificam a existência da escrita das “Batalhas” – peças musicais criadas principalmente para órgão Ibérico, onde a utilização dos registos de palheta é plenamente justificada.



Figura 1 - Fotografia da fachada do órgão da Igreja de Santa Clara, gentilmente cedida por Carlos Sousa Pereira.

### **CAPÍTULO III – Caracterização Acústica do Espaço**

O tema da caracterização acústica dos espaços assume extrema importância quando se trata de espaços destinados à prática musical ou ao uso da palavra porque qualquer espaço físico funciona como uma caixa de ressonância. Quando existe um órgão, pelas dimensões e capacidade sonora deste, o espaço acústico funciona como a segunda caixa de ressonância do instrumento, não menos importante do que a caixa que encerra os tubos. Existe uma dependência direta entre a sonoridade do instrumento e a resposta acústica do espaço. A caracterização acústica do espaço e a determinação da sua resposta impulsiva poderão ser úteis, em projetos futuros, no processo implementação das funcionalidades do Instrumento Virtual, nomeadamente na criação de reverberação artificial por convulsão, que replique acusticamente o espaço e permita por adição ou subtração fazer a gestão acústica da modelação do espaço na sonoridade do instrumento. Mesmo não fazendo parte do presente projeto, esta abordagem beneficiará os resultados de trabalhos futuros.

Historicamente a importância dada pelas diferentes instituições religiosas ao uso da palavra, foi moldando as necessidades de ajustar a acústica dos espaços dedicados ao culto e à adoração. Se considerarmos os espaços dedicados ao culto, como um canal de comunicação onde um sinal, que contém informação, é emitido num dos extremos desse meio e é recebido e interpretado no outro extremo, podemos compreender a necessidade de alterar as propriedades do meio de transmissão para favorecer a comunicação eficiente de determinado tipo de sinais acústicos. (Kiser, 2001)

Para cada tipo de sinal deverá existir um conjunto ótimo de propriedades do meio para que a informação contida no sinal possa ser decodificada da forma mais eficiente possível. Este conceito aplica-se tanto às práticas musicais como ao uso da palavra.

Um espaço onde a dispersão do sinal no tempo é baixa (pouco reverberante) tende a ser mais eficiente para a inteligibilidade do discurso durante o uso da palavra. Em contrapartida um espaço onde a dispersão do sinal no tempo é mais elevada, ou seja, mais reverberante, tende a ser menos eficiente para o uso da palavra e mais eficiente para práticas musicais.

Na génese da história da igreja católica e do cristianismo o uso da palavra desempenha um papel primordial. As primeiras reuniões aconteciam ao ar livre ou em espaços abertos, como anfiteatros, onde o único código de comunicação seria o discurso falado e o meio de comunicação seria o menos reverberante possível. A partir do Séc. IV, com o reconhecimento da igreja católica pelo Imperador Romano Constantino, são construídos os primeiros templos, basílicas romanas, com grandes dimensões e excessivamente reverberantes. O uso da palavra nestas condições acústicas tornar-se-



ia praticamente impercetível. A liturgia, por força das circunstâncias, deixaria de ser falada e passaria a ser cantada com cerimoniais de maior formalismo e com coros treinados para responder de forma cantada. (Kiser, 2001) Esta característica acústica é agravada durante o período gótico, com o incremento da volumetria dos espaços por aumento da altura nas naves das igrejas.

Mais tarde com a criação das primeiras ordens religiosas, Séc. XIII, a alteração dos espaços visa a adaptação dos locais de culto ao número de participantes, com o objetivo claro de favorecer o uso da palavra, criando condições para que a assembleia possa ouvir e ver claramente o celebrante. Surgem assim igrejas de nave única de menor volumetria. Mais tarde, a partir do Séc. XVI com a reforma Protestante da Igreja, foram sendo progressivamente implementadas alterações estéticas e arquitetónicas com a dupla função de impressionar os fiéis e criar condições ótimas para a compreensão da palavra e da música, culminando no Estilo Barroco, onde, por questões práticas deste projeto terminamos o percurso de descrição sumária da evolução acústica dos templos.

### **3.1. A Igreja de Santa Clara**

A Igreja de Santa Clara, construída no Sec. XV, integra o edificado do antigo convento da ordem das Clarissas e foi classificada como Monumento Nacional por Decreto de 16 de junho de 1910. Está situada no Centro Histórico do Porto, classificado pela UNESCO como Património Mundial desde 1996, mais precisamente no Largo Primeiro de Dezembro, na união de freguesias de Cedofeita, Santo Ildefonso, Sé, Miragaia, São Nicolau e Vitória, junto à muralha Fernandina. Tem sofrido, desde a sua construção intervenções estruturais e estéticas que foram de encontro às tendências da época. O monumento, de estrutura arquitetónica religiosa gótica, renascentista e barroca, é um dos exemplares mais exuberantes do período barroco joanino em Portugal.

A igreja desenvolve-se em planta longitudinal composta por nave única, capela Mor e Coro-alto em eixo, com o portal principal na parede do lado norte.

Na nave da igreja existem 8 altares com retábulos em talha barroca dourada, 3 do lado do evangelho e 5 do lado da epístola. O teto é de igual forma revestido por talha barroca dourada e pintada, formando abobada de arestas. A capela-Mor revestida a talha dourada tem fenestração simétrica e uma tela de grandes dimensões com a última ceia na parte posterior do altar-Mor. A nave comunica com o coro alto e com as galerias superiores laterais através de janelas gradeadas, com portadas de madeira. Esta continuidade espacial pode contribuir de forma clara para um incremento da volumetria do espaço com expectável interferência no desempenho acústico, nomeadamente no tempo de reverberação. No presente projeto não foi contemplada a abertura das

portadas de madeira que permitem a continuidade espacial entre o Coro-Alto e a nave da igreja.

O Coro-alto apresenta um cadeiral em U com espaldar entalhado, enquadrando telas. As paredes do Coro-alto estão cobertas parcialmente com azulejos e o teto é composto por caixotões pintados.

O projeto de remodelação e risco de talha, ao Estilo Barroco, que ocorreu entre 1730 - 1732, que hoje ainda resiste ao tempo, é atribuído a Miguel Francisco da Silva, e os entalhadores foram Manuel de Sousa Sampaio e Domingos Lopes.

Durante os recentes trabalhos de restauro foram identificados, no interior dos altares escondidos pelos retábulos, vestígios da condição anterior a 1730. Esta condição anterior continha pinturas murais de motivos decorativos geométricos no intradorso do arco e nas ombreiras da fresta de alguns altares. (Sousa & Resende, 2021)

Os últimos trabalhos de conservação e restauro incluíram a envolvente do edifício e a sua estrutura, bem como o património integrado, no qual se inclui o grande órgão.

Esta ação de conservação e restauro foi promovida e coordenada pela Direção Regional de Cultura do Norte.

As intervenções estruturais e arquitetónicas que a igreja sofreu ao longo dos tempos transformaram progressivamente o comportamento acústico do espaço onde se insere o instrumento e não seria razoável fazer uma caracterização do instrumento separada do seu contexto histórico e acústico.

Apesar de ser escassa a documentação acerca da condição inicial do edificado, no que se refere às características interiores da igreja, é aceitável conceber a ideia de um espaço constituído maioritariamente por pedra, eventualmente com uma cobertura em madeira e de volumetria substancialmente maior, aproximadamente 200m<sup>3</sup>, considerando o volume do intradorso dos arcos, agora preenchido pelos retábulos em talha barroca.

O facto de se tratar de um mosteiro de religiosas dedicadas a um modo de vida em reclusão, justifica a existência de varandas e corredores, no piso superior com ligação à nave da igreja, bem como a separação física do coro-alto com a igreja. Desta forma as religiosas poderiam assistir ao culto e às celebrações litúrgicas sem serem vistas pelos restantes fiéis.

A intervenção estética e estrutural levada a cabo no período Barroco (1730-1732), alterou consideravelmente o comportamento acústico da igreja, considerando as diferenças significativas entre os coeficientes de absorção sonora dos retábulos em talha barroca dourada e os coeficientes de absorção sonora da pedra e ou azulejos, existentes na condição anterior do edifício.

Quer a volumetria interior da nave da igreja, quer os revestimentos em talha dourada conferem-lhe características acústicas muito particulares, condicionando desta forma a sonoridade do grande órgão que é em parte uma característica intrínseca do instrumento modelada pela resposta acústica do espaço envolvente.

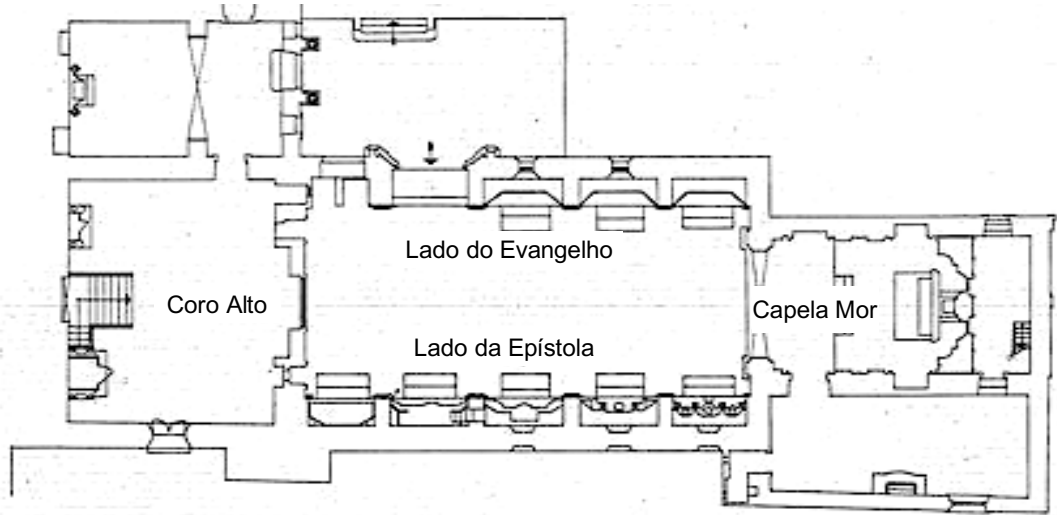
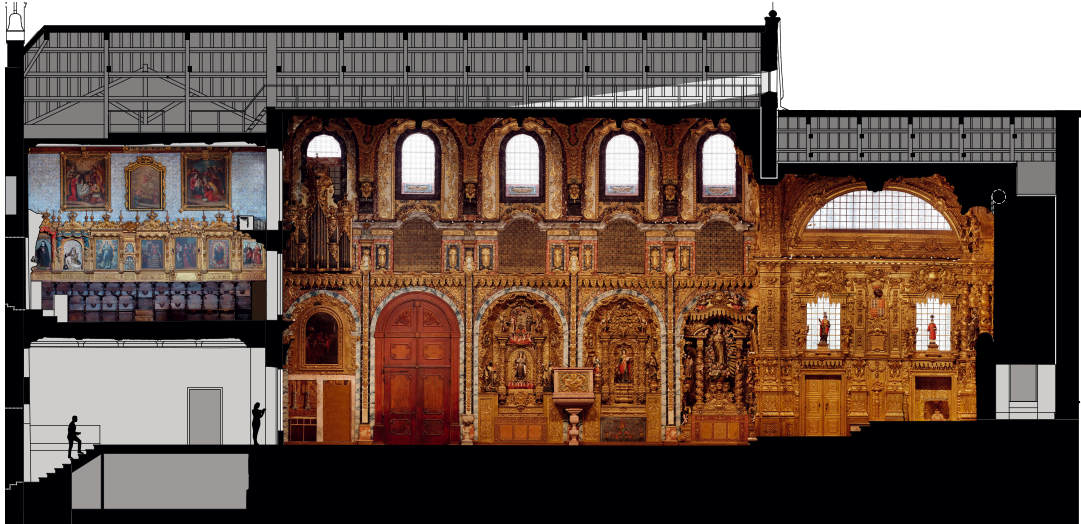


Figura 2 - Planta da Igreja de Santa Clara.



0 5 m

Figura 3 - Corte Longitudinal da Igreja de Sta. Clara (vista Lado do Evangelho).



0 5 m

Figura 4 - Corte transversal da Igreja de Sta. Clara (à esquerda vista do Altar Mor; à direita vista do Coro Alto).

As tabelas seguintes apresentam os dados arquitetónicos da igreja obtidos a partir das plantas e cortes. As dimensões e volumetria do coro-alto, são apresentadas nas tabelas, apesar de não terem sido consideradas para efeito de cálculo dos tempos de reverberação, por este se encontrar fisicamente separado da nave da igreja, por vãos gradeados com portadas de madeira e vãos envidraçados.

*Tabela 1 - Dimensões da Igreja de Sta. Clara.*

<b>Dimensões lineares</b>	<b>Valor (m)</b>
Largura da Nave	9,5
Largura da Capela-Mor	5,5
Comprimento Máximo	27,5
Comprimento da Nave	18,5
Altura Máxima	13,0
Altura da Nave	12,0
Altura da Capela-Mor	9,5
Pé direito do Coro-Alto	7
Largura do Coro-Alto	9,5
Comprimento do Coro-Alto	9,5
<b>Número de lugares sentados</b>	<b>120</b>

*Tabela 2 - Áreas de superfície da Igreja de Sta. Clara.*

<b>Áreas</b>	<b>Valor (m<sup>2</sup>)</b>
Piso do Coro-Alto	62
Piso Nave da Igreja	176
Piso Capela-Mor	50
Retábulo em Talha Dourada	992
Portas e portadas	54
Vãos envidraçados	69

*Tabela 3 - Volumetrias da Igreja de Sta. Clara.*

<b>Volumetrias</b>	<b>Valor (m<sup>3</sup>)</b>
Capela-Mor	470
Coro-Alto	632
Nave da Igreja	2109
Varanda (lado Evangelho)	50

## 3.2. Caracterização Acústica

### 3.2.1. Descritores Acústicos Subjetivos

A avaliação acústica de um espaço pode ser subjetiva, e estar relacionada com a percepção sensorial de um determinado ouvinte. Este tipo de caracterização pode ter importância por refletir de forma sensível e pessoal uma dada condição/parâmetro físico. A dificuldade de aplicação deste modelo está associada em parte à limitação semântica na descrição de fenómenos acústicos e à dependência direta de opiniões pessoais. Em contrapartida uma avaliação quantitativa pode ser desenvolvida baseada em ferramentas de cálculo por simulação, durante a fase de projeto, ou com recurso a uma cadeia de medição adequada, para avaliação das características existentes num determinado espaço. O recurso a *softwares* e modelos de simulação acústica é uma prática comum, embora com graus de incerteza distintos dependendo diretamente da quantidade e qualidade de parâmetros inseridos nas suas bases de dados (dimensões, geometria, materiais de revestimento, etc...).

Estes parâmetros acústicos relacionam-se entre si e possuem dependência direta dos fatores arquitetónicos e da envolvente exterior.

De acordo com alguns autores as principais características de uma sala, que resultam da percepção dos auditores, são as seguintes (Henrique, 2002) (Howard & Angus, 2009):

- **Reverberância:** a reverberância é o sentido da reverberação percebida num espaço, está relacionada com a persistência do som no espaço. Duração aparente do estímulo sonoro no espaço após cessar a fonte sonora. Mormente associada às médias e altas frequências.

- **Intimidade:** sensação auditiva de proximidade da fonte sonora e percepção alterada das dimensões do espaço (sensação de estar num espaço acústico mais pequeno do que na realidade). Depende essencialmente do intervalo de tempo entre o som direto e a primeira reflexão.

- **Clareza:** o grau em que as notas musicais são claramente separadas no tempo e distintamente ouvidas. Mede o grau de definição com que os sons são percebidos. Este grau de definição está diretamente relacionado com o tipo de superfícies refletoras existentes na sala. Para o caso da avaliação da clareza das palavras é comum usar o termo inteligibilidade. Pode ser dividida em clareza horizontal e clareza vertical. A clareza horizontal refere-se à percepção dos sons executados sucessivamente, como por exemplo uma melodia. Na clareza vertical avalia-se o grau de definição com que são percebidos os diferentes sons executados em simultâneo.

- **Envolvimento:** o envolvimento é a sensação de estar rodeado, envolvido pelo som, sensação de imersividade sonora. Representa a forma como a reverberância se

distribui uniformemente no espaço. Está relacionada com o campo difuso, ou seja, o local no espaço onde existe igual probabilidade da chegada de um som refletido proveniente das diferentes direções.

- **Intensidade do Som:** trata-se da intensidade sonora ou *loudness* que é percebida no local da audição e que resultado do som proveniente do campo direto e do som reverberante. Uma sala com maior absorção sonora terá uma menor intensidade de som do que uma sala mais reverberante com igual volumetria.

- **Espacialidade (*aparente source width - ASW*):** representa a largura aparente da fonte sonora, o que cria a sensação de escutar uma fonte sonora com uma largura superior aquela que realmente tem. Esta sensação está relacionada com as primeiras reflexões provenientes das paredes laterais e com os tempos de chegada ao nosso aparelho auditivo.

- **Calor:** atributo dos espaços acústicos que possuem um tempo de reverberação nas baixas frequências (75 Hz - 350 Hz) ligeiramente superior ao das frequências médias (350 Hz - 1400 KHz). Nas situações em que esta diferença é muito evidente o espaço pode ser designado por escuro.

- **Equilíbrio Timbrico:** sensação de equilíbrio na receção dos diferentes timbres. Escuta equilibrada dos diferentes instrumentos de uma orquestra ou de música vocal. Equilíbrio relativo das diferentes gamas de frequências.

- **Direcionalidade:** Sensação de que a direção do som vem da fonte sonora. Está diretamente relacionada com o som direto e o comportamento das superfícies refletores/absorventes nas primeiras reflexões.

- **Ruído de Fundo:** todos os sons escutados no local provenientes de várias fontes ruidosas como sejam ruídos de tráfego, sistemas de ventilação e ar condicionado, obras no exterior do espaço, sons provenientes do exterior que perturbem a audição e comunicação.

- **Eco:** reflexões do som claramente audíveis. Podem ocorrer quando existem superfícies muito refletoras de dimensões relativamente grandes, como paredes e tetos, muito distanciadas da fonte. Este fenómeno é mais evidente quando os tempos de reverberação são curtos.

- **Impressão Geral:** impressão geral da qualidade acústica sentida.

Apesar da sua importância como descritores que refletem a sensibilidade dos ouvintes, os descritores acústicos subjetivos não foram objeto de estudo neste trabalho, mas foram estudados por outros autores para a Igreja de Sta. Clara (ver Tabela abaixo).

Tabela 4 - Parâmetros acústicos subjetivos para a Igreja de Sta. Clara. Adaptado de (Lopes da Silva, 2008)

Parâmetro acústico subjetivo	Valor
Envolvimento	3,8
Equilíbrio Tímbrico	6,6
Clareza	7,1
Direccionalidade	6,8
Reverberância	1,2
Intensidade do Som	4,7
Intimidade	6,5
Ecos	Sem Informação
Ruído de Fundo	Sem informação
Impressão geral	7,8
Palavras entendidas (%)	99

### 3.2.2. Descritores Acústicos Objetivos

- **Tempo de reverberação (RT)** - Relativo ao intervalo de tempo, medido em segundos, que um determinado estímulo acústico, após cessar, decai para uma milionésima parte da sua energia. Traduzido para unidades acústicas seria o tempo necessário ao decaimento de um sinal em 60 decibel (dB). Como na realidade, é difícil conseguir essa amplitude de gama dinâmica num sinal acústico, considerando que o ruído de fundo limita inferiormente essa diferença, são tomadas medições de intervalos menores como RT30 e RT20, respetivamente 30dB e 20dB, e o valor é extrapolado para o valor normalizado.

- **Tempo de decaimento curto (ETD)** - Semelhante ao Tempo de Reverberação, relativo ao tempo do decaimento de 10 dB. A fração de tempo relativa aos primeiros 10 dB permite avaliar subjetivamente a reverberação do espaço e fornece indicação da clareza.

- **Clareza (C80)** - Parâmetro relativo à razão entre a energia recebida pelo recetor nos primeiros 80 milisegundos e a energia recebida posteriormente.

- **Definição (D)** - Descritor acústico que compara a energia recebida nos primeiros 50 milisegundos com a energia total recebida.

- **Tempo Central (TS)** - É o momento do tempo medido em segundos para o qual a energia anterior a esse instante é igual à energia posterior.

- **Intensidade Sonora (G)** - É a razão, medida em decibel, entre a energia recebida num determinado ponto do espaço acústico, emitida por uma fonte calibrada e a energia recebida a uma distância de 10 metros em campo aberto emitida pela mesma fonte.



- **Inteligibilidade da Palavra (STI)** - Índice que avalia a inteligibilidade de transmissão da palavra. É uma medida obtida indiretamente através de processamento de sinal, que determina o seu grau de degradação, numa escala entre 0 e 1, onde o 0 corresponde a má inteligibilidade e 1 a excelente inteligibilidade (considera-se aceitável acima de 0,45 e bom acima de 0,6). Este critério assume que a transmissão da palavra é um sinal modulado em amplitude, e o qual para ser inteligível deverá ser entendido com o mínimo de deformação possível. Uma boa inteligibilidade corresponde, do ponto de vista de critério, à relação percentual entre as consoantes recebidas e as consoantes emitidas.

### 3.2.2.1. Descrição metodológica das medições

A Determinação do Tempo de Reverberação RT60 da Igreja de Sta. Clara foi realizado de acordo com as recomendações da Norma ISO 3382-1, relativa às medições de parâmetros acústicos em salas de espetáculos ou recintos performativos, entre os quais se encontram as igrejas, utilizando para o efeito o método da fonte interrompida e leituras em bandas de 1/3 de oitava, dos 64Hz aos 10kHz.

Os equipamentos utilizados para as medições acústicas foram disponibilizados gentilmente pelo Laboratório de Acústica da ESMAE, sob a orientação do Professor Gustavo Almeida:

- Sonómetro NTI XL2 - N.º de série: A2A-15657-E0, FW4.33.
- Microfone - NTi Audio M4261, N.º de série: 2264 (ajuste de fábrica);
- Fonte Sonora Dodecaédrica Brüel & Kjær;
- Gerador de sinal NTi MR Pro.

As características gerais dos equipamentos eram:

- Sensibilidade do microfone: 14.6 mV/Pa;
- Resolução das medições: 1/3 de oitava;
- Largura de banda (Hz): 63 - 10000;
- Gama dinâmica: 30 - 130 dB.

A escolha da posição da fonte sonora teve em consideração a proveniência mais provável das fontes sonoras reais na igreja (ver Figura abaixo):

- Posição 1, ao centro da Capela Mor;
- Posição 2, janela da galeria contígua ao órgão;
- Posição 3, caixa do órgão.

A posição 2 da fonte, foi escolhida para permitir, após a montagem do órgão, realizar uma medição com a fonte sonora próxima da posição 3, e desta forma avaliar a influência do instrumento no valor do tempo de reverberação da igreja.

Foram realizadas 3 medições em cada um dos 5 pontos, para as diferentes posições da fonte sonora, de acordo com o esquema seguinte:

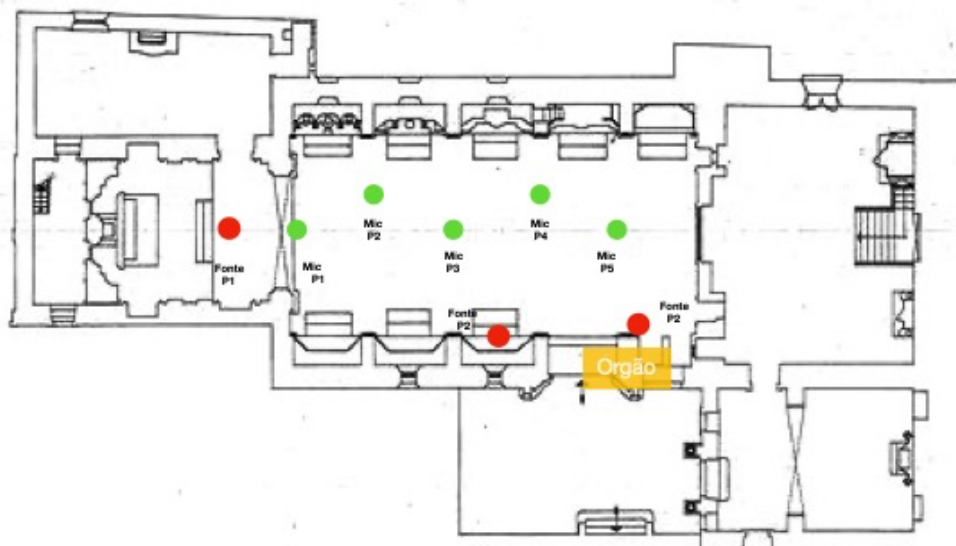


Figura 5 - Planta da Igreja de Santa Clara com a posição da fonte sonora e do medidor.

Assumindo um plano de simetria da nave da igreja foram realizadas medições na região central e num dos planos.

Foram realizados dois ensaios em dias diferentes para determinar as condições acústicas da igreja. O primeiro a 12 de Março de 2021, antes da instalação do órgão. O segundo a 22 de junho de 2021 com a nave da igreja ocupada parcialmente por bancos corridos e com o órgão instalado. Nas duas situações não foi considerada a continuidade espacial do Coro-Alto por se encontrarem fechadas as portadas de madeira que o separam da nave da igreja.

Durante a realização dos ensaios estiveram presentes 5 pessoas na igreja. Durante o primeiro ensaio, encontravam-se no interior da nave da igreja algumas peças de altares de pequena volumetria e um andaime de alumínio com 4 secções, montado ao centro da nave.

Os valores da humidade relativa e temperatura registados na igreja, foram respetivamente 60% e 20°C.

Nas tabelas seguintes estão apresentados os valores de Tempo de Reverberação dos dois ensaios acústicos.

Tabela 5 - Tempo de Reverberação (medição a 12 de março de 2021).

Banda (Hz)		125	250	500	1K	2K	4K	8K
RT60 T20 (s)	FONTE P1	1,01	1,10	1,53	1,80	1,48	1,25	0,89
	FONTE P2	1,02	1,13	1,50	1,63	1,47	1,27	0,89
	FONTE P3	1,19	1,21	1,46	1,63	1,50	1,28	0,90

Tabela 6 - Tempo de Reverberação (medição a 22 de junho de 2021).

Banda (Hz)		125	250	500	1K	2K	4K	8K
RT60 (T20) s	FONTE P1	1,34	1,16	1,42	1,55	1,43	1,32	1,05
	FONTE P2	1,32	1,20	1,56	1,60	1,48	1,29	1,15

Existem diferenças significativas entre a primeira medição a 12 de março e a segunda a 22 de junho para as bandas de frequência de 125 Hz e 8KHz. Para o primeiro caso (125Hz), a diferença ronda os 20% e está provavelmente relacionada com os níveis mais elevados de ruído de fundo nas baixas frequências (p. ex. obras de construção civil no edificado do mosteiro ou do metro, tráfego automóvel, etc.) que impede a medição do decaimento do sinal, tendo em conta a maior dificuldade na reprodução de baixas frequências pela fonte sonora. Para o segundo caso (8KHz), a diferença nos valores obtidos ronda os 18% e pode ser justificada pela ocupação do pavimento com os bancos da igreja o que incrementa a dispersão do sinal nas altas frequências. A comparação dos valores entre as duas medições ficou ligeiramente comprometida porque as condições de medição não são exatamente iguais, tendo em conta a remoção do andaime e das pequenas peças de retábulos em talha barroca do piso da nave, do primeiro ensaio acústico para o segundo.

A interferência do órgão no tempo de reverberação da igreja pode ser desprezada, considerando a sua área superficial da fachada comparativamente com a área superficial total da nave, e tendo em conta a existência dos tubos da fachada nas duas condições de medição.



Figura 6 - Interior da Nave da Igreja de Sta. Clara; condições de medição - 12 de março de 2021.



Figura 7 - Interior da Capela-Mor da Igreja de Sta. Clara; posição da fonte sonora - 12 de março de 2021.

A medição de resposta ao impulso (IR) da igreja, por varrimento de onda, para obtenção de descritores acústicos relevantes do espaço, foi realizado com recurso ao sistema IRIS 3D da *Marshall Day Acoustics*, com um gerador de sinal incorporado no programa, uma fonte sonora Dodecaédrica Brüel & Kjær, e microfone tetraédrico.

São apresentados os resultados na Tabela seguinte.

Tabela 7 - Descritores acústicos (medição a 12 de março de 2021).

Banda (Hz)	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K
Decay Range (dB)	50	67	77	82	83	85	81	73
T20 (s)	1,03	1,12	1,24	1,52	1,63	1,50	1,31	0,90
T30 (s)	1,06	1,07	1,22	1,53	1,63	1,52	1,30	0,90
ETD (s)	1,16	1,02	1,23	1,61	1,73	1,54	1,34	0,94
C80	4	5	2	0	0	1	1	4
D50	0,93	0,63	0,42	0,34	0,35	0,36	0,41	0,57
TS (ms)	105	86	100	122	121	110	94	67
STI Male					0,51			
STI Female					0,51			

As tabelas e gráficos seguintes apresentam os resultados das medições dos tempos de reverberação em 1/3 de oitava.

Tabela 8 - Medições dos tempos de reverberação em 1/3 de oitava (T20).

Banda (Hz)	31	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630
RT60 (T20) s	0,94	0,78	0,92	0,97	1,18	1,16	1,07	1,14	1,19	1,22	1,31	1,44	1,51	1,59
Banda (Hz)	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000	12500	16000
RT60 (T20) s	1,67	1,64	1,60	1,56	1,50	1,43	1,41	1,30	1,21	1,04	0,91	0,75	0,62	0,52

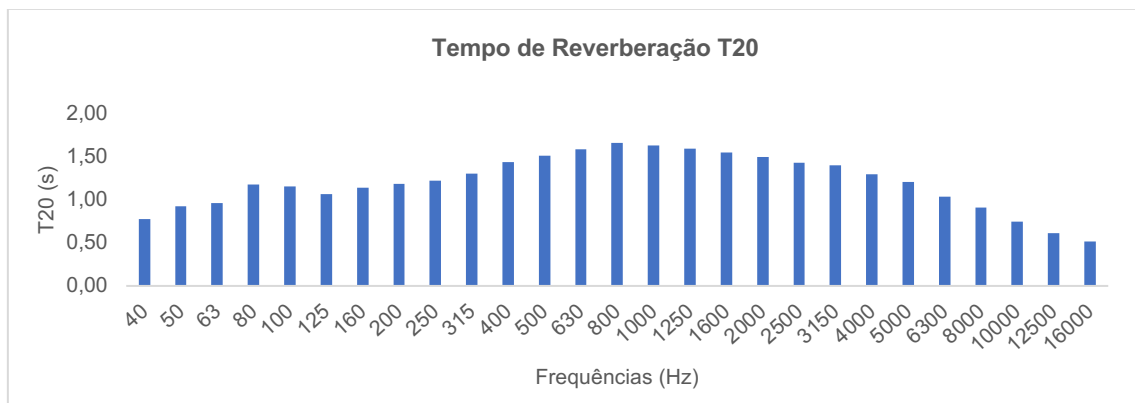


Figura 8 - Gráfico das medições dos tempos de reverberação em 1/3 de oitava (T20).

Tabela 9 - Medições dos tempos de reverberação em 1/3 de oitava (T30).

Banda (Hz)	31	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630
RT60 (T30) s	-	0,77	0,94	1,02	1,20	1,12	1,02	1,07	1,14	1,23	1,29	1,49	1,52	1,59
Banda (Hz)	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000	12500	16000
RT60 (T30) s	1,66	1,64	1,59	1,58	1,52	1,45	1,39	1,30	1,21	1,04	0,91	0,75	0,62	0,52

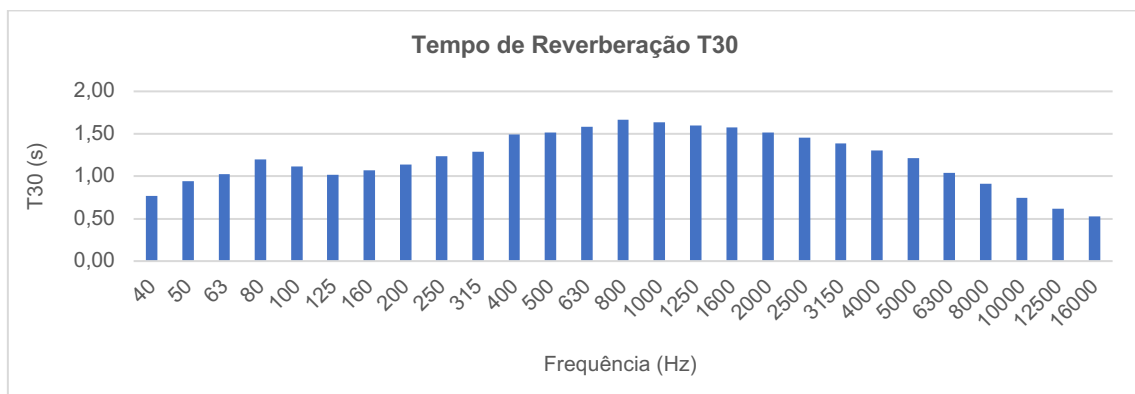


Figura 9 - Gráfico das medições dos tempos de reverberação em 1/3 de oitava (T30).

A aparente diferença de nível sonoro das várias notas dentro do mesmo registo, durante o processo de intonação do instrumento, pode ficar a dever-se às diferenças do Tempo de Reverberação. Se as diferenças do RT<sub>60</sub> para as diferentes frequências medidas em 1/3 de oitava forem muito significativas, pode ter-se a sensação de desequilíbrio de nível sonoro entre as diferentes notas do instrumento. Este problema pode ser corrigido na

fonte, reduzindo a intensidade sonora do tubo/tubos em questão. Este procedimento é comum durante o processo de intonação e consiste na redução do fluxo de ar no tubo, reduzindo o diâmetro do pé do tubo. Nos tubos de metal o procedimento consiste na compressão do material do pé do tubo com um cone afinador reduzindo o orifício e no caso dos tubos de madeira colocando tacos de madeira no pé do tubo ou com um regulador de entrada no soquete onde assenta o pé do tubo. Nos tubos de madeira de construção recente é possível incorporar parafusos de regulação no pé do tubo.

No caso da intonação do órgão da Igreja de Santa Clara não foi necessária essa intervenção.

A partir da figura anterior é possível verificar uma ligeira diferença na região dos 80 Hz (aproximadamente Mi1 Flautado de 12) comparativamente com a vizinhança. De acordo com alguns autores a sensibilidade para perceber diferenças nos tempos de reverberação é relativamente boa. Para a gama de frequência compreendida entre os 1Khz e os 3 KHz essa sensibilidade pode detetar diferenças de até 5% nos tempos de reverberação. (L., Muller, & J., 2016)

A existência de uma variabilidade reduzida entre valores dos Tempos de Reverberação, quando comparados com os valores adjacentes, (exceção a 80Hz) ao longo do espectro em frequência, traduz-se num bom equilíbrio tímbrico do espaço.

Na Tabela seguinte, poderemos comparar os valores obtidos relativos à Igreja de Santa Clara com os valores de  $RT_{60}$  apresentados por outros autores referentes a outras igrejas do Porto (Igreja de São Francisco, Sé do Porto e Igreja dos Clérigos).

*Tabela 10 - Características acústicas comparativas de quatro igrejas históricas do Porto.*

<b>Igrejas</b>	<b>Estilo</b>	<b>Lugares sentados</b>	<b>Volume total (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Coefficiente de absorção médio</b>	<b>RT60<sup>1</sup> (s)</b>
Igreja de Sta. Clara	Barroco	120	2579	0,23	<b>1,6</b>
Igreja de S. Francisco	Gótico Barroco	496	12045	0,21	<b>1,8</b>
Igreja dos Clérigos	Barroco Tardio	169	5130	0,06	<b>3,4</b>
Sé do Porto	Gótico	490	15260	0,05	<b>3,6</b>

Os valores apresentados para o Tempo de Reverberação destes espaços são expectavelmente superiores pelo facto de terem volumetria superior e pouca absorção no interior. A Igreja de São Francisco, é a exceção por possuir enorme revestimento em talha barroca.

<sup>1</sup> Média do RT60 para as frequências de 500Hz e 1000Hz



A Figura seguinte apresenta os resultados gráficos 2D com os vetores de intensidade e tempos de chegada do sinal, inseridos no corte e planta da igreja, para as diferentes posições de medição.

Os sinais captados da resposta ao impulso, são apresentados graficamente na forma esférica com a representação dos vetores de intensidade e tempo de chegada do sinal direto e refletido.

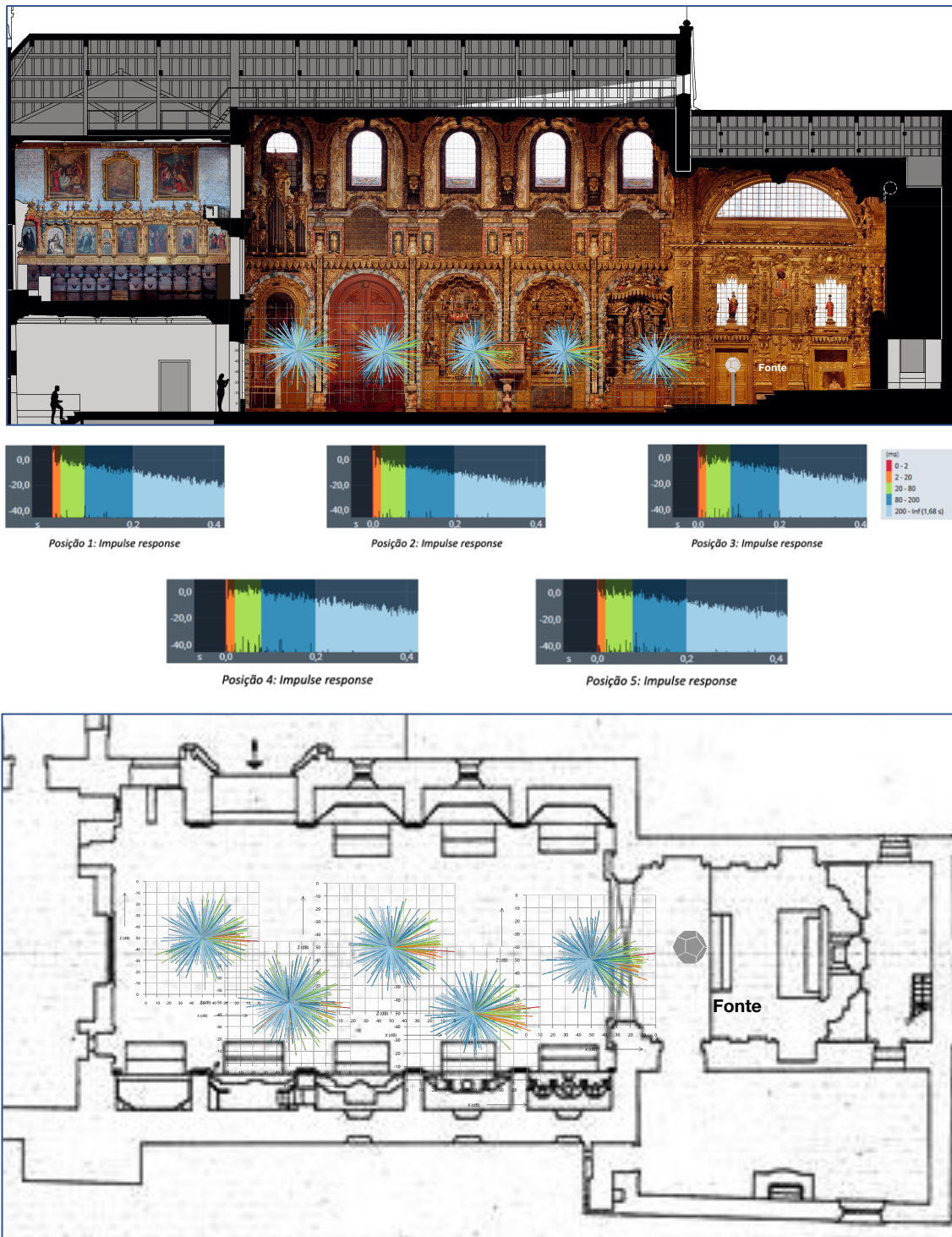


Figura 10- Corte da Nave da Igreja (em cima) e planta (em baixo) com imagem IRIS 2D.

É possível visualmente verificar a uniformidade da dispersão vertical e horizontal do som na nave da igreja, bem como a direccionalidade do sinal. A coloração vermelha e alaranjada dos vetores gráficos, identifica a direção, o tempo de chegada, intensidade som direto e das primeiras reflexões considerando a posição da fonte sonora na capela mor.



### 3.2.3. Determinação teórica do Tempo de Reverberação da Igreja de Sta. Clara

A partir da proposta de *Carl Ferdinand Eyring* (1889 - 1951), físico acústico mexicano, naturalizado americano, é possível determinar teoricamente o Tempo de Reverberação de um determinado espaço, neste caso a Igreja de Santa Clara. Esta determinação está dependente da volumetria do espaço, das propriedades de absorção sonora das superfícies que o delimitam, da absorção sonora do ar e do mobiliário existente no seu interior.

Assumindo que a Igreja de Santa Clara se enquadra nas aproximações ao modelo proposto por *Eyring*, para espaços de geometria regular, com campo sonoro difuso, distribuição uniforme das superfícies absorventes, e coeficientes de absorção sonora ( $\alpha$ ) médios superiores a 0,2 sabin, podemos obter valores de RT a partir da equação seguinte:

*Equação 1 - Equação de Eyring para determinação do Tempo e Reverberação.*

$$RT_{60} = 0.163 \frac{V}{-\ln(1 + \bar{\alpha})S_{Tot} + 4mV}$$

Onde:  
 RT<sub>60</sub> - Tempo de Reverberação em (s);  
 V - Volume Total em (m<sup>3</sup>)  
 $\bar{\alpha}$  - A<sub>Total</sub>/S<sub>Total</sub> Coeficiente de absorção médio do espaço;  
 A<sub>Total</sub> - Superfície de absorção total em (m<sup>2</sup>);  
 S<sub>Total</sub> - Superfície Total do espaço em (m<sup>2</sup>);  
 m - Coeficiente de absorção sonora do ar em (m<sup>-1</sup>): m<sub>125Hz</sub> = 0; m<sub>250Hz</sub> = 8 x10<sup>-5</sup> m<sup>-1</sup>; m<sub>500Hz</sub> = 3 x10<sup>-4</sup> m<sup>-1</sup>; m<sub>1000Hz</sub> = 7.5 x10<sup>-4</sup> m<sup>-1</sup>; m<sub>2000Hz</sub> = 2 x10<sup>-3</sup> m<sup>-1</sup>; m<sub>4000Hz</sub> = 7x10<sup>-3</sup> m<sup>-1</sup> (Glen Ballou, Handbook for Sound Engineers, 5ª Ed, pag.203).  
 Humidade Relativa 60%.

A equação de *Eyring*, apresentada anteriormente foi melhorada a partir da proposta inicial do físico americano, *Wallace Clement Sabine* (1865 - 1919).

*Equação 2 - Equação de Sabine para determinação do Tempo de Reverberação.*

$$RT_{60} = 0.161 \frac{V}{A}$$

Onde:  
 RT<sub>60</sub> - Tempo de Reverberação em (s);  
 V - Volume Total em (m<sup>3</sup>);  
 A - Superfície de absorção total em (m<sup>2</sup>);  
 $A = \sum_{n=1}^n S_n * \alpha_n$   
 $\alpha_n$  - Coeficiente de absorção sonora dos materiais;  
 S<sub>n</sub> - Superfície exposta de cada material (m<sup>2</sup>);

A Tabela seguinte apresenta os valores do coeficiente de absorção sonora para as diferentes superfícies da Igreja de Sta. Clara. Os valores dos coeficientes de absorção

sonora relativos ao Retábulo em Talha Barroca foram apresentados por A. Carvalho e M. Lencastre no estudo detalhado acerca da absorção sonora dos retábulos em Talha Barroca, publicado na revista Estudos Património - IPPAR, nº 3 de 2002.

Tabela 11 - Coeficientes de absorção sonora.

	Coeficientes de absorção sonora $\alpha$ para as bandas de frequência (Hz)					
	125	250	500	1k	2k	4k
Retábulo em talha barroca (Carvalho & Lencastre, 2002)	0,40	0,38	0,33	0,32	0,36	0,44
Janelas e envidraçados (Patrício, 2008)	0,12	0,08	0,05	0,04	0,03	0,02
Granito e piso cerâmico (Patrício, 2008)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Portadas e portas em madeira maciça (Patrício, 2008)	0,12	0,10	0,09	0,08	0,04	0,04
Forro em madeira com caixa de ar (Patrício, 2008)	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,05
Paredes em alvenaria com reboco (Patrício, 2008)	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05

Para a determinação teórica dos valores de  $RT_{60}$  são assumidas 3 situações distintas de aproximação à condição real das superfícies da equação:

1. Condição 1 - Área de absorção simplificada. São consideradas apenas superfícies em talha barroca (paredes e teto) e piso granítico.
2. Condição 2 - São consideradas 4 áreas de absorção distintas: Vãos envidraçados, portas e portadas em madeira, talha barroca e piso granítico.
3. Condição 3 - São consideradas as 4 áreas de absorção da situação 2, acrescidas das áreas superficiais e volumetria do corredor da varanda superior.

Tabela 12 - Superfície de absorção sonora e total e Coeficiente de absorção médio.

	Superfície de absorção sonora total e Coeficiente de Absorção médio ( $m^2$ ; $\bar{\alpha}$ )		
	Talha barroca + granito (Condição 1)	Talha barroca + granito + envidraçados + portadas (Condição 2)	Talha barroca + granito + envidraçados + portadas + reboco + forro madeira (Condição 3)
	Nave + Capela-Mor	Nave + Capela-Mor	Nave + Capela-Mor + Corredor
125 Hz	447,8; $\bar{\alpha} = 0,334$	413,5; $\bar{\alpha} = 0,309$	417,6; $\bar{\alpha} = 0,283$
250 Hz	425,6; $\bar{\alpha} = 0,318$	389,9; $\bar{\alpha} = 0,291$	392,1; $\bar{\alpha} = 0,265$
500 Hz	369,9; $\bar{\alpha} = 0,276$	337,7; $\bar{\alpha} = 0,252$	338,4; $\bar{\alpha} = 0,229$
1KHz	358,7; $\bar{\alpha} = 0,268$	326,6; $\bar{\alpha} = 0,244$	327,4; $\bar{\alpha} = 0,222$
2KHz	405,5; $\bar{\alpha} = 0,303$	365,7; $\bar{\alpha} = 0,273$	367,2; $\bar{\alpha} = 0,249$
4KHz	494,7; $\bar{\alpha} = 0,369$	444,3; $\bar{\alpha} = 0,332$	444,5; $\bar{\alpha} = 0,301$

Substituindo as variáveis da equação pelos valores da Tabela anterior obtemos os seguintes valores de RT.

Tabela 13 - Tempos de Reverberação estimados pela Equação e Eyring e Tempo de Reverberação obtido pelo IRIS.

	Pré-Barroco		Barroco - Atual			T30 (Sistema IRIS 3D) (s)
	RT60 (s)	RT60 (s)	RT60 (s) Eyring			
	Sabine	Eyring	Condição 1	Condição 2	Condição 3	
125 Hz	3,5	3,7	0,99	1,06	1,17	1,02
250 Hz	4,6	4,6	1,04	1,12	1,22	1,23
500 Hz	6,8	6,6	1,18	1,28	1,39	1,52
1000 Hz	6,9	6,2	1,20	1,30	1,41	1,64
2000 Hz	6,1	4,8	1,04	1,14	1,23	1,52
4000 Hz	6,6	3,1	0,80	0,86	0,93	1,30

A condição 3 introduziu na equação um número de variáveis maior, próximo da situação real, incluindo as diferentes áreas de absorção sonora e a continuidade espacial do corredor contíguo à nave da igreja. Apesar dessa aproximação, os valores estimados a partir da equação não são totalmente coincidentes com os valores obtidos por medição. Isto pode dever-se ao facto da Equação de Eyring estar desenhada para situações de maior homogeneidade da distribuição das superfícies de absorção sonora, ou por erros nas aproximações efetuadas nos cálculos de áreas de absorção. As situações 1 e 2 apresentam desvios maiores pelo facto de se assumirem como aproximações grosseiras à situação real.

Por curiosidade, foi possível estimar o Tempo de Reverberação para as condições anteriores ao Período Barroco (paredes em granito e azulejos no intradorso dos arcos). É expectável que o valor do RT60, da condição anterior ao Período Barroco, seja manifestamente superior. Este facto, verificado na tabela, deve-se à diferença dos coeficientes de absorção sonora dos materiais do revestimento interior da igreja, existentes à época, e ao incremento de volumetria, relativa ao espaço ocupado pelos retábulos em Talha Barroca.

Para a estimativa dos valores de RT60 para o período pré-barroco foram utilizadas as equações de *Eyring* e *Sabine*. (Carvalho A. P., 1995)

O efeito da absorção sonora e da dispersão produzidos pelos retábulos em talha barroca, nas várias frequências, reduziu de forma muito significativa o valor do Tempo de Reverberação.

## **CAPÍTULO IV - Caracterização do órgão da Igreja de Santa Clara**

### **4.1. O órgão da Igreja de Santa Clara**

O grande órgão da Igreja de Santa Clara encontra-se situado junto do coro alto no lado do Evangelho (lado esquerdo da nave, quando observado de frente para o altar-Mor), a caixa encontra-se inserida no intradorso do arco da janela da galeria superior do lado norte, e a consola na parte posterior. O acesso à consola é feito através do coro alto que comunica com a galeria lateral onde está inserida a caixa do instrumento. A justificação para a localização da consola em local discreto e longe dos olhares de quem se encontra na nave da igreja seria a forma de garantir que as religiosas, estando em reclusão, incluindo a organista, não ficavam expostas ao contacto com a assembleia durante a realização das celebrações litúrgicas.

Trata-se dum exemplar da organaria portuguesa com características do Séc. XVIII, de construtor desconhecido. O instrumento possui um manual com 17 meios registos, 9 na mão direita e 8 na mão esquerda e um someiro com 54 notas. A base do instrumento é um Flautado de 12 palmos que se encontra na fachada.

A tubaria que compõe os 17 meios registos é maioritariamente de metal, exceção feita a 6 tubos de madeira existentes no interior da caixa que completam o Flautado Principal de 12 palmos (4 tubos) e a Oitava Real (2 tubos). Os tubos de madeira foram provavelmente acrescentados na reconversão do instrumento quando a oitava curta foi convertida em oitava completa, não alterando desta forma a fachada, e acrescentando as notas em falta no interior da caixa do órgão. Todos os tubos dos diferentes registos são tubos abertos, apenas o registo de palheta da mão esquerda (baixão), possui tampa e pode ser considerado semi-aberto.

Do lado oposto ao grande órgão, em plano de simetria com a nave da igreja, está localizado um órgão falso com os tubos da fachada mudos.

O instrumento encontrava-se num estado de conservação muito precário, e sofreu uma intervenção de restauro na Oficina e Escola de Organaria de Esmoriz, promovida pela Direção Regional de Cultura do Norte. Esta intervenção foi realizada entre novembro de 2019 e julho de 2021, com o objetivo de: “reaver a integridade e funcionalidade originais deste exemplar da Organaria Portuguesa do Séc. XVIII, reestabelecendo a perfeita operacionalidade mecânica e acústica do instrumento musical, recuperando o seu carácter técnico e sonoro original e individual...” (objetivos do restauro, propostos pela Direção Regional de Cultura do Norte, em documento de trabalho).





*Figura 11 - Fachada ou frontaria do órgão da Igreja de Sta. Clara.*

#### **4.2. Caracterização organológica e restauro do instrumento**

O órgão como instrumento de teclas, da família dos aerofones produz som através da passagem do vento pelos tubos. Cada tubo é uma fonte sonora otimizada para produzir apenas uma nota com propriedades tímbricas e intensidade únicas. A sua complexidade mecânica e tímbrica, procura semelhança com uma grande orquestra. Os diferentes registos, são aproximações às texturas sonoras dos instrumentos de orquestra: madeiras e metais (as cordas surgem mais tarde no período Romântico e Neoclássico). Esta variedade é conseguida através da manipulação da forma geométrica dos tubos



dos diferentes registos, dos materiais dos quais são construídos, das proporções dos diferentes elementos do corpo ressoador, das medidas da boca, e da forma de produção do som quer seja bisel ou palheta.

A nomenclatura associada aos diferentes registos tem em consideração essa aproximação tímbrica à qual é acrescentada a indicação do comprimento do tubo maior que gera a primeira nota (Dó1) desse registo no teclado.

O órgão em estudo possui um someiro e um teclado de 54 notas, divididas entre Dó1 e Dó3 (oitava completa) para a mão esquerda e Dó#3 e Fá5 para a mão direita. Com esta divisão do teclado os registos são entendidos como meios registos o que permite ao organista poder optar por registações diferentes para a mão esquerda e mão direita.

Na tabela seguinte são apresentados os registos que compõem o instrumento, com a indicação, por uma questão prática, das medidas em pés do tubo maior de cada registo. A adaptação do instrumento ao espaço acústico em termos tímbricos e de pressão sonora, seja pela escolha dos registos ou pelo número de filas nos cheios, é normalmente efetuada na fase de desenho e construção. No processo de restauro a adaptação ao espaço apenas pode ser conseguida com a manipulação da pressão do ar no foles e no processo de intonação, ajustando a forma de falar dos diferentes tubos de cada registo.



*Figura 12 - Vista da Igreja de Sta. Clara, lado Coro-Alto.*

Tabela 14 - Composição do órgão da Igreja de Sta. Clara.

Mão Esquerda Dó1 - Dó3		Mão Direita Dó#3 - Fá5	
8'	Flautado de 12 palmos aberto	Flautado de 12 palmos aberto	8'
4'	Oitava Real	Flauta Travessa	8'
	Clarão 6 vozes	Oitava Real	4'
2 2/3'	Dozena	Pífano	4'
2'	Quinzena	Corneta Real 6 vozes	
	Vintedozena 5 vozes	Quinzena	2'
	Símbala 3 vozes	Vintedozena 6 vozes	
8'	Baixão (ressoador curto)	Símbala 3 vozes	
		Clarim (ressoador longo)	8'

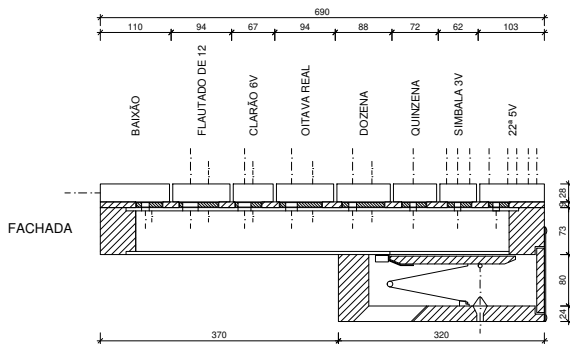


Figura 13: Vista lateral do Someiro - mão esquerda

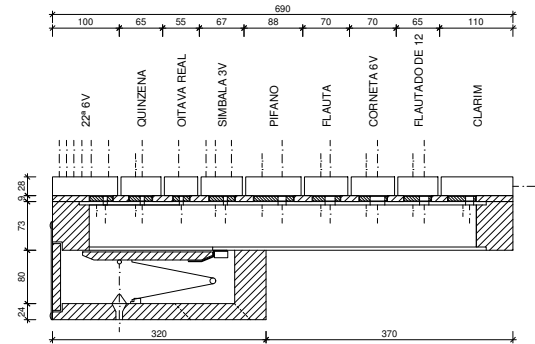


Figura 14: Vista lateral do Someiro - mão direita

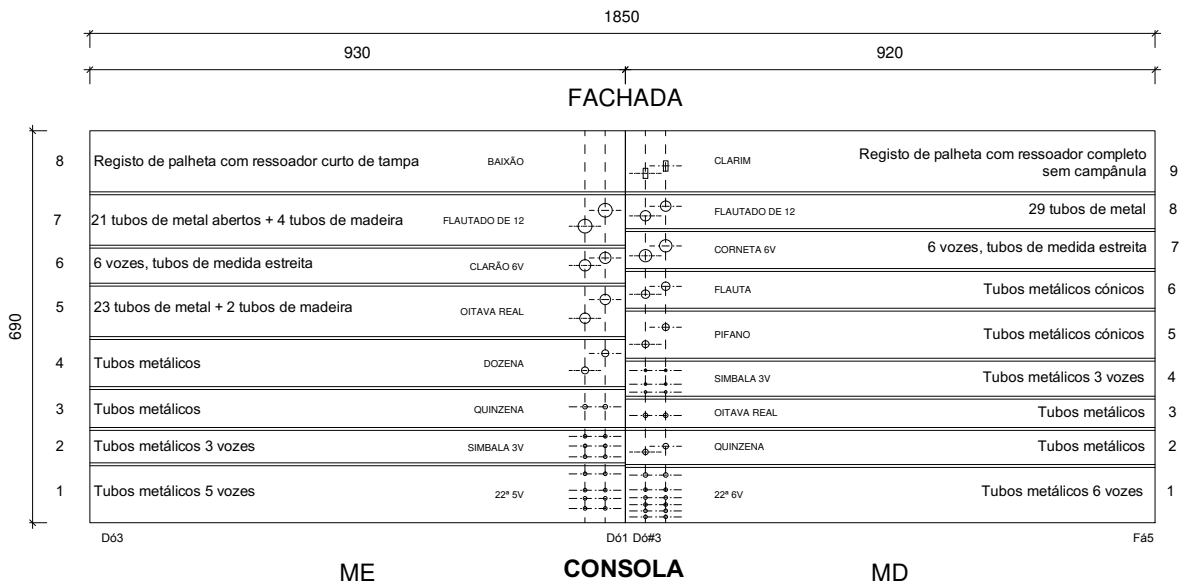


Figura 15 - Desenho técnico com a disposição dos registros no someiro.

Na composição do órgão existem registos com uma fila de tubos e registos com várias filas. A tabela seguinte apresenta a composição dos registos de várias filas, também designados de cheios:

Figura 16: Composição dos Registos de várias filas

<b>Mão Esquerda</b>		<b>Mão Direita</b>		
<b>Símbala a 3 vozes</b>		<b>Símbala a 3 vozes</b>		
<b>Dó1</b>	<b>Dó2</b>	<b>Dó#3</b>	<b>Sól4</b>	<b>Lá4</b>
1/2'	1'	2'	2 2/3'	2 2/3'
1/3'	2/3'	1 1/3'	2'	2 2/3'
1/4'	1/2'	1'	1 1/3'	2'
<b>Vintedozena a 5 vozes</b>		<b>Vintedozena a 6 vozes</b>		
1'	2'	<b>Dó#3</b>	<b>Dó4</b>	<b>Dó5</b>
2/3'	1 1/3'	2 2/3'	4'	4'
1/2'	1'	2'	4'	4'
1/2'	1'	1 1/3'	2 2/3'	2 2/3'
1/3'	2/3'	1'	2'	2 2/3'
		1'	2'	2'
		2/3'	1 1/3'	2'
<b>Clarão a 6 vozes</b>		<b>Corneta a 6 vozes</b>		
1'	2'	<b>Dó#3</b>		<b>Dó#5</b>
1'	2'	4'		4'
4/5'	1 3/5'	2 2/3'		4'
2/3'	1 1/3'	2'		2 2/3'
1/2'	1'	2'		2 2/3'
1/3'	2/3'	1 3/5'		2'
		1 1/3'		1 3/5'

#### 4.3.1. Tubaria ou Canaria

A tubaria do instrumento ou canaria, nomenclatura utilizada no passado, apresentava um elevado estado de degradação. É comum verificar neste e noutros instrumentos, o desaparecimento de grande parte dos tubos de metal, principalmente os de maior tamanho, talvez devido à elevada procura de metais como o estanho (Sn) e chumbo (Pb), pelo seu valor comercial.

Através da observação detalhada das inscrições e das características dos diferentes tubos existentes foi possível identificar a posição dos mesmos no someiro e em alguns casos identificar o construtor, por comparação com outros instrumentos de características semelhantes. Esta informação permite definir o diapasão do registo (a utilização do termo diapasão neste contexto é referente à relação de diâmetros dos tubos de determinado registo). Para aferir da afinação do instrumento é necessário que os tubos estejam em bom estado de conservação e se conheça a pressão exata do ar



no someiro, contudo não permite tirar conclusões relativamente ao temperamento. Através da medição dos tubos existentes, por interpolação, constroem-se os tubos em falta. A determinação química da composição da liga metálica, da qual são construídos os tubos, é feita laboratorialmente através de espectrofotometria de absorção atômica e ou espectrometria de fluorescência de raios X. Esta informação permite posteriormente fundir uma liga metálica com características semelhantes às do material antigo, para a construção da tubaria em falta.

Durante o restauro foi realizado um trabalho cuidadoso do levantamento métrico dos parâmetros mais importantes para as características sonoras dos tubos dos diferentes registos de forma a garantir a reconstituição da integridade tímbrica do instrumento.

A tubaria ou canaria do órgão da Igreja de Santa Clara é quase exclusivamente de metal, com exceção feita aos 4 tubos de madeira, situados no interior da caixa, (Dó#1, Ré#1, Fá#1 e Sol#1) que completam o registo Flautado de 12 palmos da fachada mão esquerda, e 2 tubos de madeira pertencentes à Oitava Real (Dó1 e Dó#1), mão esquerda.

Os tubos dos vários registos são todos abertos e o Baixão da Mão Esquerda é semiaberto. Existem apenas dois meios registos da mão direita cuja tubaria é cônica – a Flauta Travessa e o Pífano –, e a restante é cilíndrica.

Neste instrumento é possível encontrar 3 tipos de tubos flautados no conjunto dos registos: tubos com lábios superiores paralelos, lábios superiores em mitra e lábios superiores triangulares. Nas tabelas seguintes são apresentadas as medidas, relações de proporção e materiais de construção dos diferentes registos.



*Figura 17- Someiro antes e depois da ação de restauro. Fotografia gentilmente cedida pela Oficina e Escola de Organaria de Esmoriz.*

Tabela 15 - Flautado de 12 palmos aberto – Mão Esquerda.

Flautado de 12 palmos aberto Mão Esquerda								
Nota	Corpo			Boca			Pé	Obs.
	Ø(mm)	Comp. (mm)	Perim. (mm)	Largura. (mm)	Prop <sup>2</sup> .	Altura (mm)	Altura (mm)	
Dó1	171,0	2430	537,2	118,0	4,55	24,0	310	Tubo antigo
Sól1	115,5	1750	362,9	88,0	4,12	20,0	310	Tubo antigo
Dó2	88,5	1320	278,0	60,0	4,63	18,0	300	Tubo antigo
Sol2	66,0	830	207,3	44,0	4,71	12,5	270	Tubo antigo
Dó3	52,0	680	163,4	35,5	4,60	10,1	255	Tubo novo
Tubos de liga metálica 57% Estanho (Sn) + 42,75% Chumbo (Pb) + 0,25% Cobre (Cu)								

Tabela 16 - Oitava Real – Mão Esquerda.

Oitava Real Mão Esquerda								
Nota	Corpo			Boca			Pé	Obs.
	Ø (mm)	Comp. (mm)	Perim. (mm)	Largura (mm)	Prop.	Altura (mm)	Lab. Inf. (mm)	
Dó1	66,8 eq.	1210	210,0	50	4,2	14,5	110	Tubo de Madeira antigo
Sól1	58,2	875	182,8	43,5	4,2	13,4	155	Tubo novo
Dó2	48,0	605	148,3	35,3	4,2	10,2	155	Tubo novo
Sol2	34,2	437,5	104,9	25,0	4,2	7,2	155	Tubo novo
Dó3	26,8	302,5	81,7	19,45	4,2	5,6	155	Tubo novo
Tubos de liga metálica 57% Estanho (Sn) + 42,75% Chumbo (Pb) + 0,25% Cobre (Cu)								

Tabela 17 - Dozena – Mão Esquerda.

Dozena Mão Esquerda								
Nota	Corpo			Boca			Pé	Obs.
	Ø (mm)	Comp. (mm)	Perim. (mm)	Largura (mm)	Prop.	Altura (mm)	Lab. Inf. (mm)	
Dó1	58,2	875	182,8	43,5	4,2	13,4	155	Tubo novo
Sól1	43,6	570	134,5	32,0	4,2	9,9	155	Tubo novo
Dó2	34,2	437,5	104,9	25,0	4,2	7,2	155	Tubo novo
Sol2	24,9	285	75,7	18,0	4,2	5,5	155	Tubo novo
Dó3	19,5	118,7	58,8	14,0	4,2	4,3	155	Tubo novo
Tubos de liga metálica 57% Estanho (Sn) + 42,75% Chumbo (Pb) + 0,25% Cobre (Cu)								

Tabela 18 - Baixão – Mão esquerda.

Baixão Mão Esquerda								
Nota	Ressorador			Canulo			Lingueta	Obs.
	Ø (mm)	Ø (mm)	Comp. (mm)	Alt. (mm)	Larg. (mm)	Comp. (mm)	Espessura (mm)	
Dó1	48/35/15	15,0	335	7,8	11,5	105	0,34/0,32/0,30	Ressorador Novo
Sól1	46/34/11	14,5	280	6,7	9,7	87	0,34/0,32/0,30	Ressorador Novo
Dó2	45/34/10	14,0	245	6,0	8,6	76	0,35/0,27/0,25	Ressorador Novo
Sol2	43/32/10	12,5	184	5,6	7,6	61	0,35/0,27/0,25	Ressorador Novo
Dó3	42/31/10	12,0	150	5,3	7,0	52	0,35/0,27/0,25	Ressorador Novo
Tubos de liga metálica 57% Estanho (Sn) + 42,75% Chumbo (Pb) + 0,25% Cobre (Cu)								

<sup>2</sup> O valor da proporção da boca é obtido pela relação entre o diâmetro interno do tubo e a largura da boca.

Tabela 19 - Flautado de 12 palmos aberto – Mão Direita.

Flautado de 12 palmos aberto Mão Direita								
Nota	Corpo			Boca			Pé	Obs.
	Ø (mm)	Comp. (mm)	Perim. (mm)	Largura (mm)	Prop. (mm)	Altura (mm)	Altura (mm)	
Dó#3	49,5	575	155,5	34	4,57	10,0	Informação não disponível	Tubo antigo
Sól3	37,5	437,5	117,8	26	4,53	9,4	Informação. não disponível	Tubo antigo
Dó4	28,3	287,5	88,9	19	4,68	6,0	Informação. não disponível	Tubo antigo
Sol4	20,4	218,7	64,1	13,5	4,75	5,1	Informação. não disponível	Tubo antigo
Dó5	16,2	143,8	50,9	11,5	4,43	4,1	Informação. não disponível	Tubo antigo
Tubos de liga metálica 57% Estanho (Sn) + 42,75% Chumbo (Pb) + 0,25% Cobre (Cu)								

Tabela 20 - Flauta Travessa – Mão Direita.

Flauta Travessa Mão Direita									
Nota	Corpo				Boca			Pé	Obs.
	Ø > (mm)	Ø < (mm)	Comp. (mm)	Perim. (mm)	Largura (mm)	Prop. (mm)	Altura (mm)	Altura (mm)	
Dó#3	69,0	36	Info. não disponível	216,8	38,0	5,7	11,3	155	Tubo antigo
Sól3	51,8	36	Info. não disponível	162,7	28,5	5,7	8,5	140	Tubo antigo
Dó4	41,0	19	Info. não disponível	128,8	22,6	5,7	6,7	140	Tubo antigo
Sol4	34,0	19	Info. não disponível	106,8	18,7	5,7	5,5	140	Tubo antigo
Dó5	30,0	12	Info. não disponível	94,2	16,5	5,7	4,9	140	Tubo novo
Tubos de liga metálica 57% Estanho (Sn) + 42,75% Chumbo (Pb) + 0,25% Cobre (Cu)									

Tabela 21 - Pífano – Mão Direita.

Pífano Mão Direita									
Nota	Corpo				Boca			Pé	Obs.
	Ø > (mm)	Ø < (mm)	Comp. (mm)	Perim. (mm)	Largura (mm)	Prop. (mm)	Altura (mm)	Altura (mm)	
Dó#3	40,0	19,0	240	125,7	23,3	5,4	6,6	135	Tubo novo
Sól3	34,0	19,0	170	106,8	19,8	5,4	5,5	135	Tubo novo
Dó4	30,0	12,0	125	94,2	17,4	5,4	4,9	135	Tubo novo
Sol4	22,0	11,0	90	71,6	14,0	5,31	4,0	128	Tubo antigo
Dó5	19,5	10,5	60	61,5	11,0	5,57	3,0	128	Tubo antigo
Tubos de liga metálica 57% Estanho (Sn) + 42,75% Chumbo (Pb) + 0,25% Cobre (Cu)									

Tabela 22 - Clarim - Mão Direita.

Clarim Mão Direita								
Nota	Ressoador			Canulo			Lingueta	Obs.
	Ø > (mm)	Ø < (mm)	Comp. (mm)	Alt. (mm)	Larg. (mm)	Comp. (mm)	Espessura (mm)	
Dó#3	52,0	12,5	480	4,5	6,4	55	0,6	Tubo antigo
Sól3	44,0	9,5	340	4,5	6,0	43	0,8	Tubo antigo
Dó4	39,5	10,0	255	3,8	5,4	39	0,7	Tubo antigo
Sol4	35,9	9,5	180	3,3	4,7	33	0,6	Tubo novo
Dó5	33,5	9,0	120	3,0	4,3	28	0,6	Tubo novo
Tubos de liga metálica 70% Estanho (Sn) + 27,5% Chumbo (Pb) + 2,5% Cobre (Cu)								

A disposição dos vários registos no someiro e na fachada ou frontaria, é visível na imagem de corte transversal apresentado na figura seguinte. É possível, através da imagem, identificar as diferentes partes do instrumento, abordadas anteriormente, na sua posição funcional.

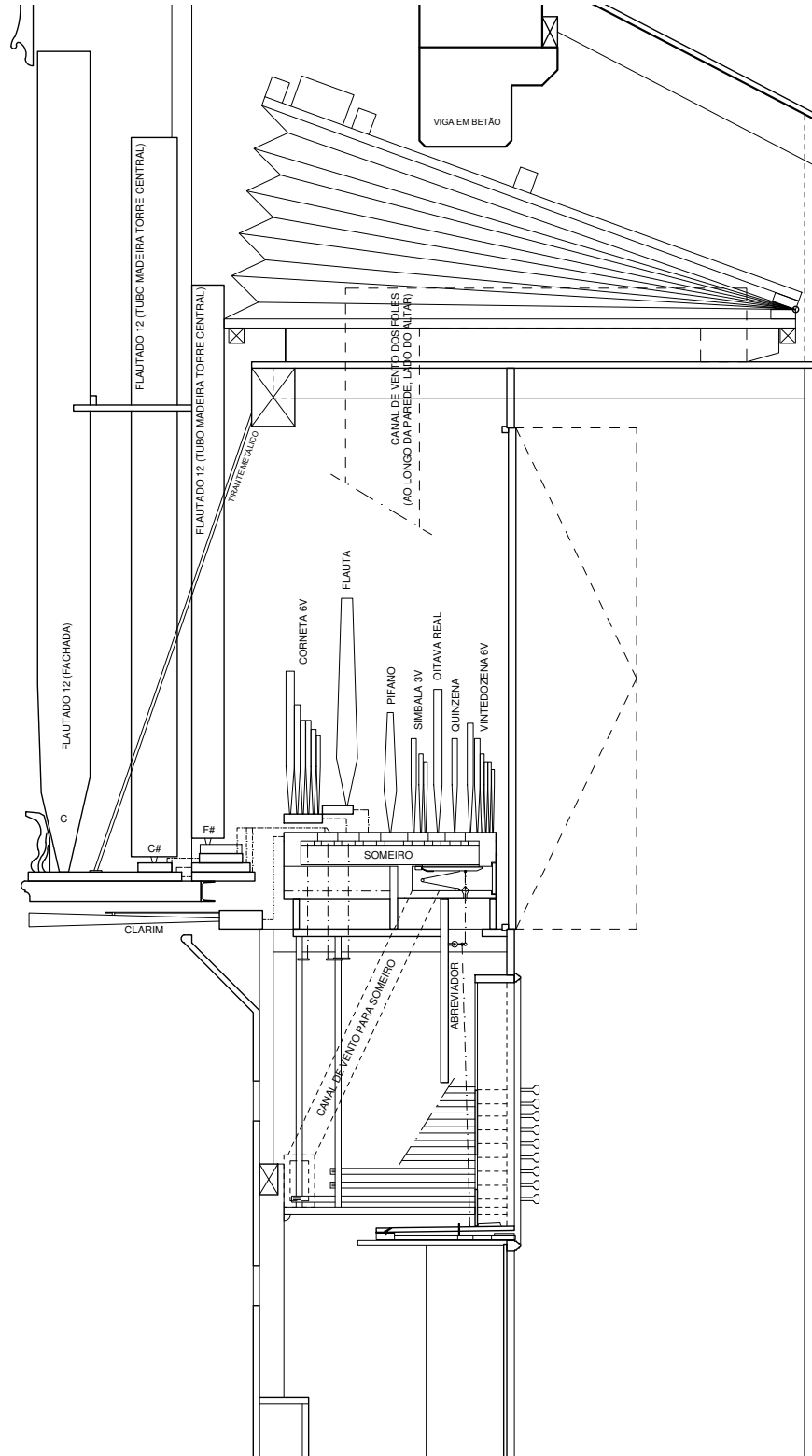


Figura 18: Corte transversal do órgão – Desenho técnico da autoria do Arq. João Valério, disponibilizado pela Oficina e Escola de Organaria de Esmoriz

#### 4.3.2. Caixa do órgão e consola

A caixa do órgão é a estrutura de madeira que suporta toda a parte mecânica do instrumento e o someiro. Esta estrutura, construída em madeira de castanho encerra e protege o conjunto dos tubos e a parte mecânica através de portadas com postigo, situadas na parte posterior.

A caixa está colocada no intradorso do arco da galeria superior, na parede norte onde se situa a consola, existindo pequenas aberturas ao nível do teclado manual, para possibilitar o contacto visual da(o) organista com a nave da igreja.

A caixa de madeira foi estabilizada, pois toda a transmissão mecânica de movimentos, acoplada a esta estrutura está otimizada para determinadas dimensões dos componentes. No caso de haver movimentações por má estabilização da caixa estas poderão afetar o desempenho do instrumento, nomeadamente na sensibilidade do teclado, na abertura das válvulas, e ou provocar a passagem de vento inadvertidamente para a tubaria.

São evidentes os vestígios do aproveitamento de partes de outros instrumentos para a construção deste órgão. Esta prática era comum nos trabalhos de organaria no passado, sobretudo quando os instrumentos eram readaptados na expectativa de correspondência às tendências da época. Essas indicações surgem pela identificação da utilização de régua antigas para construir as guias do someiro, furações das régua alteradas e teclado demasiado extenso comparativamente com a largura da consola, sem margem para os muros decorativos.

Foi também verificada a existência anterior de um sobre-someiro de cheios, quer pelas marcas deixadas no someiro quer pela evidência das marcas de pedais para controlo da abertura e fecho de régua de cheios na parte inferior do teclado.



Figura 19 - Consola do Órgão de Sta. Clara. Fotografia gentilmente cedida por Carlos Sousa Pereira.

### 4.3.3. Someiro

Este órgão possui um único someiro construído em madeira de castanho, com uma largura de 1,86 m e 0,69 m de profundidade. As paredes das gravuras são apoiadas num aro de madeira de castanho com secção 73mm x 65mm, com entalhe nos topos, e as tampas de castanho são coladas lateralmente nas paredes das gravuras.

A colocação dos tubos no someiro respeita uma ordem cromática, encontrando-se os tubos maiores da mão esquerda e mão direita no centro do someiro e os mais pequenos nas extremidades.

Com a exceção dos tubos de palheta e de registos flautados como o principal de 12 palmos, cuja condução do vento é feita através de tábuas de madeira (chapas de condução) e condutas metálicas, os restantes encontram-se colocados sobre o someiro. O acesso ao secreto ou caixa de vento é feito através de duas tampas situadas na parte superior da consola (parte posterior do someiro).

O órgão encontrava-se inoperacional há muito tempo. Não havia registo da última utilização funcional. As infiltrações de água, os ataques de insetos xilófagos, a oxidação das partes metálicas por contacto com as peles e madeira, e a acumulação de pó e resíduos de construção eram dos sinais mais evidentes da grave degradação.

Nos trabalhos de restauro todas as partes do someiro foram desmontadas e cada uma delas limpa e restaurada. As peles foram descoladas e removida toda a oxidação da madeira provocada pelas partes metálicas.

Foi necessário garantir que cada gravura do someiro estaria perfeitamente estanque para impedir as passagens de vento de umas notas para as outras, por isso os trabalhos implicaram consolidar a armação do someiro, vedação das gravuras, colagem das tampas soltas e substituição das tampas degradadas, para ser possível nivelar toda a estrutura. As fissuras da madeira foram reparadas com cunhas de madeira e cola animal e o nivelamento de todo o someiro foi conseguido com a utilização de garlopas manuais. Toda a superfície do someiro foi coberta por pele animal colada com grude. Os orifícios coincidentes com os orifícios das réguas ou corrediças foram cortados e queimados com ferros cónicos incandescentes para melhorar a definição do perímetro do orifício.

Na oficina, durante o processo de restauro, foi necessário garantir que as condições de humidade e temperatura se mantinham dentro dos limites que a igreja comporta. Foram consideradas as propriedades higroscópicas da madeira, para evitar exposição das estruturas aos seus limites de comportamento mecânico.

As chapas do someiro, as guias e as réguas (corrediças) foram limpas e plainadas manualmente, para obter nivelamento e alinhamento.



Os orifícios dos pandeiretes foram ajustados ao diapasão da tubaria e tratados quimicamente, com o objetivo de evitar reações que acelerem a degradação do metal dos tubos, quando colocados sobre estes.

A caixa de vento foi limpa, nivelada, coberta com pela animal, e cada válvula calibrada para posteriormente ser possível colar as peles de vedação.

As molas de metal que atuam sobre as válvulas, foram construídas manualmente com arame de aço de acordo com o calibre e força das molas antigas degradadas.



*Figura 20 - Vista superior da Tubaria e Someiro.*

#### 4.3.4. Mecânica das notas e registos

O teclado de 54 teclas situado na consola na parte posterior do órgão, possui teclas de castanho com braço simples e fixas na parte traseira com pergaminho. Não existiam vestígios das capas das teclas do teclado manual, contudo na organaria ibérica era comum a utilização da madeira de bucho para construção das mesmas. As capas das teclas dos acidentes são construídas em madeira de ébano. As teclas têm 2 guias de metal na parte exterior, colocadas ao nível do ponto de tração da válvula.

O abreviador deste órgão tem dimensões mais largas do que tradicionalmente é suposto (parte maior é equivalente à largura do someiro) e foi construído em madeira de castanho, com os molinetes octaédricos em madeira de castanho, e os eixos e os braços de latão com diâmetros entre os 1,8mm e os 2,3mm. A ligação mecânica da tecla ao abreviador, e deste ao someiro foi feita com varetas de madeira de castanho com pontas de arame de latão torcido e batido, sem pontos de regulação do comprimento. Estes componentes encontravam-se em avançado estado de degradação e apenas existiam alguns exemplares. De acordo com os vestígios foram reconstruídos os componentes em falta e calibrados para uma utilização funcional ao estilo da época.

A transmissão mecânica dos registos foi feita a partir da consola com 8 puxadores ou manúbrios de registos na mão esquerda e 9 puxadores ou manúbrios na mão direita. Estes são construídos em madeira de ébano, torneados de secção redonda e ligam aos tirantes de madeira de castanho com secção quadrada, que se encontram na parte posterior da consola. Estes tirantes de secção quadrada estão ligados aos molinetes verticais de ferro, que por sua vez atuam através dos braços diretamente nas régua.

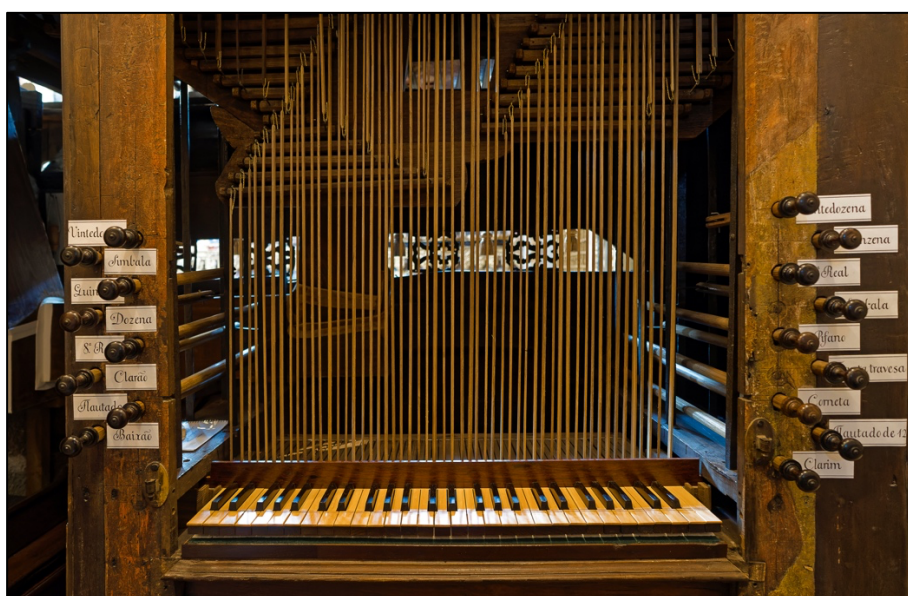


Figura 21 - Vista frontal da Consola, Registos e Transmissão das Notas.



#### **4.3.5. Sistema de Vento**

O sistema de vento é constituído por dois foles em cunha, com 6 pregas cada um, dispostos paralelamente. Os foles são construídos em madeira de castanho (tampas do fole e pregas) e as juntas, articulações e vedações em pele. Cada fole tem 1,86 m de comprimento por 0,90 m de largura.

Os canais de vento são construídos igualmente em madeira de castanho com uma espessura de 11mm e com secção exterior de 210mm de largura por 90mm de profundidade. O lado interior das paredes dos canais de vento foi tratada para ser o menos rugosa possível, para favorecer a condução do fluxo de vento em regime laminar, sem turbulência, e as curvas dos canais foram contruídas em várias secções, com ângulos superiores a 90° sem esquinas vincadas. A construção dos canais de vento novos, de dimensões ajustadas ao caudal e pressão pretendidos para o someiro, deve-se ao facto de ser utilizado um ventilador elétrico. Estes novos canais de vento, conduzem o ar da válvula de regulação do ventilador para os foles.

No passado, os foles eram acionados manualmente por meio de alavancas, trabalho realizado pelo foleiro. Atualmente o fornecimento de ar aos foles é conseguido através da utilização de um ventilador elétrico, com uma válvula de regulação para cada fole. A pressão constante do ar nos foles é conseguida através da colocação de pesos na tampa dos foles. A avaliação do peso (normalmente uma pedra) e do local de colocação sobre a tampa dos foles permitiu obter um valor muito aproximado da pressão original do ar no someiro. Esta pressão, medida em milímetros de coluna de água, varia, dependendo do instrumento, neste caso encontra-se próxima dos 40mm de coluna de água, o que corresponde a 0,4 kPa.

Os foles do órgão da Igreja de Santa Clara não se encontravam em funcionamento e estavam em mau estado de preservação. Foram reconstruídos, de acordo com as técnicas da época, utilizando as madeiras e as peles de ovelha curtidas. As vedações e articulações em pele foram coladas com cola de origem animal. Para garantir a preservação das peles dos foles foram construídas proteções em madeira de castanho que protegem os foles contra o ataque de roedores, quando estes estão fechados.



Figura 22 - Vista interior dos Foles e Sistema de Vento.

#### 4.4. Caracterização acústica do instrumento

A afinação dos instrumentos antigos é quase sempre um tema que gera alguma discussão. Com o objetivo de evitar esse tipo de questões foi normalizado o Lá central a 440Hz, pela Norma ISO 16:1975 *Acoustics - Standard tuning frequency (standard musical pitch)*.

No caso dos órgãos em particular, e dos instrumentos antigos de modo geral, os critérios da escolha da afinação são quase sempre critérios históricos de respeito pela integridade sonora da época de construção do instrumento.

Relativamente ao órgão da Igreja de Santa Clara, uma vez que a tubaria não se encontrava completa, e o órgão apresentava sinais claros de intervenções profundas, sofridas ao longo dos tempos, o critério para definir a afinação foi por comparação ao órgão positivo também designado de realejo que se encontrava no Coro-alto da Igreja de Santa Clara. Este órgão pequeno foi construído pelo organeiro Manuel de Sá Couto e colocado na igreja no início do Sec. XIX. A avaliação da afinação deste instrumento permite tirar conclusões relativamente à altura do Lá, considerando que os instrumentos tocavam em simultâneo e dada a existência da totalidade da tubaria original no órgão pequeno, foi possível identificar a frequência do Lá central a 413,5 Hz à temperatura de 19,8°C, pelo que se definiu a afinação em Lá 415 Hz a 22,2°C.

O estado de degradação avançado da tubaria e o desconhecimento da pressão do ar no someiro impediu a identificação da afinação e temperamento do instrumento.

A tabela seguinte apresenta os valores de humidade e temperatura registados na igreja ao longo de vários dias de medições.

Tabela 23 - Valores de humidade e temperatura na nave da Igreja de Sta. Clara.

Valores de humidade e temperatura na nave da Igreja de Sta. Clara							
Data	12MAR21	03JUN21	16MAR22	17MAR22	18MAR22	21MAR22	23MAR22
Temperatura °C	16	18	14	13	15	15	15
Humidade HR %	60	65	72	62	68	68	69

Relativamente ao temperamento, por sugestão do supervisor dos trabalhos de restauro do órgão, Dr. Nuno Mimoso, a escolha recaiu sobre o temperamento usado na época, apresentado no “*Compêndio de Música Theorica e Prática*”, da autoria de Frei Domingos de S. José Varella, editado no Porto em 1806. O temperamento descrito no manual respeita os critérios do sistema tonal e harmónico do reportório musical composto para o Mosteiro de Santa Clara do Porto (período 1770 - 1833), e enquadra-se no estilo harmónico barroco tardio e clássico, vigente em toda a Europa nos finais do Sec. XVIII e inícios do Sec. XIX. (Nuno Mimoso, maio de 2021, relatório técnico).

O *Compêndio de Música Theorica e Prática*, propõe na sua página 64 o seguinte: “*Modo ordinário d’affinar o Orgão, Cravo e Outros. [...] Afine-se o C do meio do teclado em tom competente; depois affine-se G 5ª acima, G 8ª abaixo; D 5ª acima, A 5ª acima, A 8ª abaixo, E 5ª acima. As oitavas devem ficar justas, e as quintas algum tanto diminuídas, de sorte que a última 5ª E faça 3ª maior justa com o C por onde se principiou. Partindo do E, se affine B 5ª acima, B 8ª abaixo, F# 5ª acima, C# 5ª acima, C# 8ª abaixo, G# 5ª acima. As oitavas se afinarão justas, as quintas, porém algum tanto diminuídas; mas não tanto quanto as primeiras, de tal sorte que a última 5ª G# faça 3ª maior alguma cousa alta com E já afinado. Continue-se a afinação principiando outra vez no primeiro C, e com elle se afinem F 5ª abaixo, F 8ª acima, Bb 5ª abaixo, Bb 8ª acima, Eb 5ª abaixo, Eb 8ª acima, Ab 5ª abaixo, (que é o mesmo que G#). As oitavas devem ficar justas, e as quintas algum tanto subidas da parte inferior; de tal sorte que a última 5ª Ab coincida justamente com G# já afinado. Todos os signos por afinar devem ajustar-se por 8ªas com os signos já afinados.*”

Pela interpretação da proposta de afinação de Frei Domingos de S. José Varella, foi criada o seguinte temperamento.

Tabela 24 - Temperamento do Órgão da Igreja de Sta Clara.

Órgão da Igreja de Santa Clara - Temperamento em cent											
Dó	Dó#	Ré	Ré#	Mi	Fá	Fá#	Sól	Sól#	Lá	Lá#	Si
0	91,25	193,00	294,75	386,00	498,25	589,50	696,50	793,00	889,50	996,50	1087,75

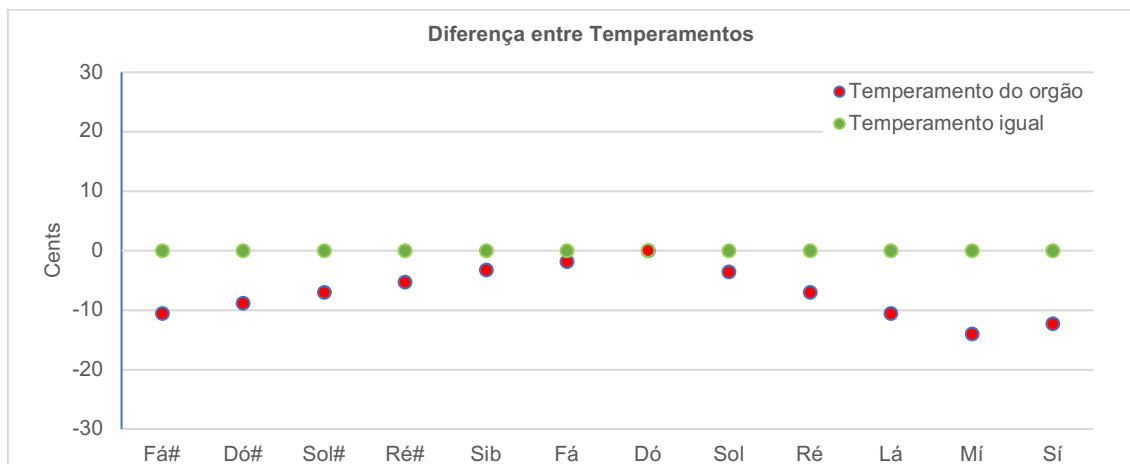


Figura 23: Diferença de Temperamentos em cent

A gama de frequências do instrumento está compreendida entre os 63Hz e valores superiores aos 20.000 Hz. A primeira é a fundamental produzida pelo primeiro tubo Flautado de 12 palmos (8') da mão esquerda, e a mais alta pelos harmónicos superiores do tubo mais pequeno Fá 5 1 ½ (1').

#### 4.5. Análise espectral

A análise detalhada dos níveis acústicos relativos da fundamental e das componentes harmónicas das diferentes notas dos vários registos do órgão, permite estabelecer comparações com os resultados apresentados por outros autores, relativamente a registos da mesma família e aferir as diferenças entre a análise em ambiente controlado/anecóico e as gravações realizadas *in situ*. Segundo autores como Colin Pykett, a relação de harmónicos das várias famílias de registos é comparável através do estudo das linhas tendências dos conjuntos de harmónicos e não propriamente do valor relativo de cada um dos harmónicos, por este ter uma dependência direta da posição que ocupa no someiro pela proximidade aos restantes tubos.

O processamento dos dados recolhidos na gravação, foi efetuado com o *software* gratuito *Sonic Visualizer*. Esta aplicação gratuita e em *open source*, foi criada e desenvolvida pelo Centro de Música Digital da *Queen Mary University of London*, e permite visualizar e analisar conteúdos de ficheiros áudio. O modo de análise: *Spectral*, que foi utilizado neste trabalho, permitiu avaliar o nível sonoro-relativo da frequência fundamental e das componentes harmónicas das várias notas dos diferentes registos.

Os microfones utilizados na recolha das amostras fonográficas analisadas foram colocados no interior da caixa do órgão. Foram utilizados os microfones, do fabricante alemão, Gefell – modelo M930. A escolha destes equipamentos prendeu-se com

questões práticas de disponibilidade e por possuírem um baixo ruído de fundo (13 dB Norma CCIR 468-4, e 7 dB-A de acordo com a norma DIN EN 60268-4). Estes transdutores de condensador do tipo gradiente de pressão possuem diagrama polar de captação cardioide e uma gama de resposta em frequências dos 40 Hz até aos 20 KHz. Considerando os objetivos do trabalho académico, e na impossibilidade de utilização outros microfones, estes transdutores não comprometem os resultados.

A figura seguinte apresenta a resposta em frequência do microfone Gefell M930 e o respetivo diagrama de captação. Para o eixo de captação principal a resposta é relativamente linear, exceção feita à gama de frequências compreendida entre os 6 KHz e os 15KHz, onde apresenta um ligeiro reforço.

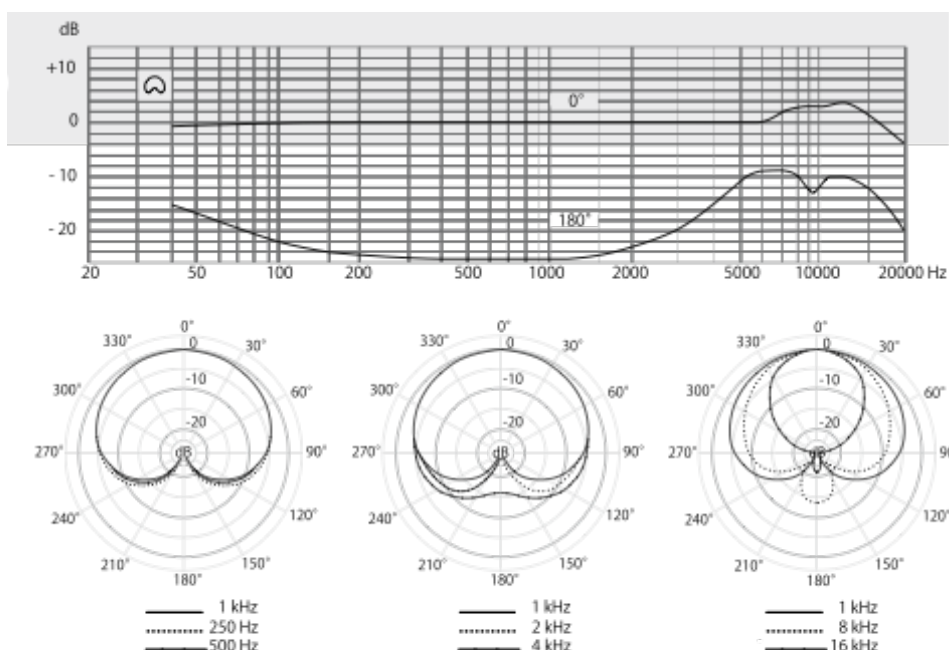


Figura 24: Gráfico da resposta em frequência do microfone Gefell M930, utilizado nas gravações.

Os microfones foram colocados no interior da caixa do órgão, um do lado esquerdo e outro do lado direito equidistantes do centro do someiro. A colocação dos microfones nesta posição pretende minimizar a interferência da resposta acústica da igreja e simultaneamente melhorar a relação sinal/ruído. As amostras de áudio, para análise no software, foram recolhidas num canal mono, com uma taxa de amostragem de 96KHz e uma taxa de conversão de 24bit. A representação espectral da amostra, corresponde à análise do instante de tempo após os transientes iniciais e após estabilização do sinal, aproximadamente 2 segundos.

As figuras seguintes representam a relação do nível sonoro entre a frequência fundamental e os harmónicos respetivos, relativos a cada nota.

## Espetrogramas

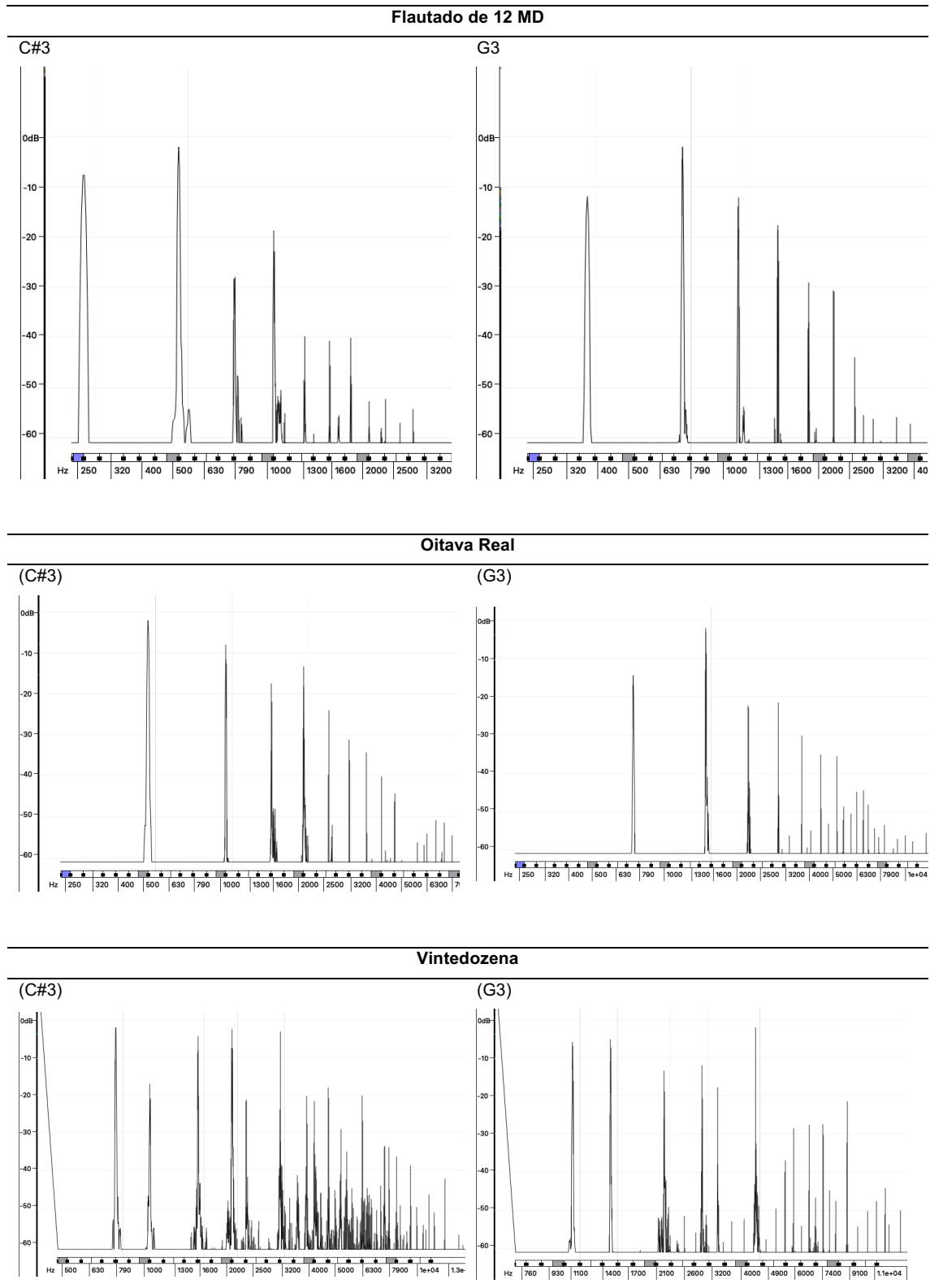


Figura 25 - Espetrogramas de vários registos com a intensidade relativa dos diferentes componentes harmónicos.

São apresentados como exemplo, 2 notas, C#3 e G3 do registo Flautado de 12, Oitava Real e da Vintedozena da mão direita. A estrutura harmónica dos registos: Principal de 12 e Oitava Real, é muito aproximada por se tratar de registos da mesma família com características tímbricas muito idênticas: A Vintedozena é um registo composto de 6 filas e o primeiro tubo é um  $2 \frac{2}{3}$ ' logo a frequência fundamental da nota produzido por esse registo é uma quinta. A estrutura harmónica do registo é manifestamente diferente dos anteriores, por se tratar da soma de várias filas em simultâneo. (Disley & Howard, 2004)



Figura 26 - Setup de gravação.

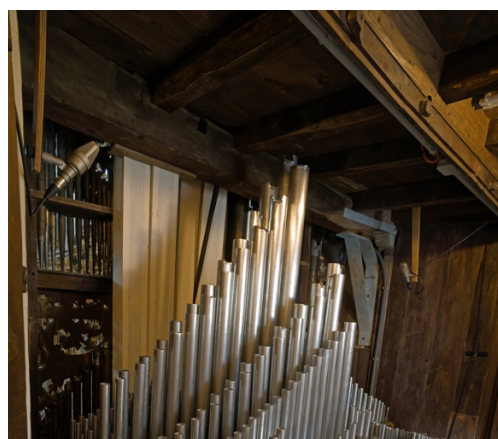


Figura 27 - Microfones no interior da caixa do órgão.



## **CAPÍTULO V - O *Sampling* do órgão da Igreja de Sta. Clara.**

Ao longo deste capítulo pretendo introduzir a temática do processo de *sampling*, a importância do registo fonográfico da sonoridade dos órgãos históricos para arquivo futuro e descrever os processos de captação sonora das notas dos diferentes registos do órgão da Igreja de Sta. Clara. O trabalho descrito no presente capítulo não prevê a implementação prática e programação efetiva do instrumento virtual, privilegiando-se antes o foco em obter numa primeira fase amostras sonoras de qualidade, representativas do instrumento e assentes em premissas conceptuais e escolhas técnicas apropriadas, enquanto material de base para uma eventual concretização futura.

### **5.1. O *sampling* de instrumentos musicais**

Com uma história relativamente recente, quando comparada com a do órgão, e bastante mais fácil de compreender, pelo facto dos acontecimentos marcantes se alinharem ao longo da segunda metade do século passado, o *sampling* tornou-se cada vez mais uma possibilidade de “democratizar” os sons. Podemos hoje, em casa, com relativa facilidade tocar e escutar um Bösendorfer no Carnegie Hall, ou tocar e escutar no quarto o órgão sinfónico da Catedral de Notre-Dame. Com toda a certeza não será a mesma sensação de escuta do instrumento real no contexto acústico onde ele se insere, mas a aproximação é muito válida e em determinados contextos, a única opção.

O processo de *sampling* é hoje uma realidade inseparável de qualquer processo de composição e produção da indústria da música, teatro e cinema. A maioria dos sintetizadores disponíveis no mercado utiliza-o como fonte sonora, e as bibliotecas de sons para instrumentos virtuais são cada vez mais abundantes e de elevada qualidade. O processo de *sampling* estará intimamente ligado aos direitos autorais em sentido estrito, quando se trata de captar e reproduzir conteúdos criados por outro autor, e em sentido lato quando se trata de registar fonograficamente a essência sonora de algum instrumento ou fonte sonora. A tentativa de rotura com a música convencional, dos sons puros, e a aceitação das várias formas de ruído como matéria prima para composições futuristas musicais, são apresentadas na “Arte dos Ruídos - Manifesto Futurista”, (Luigi Russolo, 1913). Este trabalho abre portas para o pensamento crítico acerca da forma como os ruídos provenientes de diferentes fontes (máquinas industriais, natureza, transportes, etc.) podem ser manipulados e exibidos fora do seu contexto, com a utilização compulsiva dos processos de *sampling*.

Nos primórdios da história do *foley*<sup>3</sup>, no início da década de 20, o recurso a técnicas experimentalistas de *sampling*, por forma a captar e reproduzir ruídos em fita magnética, parecem ser já utilizados com relativa facilidade.

Historicamente o processo de *sampling* está também relacionado com o início da música eletroacústica, e com as experiências sonoras de compositores experimentalistas como os franceses Pierre H. M. Schaeffer (1910 -1995), e Pierre Henry (1927 - 2017).

O desenvolvimento tecnológico que acontece com o final da II Grande Guerra, favorece a indústria dos equipamentos de gravação e reprodução sonora, pela transição discreta de equipamento militares para fins comerciais.

Na Europa assiste-se à criação de laboratórios de ensaio associados à radio difusão televisiva. Em Paris através do Office de *Radiodiffusion Télévision Française* (ORTF) cria-se o Grupo de Pesquisa de Música Concreta (*Groupe de Recherche de Musique Concrète*) e na Alemanha em Colónia surge a *Elektronische Musik* através da rádio difusão *Westdeutscher Rundfunk*. A utilização de fragmentos de sons gravados em fita magnética e posteriormente manipuladas, por alteração da velocidade de reprodução ou pelo sentido de rotação dos leitores, são exemplos das experiências desenvolvidas por Schaeffer e Henry nos estúdios da ORTF.

Mais tarde surgem os primeiros instrumentos eletroacústicos de tecla que utilizam a reprodução de amostras sonoras pré-gravadas em fita magnética.

No final da década de 40 o Norte Americano Harry Chamberlin, de Iowa, Wisconsin, é apontado como criador do primeiro instrumento de teclas eletromecânico o *Chamberlin*, que utiliza amostras pré-gravadas como fonte sonora e amplificadas eletroacusticamente. O instrumento com um teclado relativamente curto, 35 teclas, possuía um mecanismo de leitura de fitas magnéticas para cada nota, e uma fita pré-gravada que iniciava a leitura quando a tecla era pressionada e que era rebobinada quando a tecla era libertada.

A criação foi inspirada nas gravações de órgão que Harry fizera em sua casa, percebendo rapidamente que poderia ter num só instrumento a essência de todos os instrumentos que pretendesse gravar nota a nota. A qualidade das amostras pré-gravadas eram uma preocupação para Chamberlin, por esse motivo usou transdutores de elevada qualidade para as gravações, como o microfone de membrana larga, do fabricante alemão de Berlim, Neumann U47, uma referência na indústria da música. As gravações das amostras sonoras, para reprodução pelo Chamberlin, eram feitas pelo

---

<sup>3</sup> “Foley” é a palavra Inglesa usada para os processos de manipulação de sons, vulgarmente utilizado em cinema, que em português se designa sonoplastia.

próprio Chamberlin com os músicos e instrumentos da conceituada Lawrence Welk Orchestra.

Foram construídas algumas unidades deste instrumento, mas a morosidade do processo construtivo, os custos associados à sua produção, e sua fragilidade tornaram-se impedimento à sua produção em série e conseqüente crescimento.

Este instrumento é o precursor do Mellotron, instrumento criado alguns anos mais tarde no Reino Unido, com a colaboração de Bill Fransen, comercial da Chamberlin. O Mellotron, cujo princípio de funcionamento era semelhante ao Chamberlin, foi desenvolvido, otimizado e comercializado a partir dos anos 60 pela Bradmatic, Lda e depois pela Streetly Electronics. Considerando as competências técnicas e o *know-how* da empresa que acolheu o projeto (Bradmatic, Lda) apresentado por *Bill* Fransen, a evolução, desenvolvimento e comercialização do instrumento foram muito bem conseguidos.

Em 1969 surge o primeiro dispositivo digital de *sampling*, o EMS Musys, criado em Londres por Peter Grogono responsável de software, David Cockerell, interfaces e hardware e Peter Zinovieff, responsável pelos desenhos de sistema e operação. Este dispositivo funcionava com dois mini-computadores de 12-bit, os PDP-8's da Digital Equipment Corporation. Em 1976 é lançado o primeiro sampler digital monofónico comercial o Computer Music Melodian, por Harry Mendel, usado por Stevie Wonder no seu trabalho "Journey Through The Secret Life of Plants" de 1979. Nesse mesmo ano surge na Austrália o Fairlight CMI (*Computer Musical Instrument*), um instrumento polifónico que funcionava simultaneamente como sampler, sintetizador digital e como *Digital Audio Workstation*. Este instrumento foi criado por Kim Ryrle e Peter Fogelr.

Um dos pontos em comum de todos estes equipamentos era o facto de serem pouco acessíveis para o utilizador comum pela desvantagem, sobretudo quando comparados com a utilização de sintetizadores, de existir o trabalho adicional de gravar os próprios *samples*.

Durante a década de 80 surgem os primeiros samplers digitais pelo fabricante Japonês AKAI, Electric Company. Mais tarde, este fabricante disponibiliza no mercado equipamentos com a própria biblioteca de *samples* e com a possibilidade adicional de acrescentar outros sons comercializados, para além dos sons gravados e programados pelos próprios utilizadores. Os modelos das séries S e X em formato modular ou teclado da AKAI, como o S612, S700, S900 e S1000 são os primeiros modelos comercializados relativamente acessíveis aos consumidores. O S1000, funcionava com uma taxa de conversão de 16-bit, e possuía polifonia a 8 vozes. No final da década de 80, surgem outros equipamentos de fabricantes como a Roland, com modelos das Series S, o S550 ou S770, com preços relativamente atraentes comparativamente aos equipamentos

anteriores, e que permitiam a aquisição adicional de bibliotecas de sons. O modelo S770 da Roland tinha características muito satisfatórias, como: polifonia a 24 vozes e 16 camadas multitímbricas, funcionava a 16-bit com taxas de amostragem até 48KHz.

Alguns modelos possuíam uma capacidade de 40Mb em disco SCSI, para memória dos bancos de *samples* e a possibilidade adicional de utilização de disquetes externas. O início da década de 90 revela os primeiros equipamentos mais versáteis com leitor de CD-ROM, como o AKAI CD-3000.

O enorme salto dado na capacidade de processamento dos computadores nas últimas décadas, aliado à vulgarização dos suportes armazenamento de grande escala como o DVD-ROM, discos rígidos e até *download* direto (excluindo inteiramente o suporte físico), tornou inevitável a adoção do computador enquanto sintetizador e/ou *sampler*, levando ao aparecimento do conceito de instrumento virtual, ou seja, implementado em *software* a correr num computador pessoal por oposição aos anteriores equipamentos dedicados.

## 5.2. Conceptualização do instrumento virtual

Para o desenho e construção de um qualquer instrumento virtual importa considerar que concorrem pelo menos dois vetores, nem sempre, com a mesma direção e sentido: - o *know-how* e intenção do construtor e as necessidades/expectativas do utilizador. Numa fase inicial estes dois vetores condicionam a forma e as funcionalidades do instrumento virtual. A replicação da identidade sonora do instrumento, não está apenas dependente da qualidade e forma como todas as notas dos diferentes registos estão gravadas e trabalhadas, mas também da forma como são processadas e reproduzidas pelos sistemas eletroacústicos do utilizador final. Neste trabalho não vamos abordar as limitações dos sistemas eletroacústicos de reprodução do instrumento virtual e ou dos programas utilizados para o efeito.

A correspondência das funcionalidades, sonoridade, transparência e sensibilidade do instrumento virtual face ao instrumento real pode levantar uma série de questões:

1. Qual a perspectiva de audição pretendida? A do músico ou a do ouvinte?
2. Deve o espaço acústico original ser representado? Se sim, de que forma?
3. As diferenças tímbricas e de nível de pressão acústica, fruto do processo de gravação dos *samples*, deverão ser corrigidas no instrumento virtual?
4. O conteúdo sonoro exterior/ruído de fundo deverá estar representado no instrumento virtual, ou deverá ser isolado?

5. Os ruídos não musicais da mecânica do instrumento devem ser considerados? Sendo eles considerados, de que forma são representados?

O caso particular do órgão, como referido anteriormente, estará intimamente ligado ao espaço acústico onde se insere por ser uma estrutura de dimensões consideráveis não amovível, e dimensionado em termos de massa sonora, para ecoar dentro desse espaço. Neste contexto a percepção e experiência sonora do ouvinte está dependente da localização no espaço e a percepção do instrumentista, por se encontrar próximo da caixa do instrumento, será substancialmente diferente da experiência dos restantes ouvintes, e certamente a menos agradável. Respondendo às primeiras questões, esta condição deve ser materializada no instrumento virtual, e a sonoridade deverá ser otimizada para o utilizador, mesmo que a impossibilidade de separar a sonoridade do instrumento no espaço acústico seja uma condição da gravação.

Em resposta à questão 3, tratando-se de um instrumento polifónico multitimbrico, o caso particular do órgão da Igreja de Santa Clara, com 17 meios registos (8 na mão esquerda e 9 na mão direita), sem pedal, equivale na prática à criação de 17 instrumentos virtuais, ou um instrumento multitimbrico com polifonia a 10 notas. A utilização simultânea de vários registos condiciona o nível sonoro de cada um deles, quando isolado. A soma digital dos sinais áudio, contrariamente ao que acontece numa situação real de soma de pressões acústicas, estará compreendida dentro de uma gama dinâmica finita, a qual terá o seu máximo absoluto, livre de distorção, nos 0 dBFS, o que corresponde à soma de todos os registos, *tutti* ou pleno. Para que o resultado da soma de todos os registos se encaixe, sem distorção, dentro da gama dinâmica do instrumento virtual é recomendável que se façam ajustes durante a edição nos *samples* para que a condição se verifique. As não linearidades das gravações do instrumento, fruto dos processos de captação, quer por diferença na distância do microfone à fonte, quer por interferências do espaço, deverão ser corrigidas. As não linearidades intrínsecas ao próprio instrumento, como sejam as diferenças tímbricas e de nível sonoro dentro de cada registo, consideradas significativas, e os atrasos no ataque das notas, deverão ser corrigidos.

O instrumento virtual poderia ser em parte sintetizado digitalmente ou a partir de samplers de algumas notas de cada registo, e gerar, por alteração da afinação, as seguintes notas. Esta técnica pouparia recursos de memória no instrumento virtual e facilitaria a implementação e processamento. Apesar de se garantir que os transientes iniciais e o decaimento final das notas seriam bem conseguidos, e representativos do registo, esta solução apresentaria a desvantagem de não traduzir a importância de cada

tubo na sonoridade final. A assinatura sonora de cada instrumento, é a multiplicidade de fontes e o seu carácter único.

Relativamente à questão 4, e considerando o ruído de fundo uma característica do espaço, e não do instrumento, com origem externa, apesar da interferência acústica direta, poderíamos com alguma propriedade, reduzir (digitalmente) a sua influência no binómio órgão/igreja.

Comparativamente a outros instrumentos o órgão possui a vantagem - entenda-se em termos práticos - de não variar a intensidade/sensibilidade sonora para a mesma nota em cada registo. O modo de produção sonora do instrumento implica uma abertura mecânica, quase imediata, da válvula que permite a passagem do ar para um determinado tubo. Desta forma dispensa, à partida, a necessidade de múltiplas gravações ou *layers* para a programação da função de sensibilidade ao nível da dinâmica do teclado manual.

Respondendo à questão 5, esta funcionalidade pode existir para destacar os vários níveis de ruído mecânico, não musical, produzido pelo teclado e pela transmissão mecânica das notas.

### **5.3. Descrição do processo de recolha das amostras sonoras**

A multiplicidade de fontes sonoras no interior da caixa do órgão e no exterior (registos de palheta e Flautado de 12 Palmos) condicionam a escolha do ponto ideal para captação. Por opção, a captação dos *samples* foi feita em estéreo. Para comparação, foram utilizados 4 pares de microfones colocados em diferentes posições: um par XY e outro AB colocados ao centro da nave da igreja, um par MS colocado relativamente próximo da fonte, e um par AB espaçado, colocado na caixa do instrumento. O par de referência para a realização deste trabalho foi o par coincidente MS colocado a uma distância relativamente próxima do instrumento (7 metros), com o propósito de conseguir uma boa relação sinal/ruído, e evitar interferências de fase nas frequências agudas por reflexões do piso. Por opção não foram usados em simultâneo os áudios das gravações dos vários pares de microfones. Esta opção salvaguarda a degradação do sinal áudio por combinação das ondas sonoras refletidas e das diferenças no tempo de chegada dos sinais causando o efeito de *comb filtering*.

Para implementação futura do instrumento virtual poderão ser utilizadas como funcionalidades a escolha do ponto de escuta, o tipo de captação (AB, XY ou MS) ou a gravação próxima com menor interferência do campo reverberante (AB interior).

O processo de recolha das amostras sonoras foi um processo moroso e repetitivo, e poderá ser apresentado simplificado neste trabalho.

A série de sessões de gravação experimentais, permitiu sistematizar o processo de montagens de equipamentos e aferir os locais mais representativos para captação.

A gravação da resposta impulsiva da igreja obtida através do ensaio acústico com o programa IRIS 3D poderá permitir no futuro a criação de um *reverb* de convulsão desse espaço acústico e adicionar ou subtrair reverberação ao instrumento virtual, acrescentando-lhe versatilidade e valor funcional.

### **5.3.1. Técnicas de captação**

Foram utilizadas várias técnicas de captação de par coincidente. As gravações foram realizadas com microfones Schoeps em várias localizações da nave da igreja de acordo com o layout.

Uma das técnicas de captação escolhidas (par MS) é bastante comum neste tipo de trabalhos por possibilitar uma coerente conversão para sistemas mono e permitir à *posteriori*, em trabalho de pós-produção, estabelecer um equilíbrio entre som direto e o campo reverberante. O resultado obtido traduz-se numa boa imagem sonora espacial do evento acústico, permite uma clara identificação espacial da fonte e poderá, por efeito da proximidade das duas cápsulas (diferença de tempo na chegada dos sinais), como desvantagem, não apresentar uma sensação de profundidade muito evidente. Esta situação poderá ser melhorada na edição posterior dos ficheiros áudio com recurso a equipamentos analógicos de *Stereo Field Editing*.

A colocação do par AB interior, com os microfones Gefell M930, foi feita próximo da fonte no interior da caixa do órgão. Com esta técnica consegue-se um efeito mais pronunciado do som direto da fonte e menos presença sonora da resposta da sala. A conjugação das duas técnicas permite tomar decisões sonoras estéticas e melhorar o resultado final, considerando a importância dos ruídos mecânicos do instrumento.

### **5.3.2. Procedimentos**

#### **Teste preliminar**

Foram efetuados 24 ensaios, distribuídos por 6 posições distintas de microfone e cada uma delas em 4 alturas diferentes (1,20m; 1,70m; 2,50m e 3,60m). As posições são representativas dos diferentes pontos de escuta da igreja no que refere às reflexões das superfícies e à distância à fonte. Apresentam por isso diferentes relações entre campo reverberante e som direto. As alturas de 1,20m e 1,70m representam respetivamente as posições dos ouvintes quando sentados e em pé.



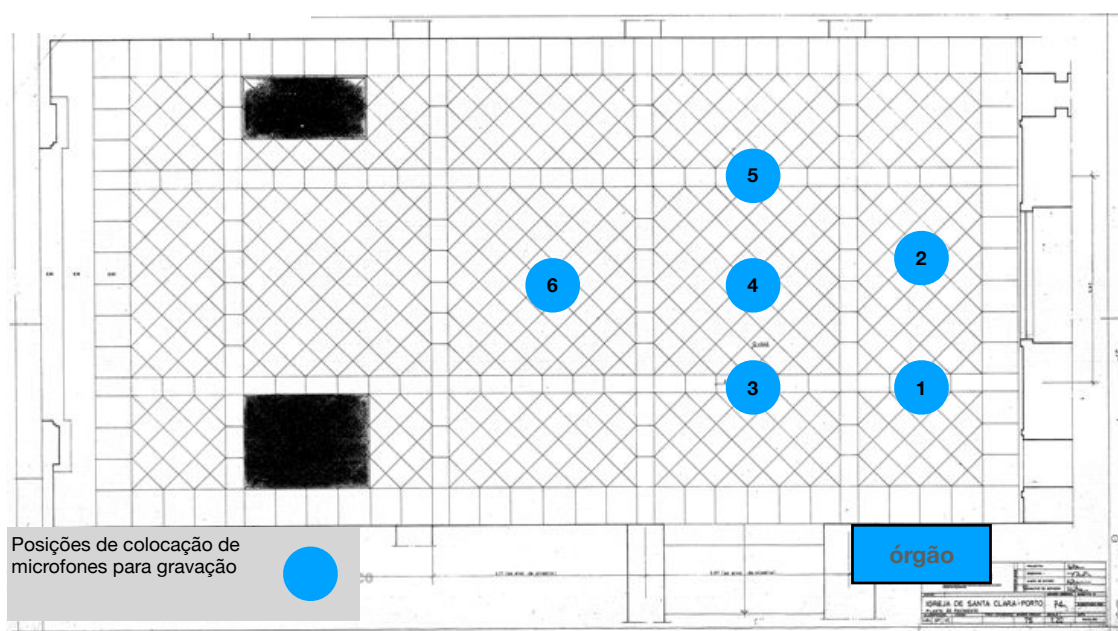


Figura 28 - Distribuição da posição dos microfones durante os ensaios preliminares.

Para a posição 1 e 6 de microfone e altura 1,20m foram gravadas amostras sonoras de cada nota, com a duração de 3 segundos, de todos os registos da mão direita com exceção do registo de palheta. Nas restantes posições foi gravado um pequeno trecho musical com os registos Flautado de 12 palmos e Oitava Real ligados na mão esquerda e mão direita.

Os testes realizados permitiram identificar os constrangimentos na montagem do *setup*, colocação de equipamentos técnicos e os locais de passagem de cabos de sinal áudio, assim como estimar o tempo necessário para a realização das gravações para o processo de *sampling*.

Não são muito evidentes diferenças tímbricas com as variações de posição de microfone para as diferentes alturas, nem há evidências significativas da diferença no equilíbrio frequencial.



Figura 29 - Posição de microfones durante as gravações.

### Sessão da recolha de amostras sonoras

A sessão de gravação das notas dos diferentes registos ocorreu a 11 de julho de 2021. O *setup* para gravação foi montado junto à consola do órgão e os microfones foram colocados na nave da igreja, com a cablagem a ser conduzida desde a consola do órgão através do coro-alto.

O *setup* para a recolha das amostras sonoras foi constituído por um *interface áudio* de 12 canais, um computador portátil, 2 pré-amplificadores de microfone e 4 pares de microfones.

A *Digital Audio Workstation* utilizada para a gravação foi a *Logic Pro* da Apple.

A sessão da gravação incluiu 3 pistas de áudio stereo para os pares de microfone XY, AB<sub>in</sub>, AB<sub>out</sub> e duas pistas mono para o par coincidente MS (para descodificação posterior), a 96kHz e 24-bit.

As gravações aconteceram de forma sequencial para cada registo da mão esquerda e da mão direita, com 3 gravações por nota com a duração aproximada de 3 a 4 segundos cada e um intervalo entre notas de 2 segundos. A escolha da duração das gravações justifica-se para que, numa fase posterior, em cada amostra sonora, possa ser facilmente identificada uma zona de *loop*. A duração do intervalo entre as diferentes notas foi definida para permitir que o decaimento de cada som seja completo e superior ao tempo de reverberação da igreja, anteriormente medido (RT60 1,6s).

Os ficheiros áudio foram exportados em formato WAVE (BWF). Foram criadas pastas com o “material bruto” gravado, separadas por nome do registo. Os ficheiros áudio contidos nas pastas são de 2 tipos: ficheiros com 3 gravações por nota e ficheiros com uma gravação por nota.

Esta escolha permite numa fase posterior, mais possibilidades ao programador durante o processo de edição e efetiva implementação do instrumento virtual.

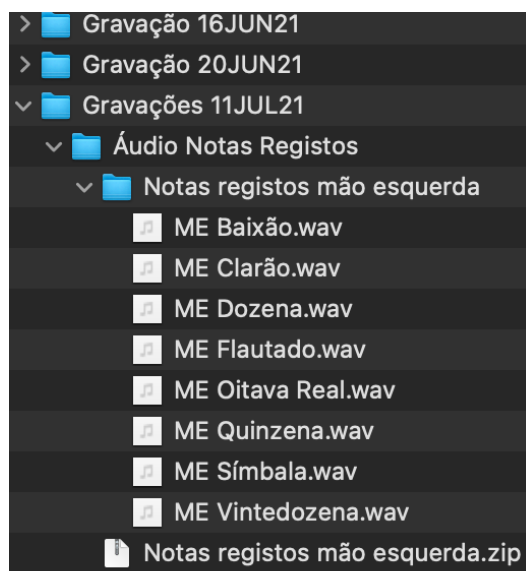


Figura 30 - Organização dos ficheiros áudio.

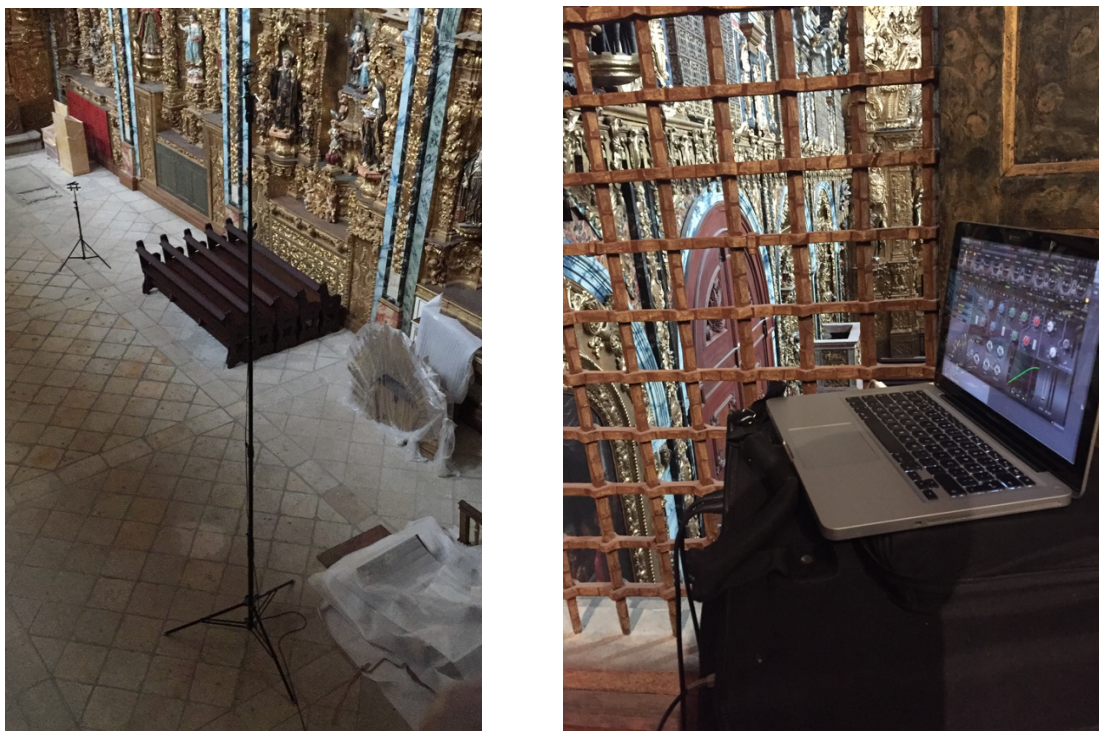


Figura 31 - Posição do microfone par MS e Setup da fase preliminar.

### 5.4.3. Dados gerais

Local: Igreja de Santa Clara - Porto;

Data: 11JUL21 entre as 16:30 e as 19:00;

Equipa: 2 operadores, não havia pessoas na igreja durante a gravação;

Dados Termo-Higrométricos: T. 18° C, Humidade Relativa 65%;

Outros elementos: Igreja com bancos colocados do lado do Evangelho, com as portas fechadas.

#### Lista de equipamentos de som:

Interface A/D *Thunderbolt Antelope Audio Orion Studio REV2017*;

Pré-amplificador de microfones de 2 canais *Heritage Áudio 73x2 Elite*;

Computador *MacPro 13'*, 2,5 GHz Intel Core i5, 8 GB 1600 MHz DDR3;

Microfones de condensador Schoeps Par MS (Mid Side) 2 CMC1, cápsulas MK4 cardioide e MK8 figura de oito;

Microfones de condensador Schoeps Par AB<sub>out</sub> + Par XY 4 CMC6 com cápsulas MK4 cardioides;

Microfones de condensador Gefell M930 cardioide Par AB<sub>in</sub>;

Tripés para microfone Manfrotto.

#### Daw:

*Logic Pro X*;

#### Áudio gravação:

*Sample rate* 96kHz a 24bit;

Formato WAVE (BWF);

*Bitrate* 128kbps.



## CAPÍTULO VI - Conclusão

Como foi referido na introdução deste trabalho, a tentativa de abordagem integradora das diferentes temáticas do órgão, do espaço acústico e do processo de *sampling*, pode impedir o aprofundamento de alguns conceitos. O desenvolvimento do trabalho, confirmou essa premissa inicial.

A abordagem histórica simplificada à organaria europeia e ibérica possibilitou a identificação das características comuns e particulares de cada uma delas. O órgão Ibérico com caráter barroco desenvolveu-se principalmente nos Séc. XVII e XVIII e distingue-se do Europeu por possuir apenas um teclado manual (salvo raras exceções) partido entre mão direita e mão esquerda, dispor os registos de palheta em chamada, na fachada ou frontaria, no plano horizontal e raramente possui registos de pedal. A organaria Ibérica e a portuguesa, especificamente, desenvolveu-se com o contributo de diferentes escolas da organaria europeia, facto evidenciado pela passagem e fixação em Portugal de organeiros como Caetano Oldovino e Hullenkampf, discípulo de Arp Schnitger, que adaptaram os seus conhecimentos às necessidades das igrejas, instrumentistas e compositores locais e deixaram um legado histórico representativo da arte organística desse período.

O espaço acústico da Igreja de Santa Clara, como caixa de ressonância do órgão, foi caracterizado arquitetonicamente, através da determinação das suas dimensões físicas, e acusticamente pela medição dos parâmetros acústicos objetivos. Os métodos utilizados foram o da fonte interrompida para determinação do RT60 e varrimento de onda, com sistema IRIS 3D, para determinação dos restantes parâmetros acústicos e da resposta impulsiva. As medições foram realizadas em bandas de frequência de 1/3 de oitava, e os valores obtidos para a frequência central de 1000Hz foram os seguintes: Decay Range (83dB); T20 (1,6s); T30 (1,6s); ETD (1,73s); C80 (0); D50 (0,35); TS (121ms) e STI (0,51).

A utilização dos valores de T20 e T30 em bandas de 1/3 de oitava permitiu identificar uma diferença considerável nos Tempos de Reverberação na região dos 80Hz comparativamente com as regiões adjacentes. Esta diferença poderia influenciar a percepção do nível sonoro dos tubos com essa frequência nomeadamente o Mi1 do Flautado de 12 palmos, o que não se confirmou neste caso particular.

Foi utilizada a fórmula de Eyring para calcular teoricamente o valor de RT60 na situação atual da igreja e a fórmula de Eyring e Sabine para simular a situação anterior à intervenção da colocação dos Retábulos em Talha Barroca. O valor de RT60 médio obtido nas frequências centrais de 500Hz e 1000Hz foi de 1,4 s e para a condição

anterior ao Período Barroco foi de 6.4 s (Eyring) e 6,9 s (Sabine). Esta diferença no Tempo de Reverberação da Igreja de Santa Clara, está associada à influência das propriedades de absorção sonora dos Retábulos em Talha Barroca, como confirmaram os estudos de (Carvalho & Lencastre, 2002).

O órgão da Igreja de Santa Clara é um exemplar da organaria Ibérica com características do Séc. XVIII e de autor desconhecido. Possui um teclado manual com 17 meios registos e a base do instrumento é um Flautado de 12 palmos. O seu restauro ocorreu entre novembro de 2019 e julho de 2021, na Oficina e Escola de Organaria de Esmoriz. Durante esse período as diferentes partes foram restauradas de acordo com as técnicas e materiais da época, respeitando a integridade histórica do instrumento. As medidas acústicas mais representativas dos tubos dos vários registos foram apresentadas em tabelas. O instrumento está afinado em Lá 415 a 22°C e o temperamento usado foi apresentado por Frei Domingos de São José Varella no seu *Compêndio de Música Theorica e Prática*, publicado no Porto em 1806.

Foram efetuadas gravações de todas as notas dos vários registos, com os microfones colocados dentro da caixa do instrumento, para análise espectral das amostras. Para o efeito foi utilizado o *software Sonic Visualiser*. Esta análise tornou possível a determinação da relação de níveis sonoros dos vários harmónicos presentes nos diferentes tubos de cada registo.

Foram realizadas gravações de todas as notas dos vários registos, com critérios bem definidos, para recolha e criação de uma biblioteca de sons do órgão. As gravações foram realizadas em stereo a 96KHz e 24bit, em várias posições da nave da igreja, dentro da caixa do órgão e com diferentes técnicas de captação.

Os ficheiros áudio recolhidos foram organizados em pastas e disponibilizados, com este trabalho.

A importância do órgão histórico e a sua sonoridade merecem ser amplamente divulgados. Um dos contributo maiores, na era digital, para a salvaguarda dos instrumentos históricos e da resposta acústica dos espaços poderá ser o registo fonográfico da sua assinatura sonora, para arquivo presente e constituição de memória futura.

Pretende-se com esta recolha fonográfica lançar o desafio para construção futura de um instrumento virtual representativo da experiência sonora da Igreja de Santa Clara e do seu órgão e estender este processo a outros órgãos históricos recuperados e em fase de recuperação.

## Referências Bibliográficas

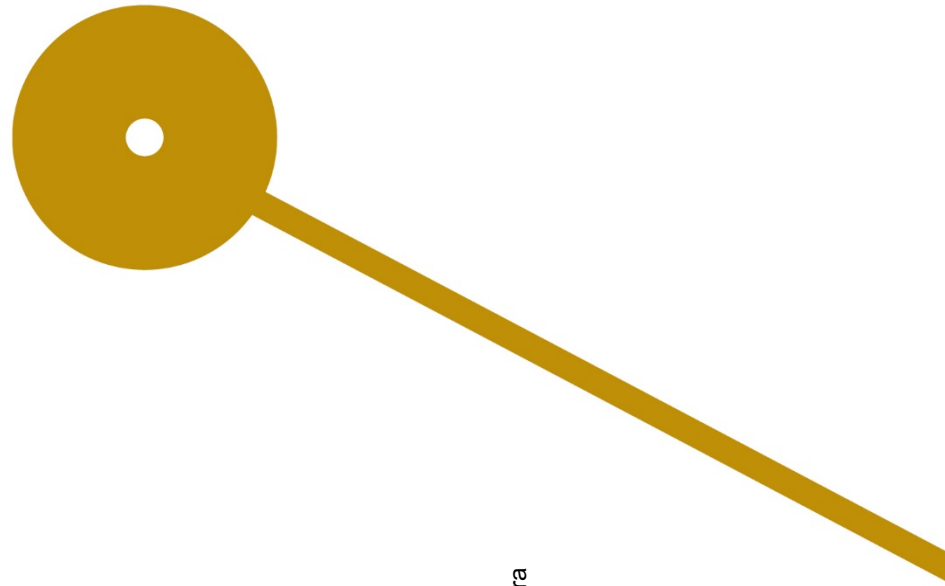
- A. Kaczmarec, A. C. (s.d.). Investigating Polynomial Aproximations for the Spectra of the Pipe Organ Sound.
- Angster, J. &. (2017). Acoustics of Organ Pipes and Future Trends in the Research. Knowledge of the acoustics of organ pipes adopted in applied research for supporting organ builders. *Acoustics Today*.
- Angster, J. &., & Peter & Miklós, A. (2019). 25 years applied pipe organ research at Fraunhofer IPB in Stuttgart. *IBP*.
- Azevedo, C. d. (1972). *Baroque Organ-Cases of Portugal*. Amesterdam: Biblioteca Organológica.
- B. Baretzky, M. F. (March de 2007). Reconstruction of Historical Alloys for Pipe Organs Brings True Baroque Music Back to Life. *MRS Bulletin*, p. Vol. 32.
- Ballou, G. M. (2015). *Handbook for Sound Engineers*. New York and London: Focal Press.
- Carvalho, A. P. (1995). The Use of The Sabine and Eyring Reverberation Time Equations to Churches. *129th meeting of the Acoustical Society of America*. Washington DC.
- Carvalho, A. P., & Lencastre, M. (2002). Absorção Sonora de Retábulo em Talha Barroca. *Revista Estudos do Património - IPPAR*, 14-18.
- Celles, D. B. (1766). *L'Art du Facteur D'Orgues*. Paris: Academia das Artes de Paris.
- David Miles Huber, R. E. (2018). *Modern Recording Techniques*. New York, London: Focal Press.
- Disley, A. C. (2004). Spectral Correlates of Timbral Semantics Relating to the Pipe Organ. *TMH-QPSR Journal*, Vol. 46, pag. 25 - 40 .
- Disley, A. C., & Howard, D. M. (2004). Spectral correlates of timbral semantics relating to the pipe organ. *TMH-QPSR*, 025-040.
- Egan, M. D. (2007). *Architectural Acoustics*. New York: J. Ross .
- Ferreira, M. M. (1991). *Arp Schnitger: Dois Órgãos Congêneres de 1701*. Niterói: ZoomGraf-K.
- Fischer-Licht, E. (2019). *Estética do Performativo*. Lisboa: Orfeu Negro.
- Henrique, L. L. (2002). *Acústica Musical*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
- Hirschberg, B. F. (s.d.). *Physical Modeling of Flue Instruments, A Review of Lumped Models*.
- Howard, D. M., & Angus, J. A. (2009). *Acoustics and Psychoacoustics*. London: Focal Press.
- Huber, D. M. (2018). *Modern Recording Techniques*. New York: Routledge.
- Jibson, M. W. (2009). Organ Sound Synthesis by Harmonic Interpolation.
- Jones, D. R. (2011). *Sound of Worship*. Focal Press.
- Kiser, D. L. (2001). The History of Western Civilization Told Through the Acoustics of its Worship Spaces. *Acoustic of Worship Buildings*. Sessions.
- L., C., Muller, H. A., & J., S. T. (2016). *Principals and Applications of Room Acoustics - Vol. 1*. London: Peninsula Publishing.
- Lopes da Silva, T. E. (2008). *Guião da Acútica de Igrejas em Portugal* . Porto: Faculdade de Engenharia do Porto.

- Neville H. Fletcher, T. D. (1998). *The Physics of Musical Instruments*. New York: Springer.
- Owsinski, B. (2009). *The Recording Engineer's Handbook*.
- Patrício, J. (2008). *Acústica nos Edifícios*. Lisboa: Verlag Dashofer.
- Pereira, L. A. (1984). *Estudos e Notas, Tratado 2o de Geometria Prática*. Coimbra: Fundação Calouste Gulbenkian.
- Rucz, P. (2015). *Innovative methods for the sound design of organ pipes*. Budapest: Budapest University of Technology and Economics.
- Russ, M. (2008). *Sound Synthesis and Sampling*. New York and London: Focal Press.
- Siegmund, B. (2011). *Metric Halo Supports Live Organ Recording At St. Peter's Lutheran Church During AES Tech Tour*. New York.
- Sousa, A. C., & Resende, N. (Setembro de 2021). Convento de Santa Clara do Porto: História e Património. *Património a Norte - Direção Regional de Cultura do Norte*.
- Spencer, K. A. (2015). *All About Hauptwerk, The Virtual Pipe Organ*. KA Spencer, UK.
- Tafall, D. M. (1872). *Arte Completo del Constructor de Organos. I*. Santiago: Tip. Fernandez y Companhia.
- Valença, M. (1990). *A Arte Organística em Portugal (c. 1326 - 1750)*. Braga: Editorial Franciscana.



ESCOLA  
SUPERIOR  
DE MÚSICA  
E ARTES  
DO ESPETÁCULO  
POLITÉCNICO  
DO PORTO

P.PORTO



MESTRADO  
ARTES E TECNOLOGIAS DO SOM

Caracterização e *Sampling* do Órgão da Igreja de Santa Clara  
Luís Eduardo Ventura Moreira