

ESTUDO ACÚSTICO DE BANCOS DE IGREJA

JOANA SANTOS DE OLIVEIRA PINO

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor António Pedro Oliveira de Carvalho

JULHO DE 2011

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2010/2011

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2010/2011 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2011.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

À minha família

Conheço apenas a minha ignorância

Sócrates

AGRADECIMENTOS

Este trabalho não ficaria completo sem deixar aqui os meus agradecimentos a todos os que me apoiaram.

Em primeiro ao meu orientador, Professor Doutor António Pedro Oliveira de Carvalho, pela exigência e horas disponibilizadas. Foi um prazer e honra realizar este trabalho sob a sua orientação.

Devo expressar os meus agradecimentos à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto pelos recursos disponibilizados para a realização deste trabalho, assim como ao Sr. Padre Queirós e Sacristão Sr. José da Igreja de Santo Ovídio pela amável cedência dos exemplares dos bancos e pela disponibilidade em me receber sempre que necessário.

Não posso também deixar de mencionar o Engenheiro Paulo Renato Marques pelo apoio na realização dos ensaios e disponibilidade em receber e apoiar sempre que precisei, e o Engenheiro António Eduardo Costa pelo apoio como cobaia nos ensaios, pela simpatia e disponibilidade para me ajudar sempre que fosse necessário.

A todos os colegas que se disponibilizaram a apoiar na realização dos ensaios juntamente com o Engenheiro Pedro Oliveira e Engenheira Dóris Queirós, um muito obrigado.

Deixo também um agradecimento especial aos meus pais e irmãs, que cada um à sua maneira, me apoiou e permitiu realizar este trabalho.

Por último mas não menos importante, ao Luís pelo apoio, compreensão, companhia, e horas perdidas. Sem o seu apoio a realização deste trabalho seria muito mais difícil.

A todos,

O meu profundo e sincero, muito obrigada.

RESUMO

As igrejas, como locais de culto e grandes audiências, independente da orientação religiosa, têm hoje o bem-estar e o conforto como preocupações constantes. É de extrema importância que os utilizadores do espaço religioso sejam capazes de ouvir e perceber na perfeição a mensagem traduzida pelo seu orador. Essa mensagem só pode chegar a todos se a acústica do espaço permitir a sua difusão.

A preocupação crescente com um bom desempenho acústico é uma realidade actual sendo também aplicável às igrejas. Para um bom desempenho acústico nada deve ser deixado ao acaso e é neste contexto que nasce este trabalho.

Os bancos de igreja têm uma história relativamente recente e o início da sua utilização data do final da época medieval. Nem todas as Igrejas possuem bancos, no entanto, nas que os possuem, a influência da sua utilização quer em termos teológicos quer em termos acústicos poderá ter alguma relevância. Ao longo deste trabalho apresenta-se uma breve referência histórica ao aparecimento e utilização dos bancos de igreja que, ao longo do tempo, assumiram diferentes contextos bem como uma pequena reflexão sobre a possível influência teológica dos mesmos. Os bancos foram uma forma de separação e distinção social, hoje são apenas vistos como uma questão de conforto.

Este trabalho tem como objectivo explorar a influência da absorção sonora dos bancos de igreja na acústica da mesma, bem como caracterizar alguns exemplares e comparar os resultados obtidos com os existentes na literatura.

A determinação da absorção sonora é realizada por intermédio da medição do tempo de reverberação em câmara reverberante. Na medição do tempo de reverberação na câmara reverberante foi usado o método estatístico (método do ruído interrompido) previsto na norma NP EN ISO 354, com medição para bandas de um terço de oitava, de frequências centrais dos 100 Hz aos 5 kHz.

Como caso de estudo, analisaram-se três tipos diferentes de bancos, estudando a influência da ocupação dos bancos, quer por pessoas, quer por almofadas, na absorção sonora dos mesmos. Para tal recorreu-se à câmara reverberante do Laboratório de Acústica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Uma vez que neste trabalho apenas se pretendeu determinar a absorção sonora dos bancos e a influência de estes estarem ocupados com pessoas ou almofadas, este facto será mais relevante na projecção de novas igrejas. Como tal, seria interessante realizar no futuro trabalhos de investigação que permitam conhecer a influência de cada outro tipo de elementos presentes nas igrejas, no comportamento acústico global do edifício.

PALAVRAS-CHAVE: Acústica, Igrejas, Bancos de Igreja, Absorção Sonora, Câmara Reverberante.

ABSTRACT

Churches, as a place for cult and large audience, regardless of the religious orientation, have today to warrant comfort and well-being. It is of the highest relevance that the users are able to hear and fully understand the message spoken by the preacher. This message can only reach everyone if the acoustic characteristics of the space allow its diffusion.

The growing concern with a good acoustic performance is a present day reality. Even within churches. For a good acoustic performance nothing should be left unnoticed and it is under this context that this thesis arises.

Pews have a relatively recent history and it was not before medieval era that they were introduced into some religious spaces. Not all churches possess pews, however, when they are present, their use plays an important role either theologically or acoustically. In the course of this work a brief reference is done to the appearance and usage of pews that, throughout time, assumed various contexts, as well as a small reflection on their possible theological influence. Pews have once acted as a form of separation and social distinction. Today their only goal is comfort.

The goal of this thesis is to study the influence of sound absorption of the pews in the acoustic performance of the church, as well as to compare the results with previous literature.

The determination of the sound absorption is done by measuring the reverberation time in a reverberant room. To proceed with this measurement the statistical method (interrupted sound method), found in the NP EN ISO 354, was used. This method foresees the measurement of the reverberation time for one third octave frequencies bands, from 100 Hz to 5 kHz.

As a case of study, three different types of pews were analysed, studying the influence of the occupation of the pews either with people or pillows, in their sound absorption. For that, the reverberant room of the Acoustics Laboratory of the Faculty of Engineering of the University of Porto was used.

The sound absorption of the pews and the influence of their occupation by people or pillows will be of greater interest for the acoustics projects of new churches. It would be of extreme utility to develop, in the future, other essays and find the influence of other elements present in the churches in the buildings acoustic performance.

Key-Words: Acoustics, Churches, Pews, Sound Absorption, Reverberant Room.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO E OBJECTIVOS	1
1.2. ESTRUTURA DA TESE	2
2. CONCEITOS E DEFINIÇÕES	3
2.1. ACÚSTICA	3
2.2. CONCEITOS	6
2.2.1. COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA	6
2.2.2. ABSORÇÃO SONORA	8
2.2.3. MATERIAIS ABSORVENTES	9
2.2.4. TEMPO DE REVERBERAÇÃO	13
3. BANCOS DE IGREJA	17
3.1. DESENVOLVIMENTO HISTÓRICO	17
3.1.1. HISTÓRIA	17
3.1.2. INFLUÊNCIA DA INTRODUÇÃO DOS BANCOS NOS PRINCÍPIOS DA IGREJA	19
3.2. TIPOS DE BANCOS	20
4. Ensaio	37
4.1. CONDIÇÕES INICIAIS	37
4.1.1. CÂMARA REVERBERANTE	37
4.1.2. AMOSTRAS, FONTE SONORA E MICROFONES	39
4.1.3. TEMPERATURA E HUMIDADE RELATIVA	40
4.1.4. EQUIPAMENTO UTILIZADO	41
4.2. METODOLOGIA	42
4.2.1. GAMA DE FREQUÊNCIAS	42

4.2.2. MÉTODO DO RUÍDO INTERROMPIDO	42
4.2.3. DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS REALIZADOS	44
4.3. RESULTADOS	52
4.3.1. TEMPO DE REVERBERAÇÃO	52
4.3.2. ABSORÇÃO SONORA E SUA DETERMINAÇÃO.....	54
4.4. ANÁLISE DE RESULTADOS	57
4.4.1. ABSORÇÃO SONORA POR BANCO.....	57
4.4.2. ABSORÇÃO SONORA POR M ²	63
4.4.3. ABSORÇÃO SONORA POR M ² ACRESCIDO.....	70
4.4.4. COMPARAÇÃO COM BIBLIOGRAFIA EXISTENTE	77
4.4.5. NOVO PARÂMETRO DE ABSORÇÃO DE BANCOS DE IGREJA	81
5. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	83
5.1. CONCLUSÕES.....	83
5.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	80
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
ANEXO I – REGISTO FOTOGRÁFICO	91
ANEXO II – TABELAS DE CÁLCULO	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1 – Intensidade e pressão sonora, níveis de pressão e intensidade sonora	3
Fig. 2.2 – Fonte sonora <i>B&K</i>	6
Fig. 2.3 – Exemplos de alcatifas	10
Fig. 2.4 – Aglomerado de fibras de madeira preenchido com lã de rocha	10
Fig. 2.5 – Lã de vidro.....	10
Fig. 2.6 – Lã de rocha	10
Fig. 2.7 – Espuma de poliuretano expandido.....	11
Fig. 2.8 – Aglomerado negro de cortiça	11
Fig. 2.9 – Esquema de ressoador isolado.....	11
Fig. 2.10 – Ressoadores isolados	12
Fig. 2.11 – Exemplos de ressoadores agrupados em derivados de madeira.....	13
Fig. 3.1 – Substituição dos bancos de igreja por cadeiras	19
Fig. 3.2 – Cadeirais	21
Fig. 3.3 – Banco de madeira e ferro.....	22
Fig. 3.4 – Banco de madeira com aplicações em ferro.....	22
Fig. 3.5 – Banco corrido totalmente em madeira	22
Fig. 3.6 – Banco em madeira com aberturas nas costas e assento	23
Fig. 3.7 – Banco em madeira com aberturas nas costas.....	23
Fig. 3.8 – Banco em madeira e ferro com aberturas nas costas	23
Fig. 3.9 – Banco em madeira com abertura entre o assento e as costas	24
Fig. 3.10 – Banco em madeira de diferentes tonalidades com abertura entre o assento e as costas ..	24
Fig. 3.11 – Banco estofado totalmente no mesmo tom de madeira	25
Fig. 3.12 – Banco estofado com diferentes tonalidades de madeira	25
Fig. 3.13 – Banco com estofado individual	25
Fig. 3.14 – Banco com estofado e apoio para livros	25
Fig. 3.15 – Banco com estofado e apoio para livros	26
Fig. 3.16 – Banco com cobertura no assento e talhado	26
Fig. 3.17 – Banco com almofada e talhado.....	26
Fig. 3.18 – Banco com almofada e costas talhadas	27
Fig. 3.19 – Banco com genuflexório forrado	27
Fig. 3.20 – Banco com ligeira cobertura do assento e genuflexório com almofada	28

Fig. 3.21 – Banco com genuflexório	28
Fig. 3.22 – Banco com genuflexório móvel	28
Fig. 3.23 – Banco sem costas com apoio para joelhos e suporte para livros	29
Fig. 3.24 – Banco com genuflexório e ganchos	29
Fig. 3.25 – Banco com almofada e genuflexório	29
Fig. 3.26 – Banco cobertura sobre o assento e genuflexório forrado	30
Fig. 3.27 – Banco talhado.....	30
Fig. 3.28 – Banco talhado com motivos florais.....	30
Fig. 3.29 – Banco talhado com motivos religiosos e numeração.....	31
Fig. 3.30 – Banco talhado com motivos religiosos	31
Fig. 3.31 – Banco talhado com motivos florais.....	31
Fig. 3.32 – Banco talhado com motivos da natureza (Homem e animal)	32
Fig. 3.33 – Banco fechado sem porta, talhado e pintado.....	32
Fig. 3.34 – Banco com porta e com placas de identificação	33
Fig. 3.35 – Banco com porta	33
Fig. 3.36 – Banco com porta e fechadura	33
Fig. 3.37 – Banco com porta e brasões.....	34
Fig. 3.38 – Banco com porta com sistema de fecho, talhado e com gravuras	34
Fig. 3.39 – Banco com porta e gravuras	34
Fig. 3.40 – Banco com porta e talhado.....	35
Fig. 3.41 – Banco com porta com gravuras e inscrições	35
Fig. 3.42 – Banco com porta e gravuras religiosas	35
Fig. 3.43 – Banco com porta e gravuras no interior e exterior	36
Fig. 4.1 – Câmara Reverberante R1 da FEUP.....	37
Fig. 4.2 – Planta (esquema) da câmara reverberante R1 da FEUP	38
Fig. 4.3 – Difusores no interior da câmara reverberante R1 da FEUP	38
Fig. 4.4 – Esquema das diferentes posições de fonte sonora (x) e microfones (o) no ensaio da câmara reverberante vazia	39
Fig. 4.5 – Esquema das diferentes posições de fonte sonora (x) e microfones (o) no ensaio da câmara reverberante com a amostra (três bancos)	40
Fig. 4.6 – Exemplo de curva de decaimento (Sistema <i>Pulse</i>).....	42
Fig. 4.7 – Exemplo de curvas de decréscimo de níveis de pressão sonora (Sistema <i>Pulse</i>)	43
Fig. 4.8 – Bancos utilizados como amostra tipo F colocados actualmente na entrada do DEC	44

Fig. 4.9 – Interior da Igreja (antiga) de Santo Ovídio (Mafamude, Vila Nova de Gaia) com os bancos utilizados como amostra tipo A	44
Fig. 4.10 – Interior da Igreja (nova) de Santo Ovídio (Mafamude, Vila Nova de Gaia) com os bancos utilizados como amostra tipo N	45
Fig. 4.11 – Almofada utilizada nos ensaios realizados	46
Fig. 4.12 – Esquema do banco e almofada para apoio ao quadro 4.3	46
Fig. 4.13 – Disposição dos bancos tipo F no interior da câmara reverberante	47
Fig. 4.14 – Esquema da posição dos bancos do tipo F no interior da câmara reverberante	47
Fig. 4.15 – Disposição dos bancos tipo A no interior da câmara reverberante	47
Fig. 4.16 – Esquema da posição dos bancos do tipo A no interior da câmara reverberante	48
Fig. 4.17 – Disposição dos bancos tipo N no interior da câmara reverberante	48
Fig. 4.18 – Esquema da posição dos bancos do tipo N no interior da câmara reverberante	48
Fig. 4.19 – S: área ocupada pela zona de bancos.....	49
Fig. 4.20 – S ₊ : área ocupada pela zona de bancos mais 0,5 m em todo o perímetro	49
Fig. 4.21 – Banco tipo F no ensaio com pessoas no interior da câmara reverberante	50
Fig. 4.22 – Banco tipo N no ensaio com pessoas no interior da câmara reverberante	50
Fig. 4.23 – Bancos tipo F no ensaio com almofadas no interior da câmara reverberante	51
Fig. 4.24 – Bancos tipo A no ensaio com almofadas no interior da câmara reverberante	51
Fig. 4.25 – Bancos tipo N no ensaio com almofadas no interior da câmara reverberante	51
Fig. 4.26 – Valores de tempo de reverberação na câmara reverberante para os bancos tipo F	52
Fig. 4.27 – Valores do tempo de reverberação na câmara reverberante para os bancos tipo A	52
Fig. 4.28 – Valores do tempo de reverberação na câmara reverberante para os bancos tipo N.....	53
Fig. 4.29 – Esquema representativo da área considerada na abordagem absorção sonora por $m^2_{acrescido}$	55
Fig. 4.30 – Absorção sonora por banco do tipo F	57
Fig. 4.31 – Absorção sonora por banco do tipo A.....	57
Fig. 4.32 – Absorção sonora por banco do tipo N.....	57
Fig. 4.33 – Absorção sonora por banco desocupado (A, N e F).....	60
Fig. 4.34 – Absorção sonora por banco ocupado (A, N e F)	60
Fig. 4.35 – Absorção sonora por banco com almofadas (A, N e F).....	60
Fig. 4.36 – Absorção sonora por banco, média dos três tipos de banco (A, N e F)	61
Fig. 4.37 – Variação de absorção sonora por banco, ocupado (ΔA_{o}) ou com almofadas (ΔA_{a}) em relação ao banco desocupado e ocupado em relação a banco com almofadas (ΔA_{o-a})	61
Fig. 4.38 – Absorção sonora por área S de provete, dos bancos F	64
Fig. 4.39 – Absorção sonora por área S do provete, dos bancos A	65

Fig. 4.40 – Absorção sonora por área S do provete, dos bancos N	66
Fig. 4.41 – Absorção sonora por área S do provete, dos bancos desocupado (F, N e A)	66
Fig. 4.42 – Absorção sonora por área S do provete, dos bancos ocupados (F, N e A)	67
Fig. 4.43 – Absorção sonora por área S do provete, dos bancos com almofadas (F, N e A).....	67
Fig. 4.44 – Absorção sonora média por área do provete dos bancos (F, N e A).....	68
Fig. 4.45 – Variação de absorção sonora por m^2 [$\Delta(A_T/S)$] dos bancos ocupados ($\Delta A/m^2,o$) ou com almofadas ($\Delta A/m^2,a$) em relação aos bancos desocupados e ocupados em relação aos bancos com almofadas ($\Delta A/m^2,o-a$)	68
Fig. 4.46 – Absorção sonora por área de “influência acústica” (S_+) dos bancos tipo F	71
Fig. 4.47 – Absorção sonora por área de “influência acústica” (S_+) dos bancos tipo A.....	72
Fig. 4.48 – Absorção sonora por área de “influência acústica” (S_+) dos bancos tipo N.....	73
Fig. 4.49 – Absorção sonora por área de “influência acústica” (S_+), dos bancos desocupados (F, N e A)	73
Fig. 4.50 – Absorção sonora por área de “influência acústica” (S_+), dos bancos ocupados (F, N e A)	73
Fig. 4.51 – Absorção sonora por área de “influência acústica” (S_+), dos bancos com almofadas (F, N e A)	74
Fig. 4.52 – Absorção sonora média por área de “influência acústica” (S_+) dos bancos (F, N e A).....	74
Fig. 4.53 – Variação de absorção sonora por $m^2_{acrescido}$ (S_+) dos bancos ocupados ($\Delta A/S_{T,o}$) ou com almofadas ($\Delta A/S_{T,a}$) em relação aos bancos desocupados e ocupados em relação aos bancos com almofadas ($\Delta A/S_{T,o-a}$)	76
Fig. 4.54 – Análise comparativa de absorção sonora,por m^2 na situação de banco desocupado	79
Fig. 4.55 – Análise comparativa de absorção sonora, por m^2 na situação de banco ocupado	80
Fig. 4.56 – Análise comparativa de absorção sonora por banco na situação de banco ocupado.....	80
Fig. 4.57 – Análise comparativa de absorção sonora por banco na situação de banco com almofadas	80
Fig. I.1 – Grupo de alunos que cooperaram na realização dos ensaios e autora do presente trabalho (Alexandra Almeida, Ana Sara Freitas, Angela Pinto, António Monteiro, Cristina Pereira, Eduarda Silva, Filipe Torres, Francisca Cavaleiro, Joana Pino, Lino Sousa, Marlene Cruz, Rui Jesus, Telmo Cardoso, Tiago Caramelo e Vítor Barros)	93
Fig. I.2 – Fonte sonora, microfones e difusores	93
Fig. I.3 – Equipamento utilizado na realização dos ensaios	94
Fig. I.4 – Transporte dos bancos	94
Fig. I.5 – Banco do tipo F antes dos ensaios	94
Fig. I.6 – Preparação do banco do tipo F para o ensaio com almofadas.....	95

Fig. I.7 – Banco do tipo A antes dos ensaios95

Fig. I.8 – Banco do tipo N antes dos ensaios.....95

Fig. I.9 – Banco do tipo N ocupado no interior da câmara reverberante96

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Valores de referência para a determinação de níveis	4
Quadro 2.2 – Classificação de materiais absorventes sonoros	8
Quadro 2.3 – Enquadramento legal para limites do valor do tempo de reverberação	16
Quadro 3.1 – Quadro resumo dos diferentes tipos de bancos	21
Quadro 4.1 – Coeficiente de atenuação atmosférica, α_a , (dB/km) em função da humidade relativa (valores determinados por interpolação para temperatura igual a 17 °C)	41
Quadro 4.2 – Frequências centrais em banda de terço de oitava utilizadas em medições acústicas em câmara reverberante, em Hz.....	42
Quadro 4.3 – Dimensões dos bancos e almofadas utilizadas nos ensaios.....	46
Quadro 4.4 – Dimensões das zonas ocupadas pelos diferentes tipos de bancos durante os ensaios em câmara reverberante	50
Quadro 4.5 – Valores de T_0 (tempo de reverberação em s).....	52
Quadro 4.6 – Valores de T_1 para os bancos tipo F e A (tempo de reverberação em s).....	53
Quadro 4.7 – Valores de T_1 para os bancos tipo N (tempo de reverberação em s).....	54
Quadro 4.8 – Áreas máximas de absorção sonora na câmara reverberante permitidas pela NP EN ISO 354 e área de absorção sonora obtida no ensaio com a câmara reverberante vazia (A_0)	56
Quadro 4.9 – Valores de absorção sonora por banco (A/banco), para os bancos tipo F e A (m^2)	58
Quadro 4.10 – Valores de absorção sonora por banco (A/banco), para o banco tipo N (m^2)	59
Quadro 4.11 – Média aritmética dos três tipos de bancos para bancos desocupados, ocupados, e com almofadas	62
Quadro 4.12 – Valores da variação de absorção sonora (ΔA) face aos bancos desocupados para bancos ocupados (ΔA_{o}), para os bancos com almofadas (ΔA_{a}) e entre ocupados e com almofadas (ΔA_{o-a}), para os bancos dos tipos F, A e N.....	63
Quadro 4.13 – Valores de absorção sonora por m^2 (A/m^2), para os bancos tipo F e A	64
Quadro 4.14 – Valores de absorção sonora por m^2 (A/m^2), para os bancos do tipo N	65
Quadro 4.15 – Média aritmética dos três tipos de bancos para bancos desocupados, ocupados, e com almofadas	69
Quadro 4.16 – Valores da variação de absorção sonora para bancos ocupados ($\Delta A/m^2_{o}$), bancos com almofadas ($\Delta A/m^2_{a}$) e entre ocupados e com almofadas ($\Delta A/m^2_{o-a}$), para os bancos dos tipos F, A e N	70
Quadro 4.17 – Valores de absorção sonora por $m^2_{acrescido}$ (S_+), para os bancos do tipo F e A	71
Quadro 4.18 – Valores de absorção sonora por $m^2_{acrescido}$ (S_+), para os bancos do tipo N	72
Quadro 4.19 – Média aritmética dos três tipos de bancos para bancos desocupados, ocupados, e com almofadas	75

Quadro 4.20 – Valores da variação de absorção sonora para bancos ocupados ($\Delta A/S_{T,o}$), bancos com almofadas ($\Delta A/S_{T,a}$) e entre ocupados e com almofadas ($\Delta A/S_{T,o-a}$), para os bancos dos tipos F, A e N	77
Quadro 4.21 – Comparação entre os diferentes valores de absorção sonora na situação de banco desocupado	78
Quadro 4.22 – Comparação entre os diferentes valores de absorção sonora por m^2 na situação de banco ocupado	78
Quadro 4.23 – Comparação entre os diferentes valores de absorção sonora na situação de banco ocupado	78
Quadro 4.24 – Comparação entre os diferentes valores de absorção sonora na situação de banco com almofadas	79
Quadro 4.25 – Valores de absorção sonora por $m^2_{\text{acrescido}}$ e novo parâmetro NRC(A) para cada tipo de banco desocupado	81
Quadro 4.26 – Valores de absorção sonora por $m^2_{\text{acrescido}}$ e novo parâmetro NRC(A) para cada tipo de banco ocupado	81
Quadro 4.27 – Valores de absorção sonora por $m^2_{\text{acrescido}}$ e novo parâmetro NRC(A) para cada tipo de banco com almofadas.....	82
Quadro 5.1 – Valores médios propostos para usar no futuro (média dos três tipos de bancos estudados).....	84
Quadro II.1 – Coeficiente de atenuação atmosférica, α_a , em dB/km, em função da humidade relativa e da temperatura	99
Quadro II.2 – Coeficiente de atenuação atmosférica, α_a , em dB/km, em função da humidade relativa e da temperatura	100
Quadro II.3 – Coeficiente de atenuação atmosférica (α_a), em dB/km, e coeficiente de atenuação devido à presença do ar (m), em m^{-1} para temperatura igual a 17°C e humidade relativa de 68,8% e 77,5% (os índices 1 e 2 dizem respeito às condições no primeiro e segundo dia de ensaios).....	101
Quadro II.4 – Valores de A_1 (área de absorção sonora equivalente em m^2)	102
Quadro II.5 – Valores de A_1 (área de absorção sonora equivalente em m^2)	103
Quadro II.6 – Valores de A_T para os bancos do tipo F e A (área de absorção sonora equivalente em m^2)	104
Quadro II.7 – Valores de A_T para os bancos do tipo N (área de absorção sonora equivalente em m^2)	105

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

- $\bar{\alpha}$ – média pesada dos coeficientes de absorção sonora pelas superfícies
- α – coeficiente de absorção sonora teórico
- α_a – coeficiente de atenuação atmosférica [dB/km]
- α_d – coeficiente de absorção sonora para incidência difusa
- $\alpha_{\text{médio}}$ – coeficiente de absorção sonora médio
- α_n – coeficiente de absorção sonora para incidência normal
- α_s – coeficiente de absorção sonora (obtido em câmara reverberante)
- α_w – coeficiente de absorção sonora ponderado
- γ^2 – variância relativa da distribuição do comprimento dos percursos percorridos
- ΔA_{a} – variação de absorção sonora do banco com almofadas relativamente ao banco vazio [m²]
- ΔA_{o} – variação de absorção sonora do banco ocupado relativamente ao banco vazio [m²]
- ΔA_{o-a} – variação de absorção sonora do banco ocupado relativamente ao banco almofadas [m²]
- ΔL – variação de nível de pressão sonora [dB]
- λ_o – comprimento de onda correspondente à frequência de ressonância [m]
- ρ – massa volúmica do ar [kg/m³]
- A – absorção sonora [m²]
- A – Igreja Antiga de St. Ovídio
- A/banco – absorção sonora por objecto [m²]
- A/m² – absorção sonora por área de ocupação
- A/m²_{acrescido} – absorção sonora por m²_{acrescido}
- A₀ – área de absorção sonora equivalente para câmara reverberante vazia [m²]
- A₁ – área de absorção sonora equivalente para câmara reverberante com o provete no interior [m²]
- A_{máx} – máximo de área perfeitamente absorvente [m²]
- A_T – área de absorção sonora equivalente da amostra [m²]
- c – velocidade de propagação do som no ar [m/s]
- C₈₀ – claridade [dB]
- D – largura da caixa-de-ar [cm]
- D₅₀ – definição
- DEC - Departamento de Engenharia Civil
- E – energia
- e – número de nepper

e_p – espessura da placa perfurada [cm]

EUA – Estados Unidos da América

F – FEUP

FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

H - high

HR – humidade relativa [%]

I – intensidade sonora [W/m^2]

$I(\varphi, \phi)$ – intensidade sonora emitida numa determinada direcção e sentido $((\varphi, \phi)$ [W/m^2]

I_{OMNI} – intensidade sonora emitida se a fonte for omnidireccional [W/m^2]

I_0 – intensidade sonora de referência [W/m^2]

K – constante

L – low

L_l – níveis de intensidade sonora [dB]

$l_{máx}$ – maior comprimento em linha recta dentro dos limites da câmara reverberante [m]

L_p – níveis de pressão sonora [dB]

L_{pn} – nível de pressão sonora do decaimento de ordem n [dB]

L_W – níveis de potência sonora [dB]

m – coeficiente de atenuação devido à presença do ar [m^{-1}]

M – medium

m_s – massa superficial [kg/m^2]

N – Igreja Nova de St. Ovídio

N – número de decaimentos

NRC – *Noise reduction coefficient*

OMNI – omnidireccional

P – percentagem de área perfurada [%]

p – variação da pressão em torno da pressão atmosférica [Pa]

P_0 – pressão sonora de referência [Pa]

p_{OMNI} – variação da pressão para fonte omnidireccional [Pa]

p_{RMS} – variação da pressão *root mean square* (pressão eficaz) [Pa]

Q – coeficiente de direccionalidade

R – constante do compartimento = $A/(1-\alpha_{médio})$ [m^2]

r – distância entre a fonte e o ouvinte [m]

RMS – *root mean square*

r_p – raio de cada perfuração [cm]

RRAE – Regulamento dos Requisitos Acústicos do Edifícios

S – área do provete de ensaio [m^2]

S_+ - área ocupada pela zona de bancos mais 0,5 m em todo o perímetro [m^2]

t – temperatura [$^{\circ}C$]

T_1 – tempo de reverberação para a câmara reverberante com o provete no interior [s]

T_i – tempo de reverberação na situação i [s]

T_o – tempo de reverberação para a câmara reverberante vazia [s]

TR – tempo de reverberação

V – volume [m^3]

W – potência sonora [W]

W_0 – potência sonora de referência [W]

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO E OBJECTIVOS

“Nos primórdios, como todas as ciências, a Acústica encontrava-se associada a conceitos filosóficos relativamente próximos da magia e de determinados rituais místicos [1].”

A Acústica, como ciência que estuda o som, é já uma disciplina muito antiga que muito tem evoluído ao longo dos tempos [1]. Se outrora esteve próxima de conceitos filosóficos, hoje, não sendo exacta, é bem mais próxima de o ser.

Existe uma preocupação crescente com as qualidades acústicas dos edifícios de habitação e serviços mas também com o ruído no interior e exterior dos mesmos.

As igrejas, como edifícios que são, vêm também aumentar a preocupação com as suas qualidades acústicas. Como locais de culto e grandes audiências que são, independente da orientação religiosa, estas têm hoje o bem-estar e o conforto como preocupações constantes. É de extrema importância que os utilizadores do espaço religioso sejam capazes de ouvir e perceber na perfeição a mensagem traduzida pelo seu orador. Essa mensagem só pode chegar a todos se a acústica do espaço permitir a sua difusão.

O ouvido humano, em geral, é muito sensível. Como tal existe uma grande necessidade de ter em atenção todos os pormenores, quer em fase de obra, quer de projecto, pois se não realizados com todo o cuidado poderão resultar em comprometimento do desempenho acústico global. Um erro aparentemente pequeno pode não ter solução praticável, por motivos técnicos ou financeiros, após a conclusão da obra [3].

No entanto, a definição dos padrões de qualidade não é uma tarefa fácil. Tem que existir um comprometimento entre a técnica e financiamento disponível. Este facto implica uma interligação entre todo o projecto. O projecto deve ser visto como um todo, em que a falha de qualquer das partes pode pôr em causa a qualidade global [3].

A preocupação crescente com um bom desempenho acústico é, sem qualquer dúvida, uma realidade actual sendo também aplicada às igrejas. Para um bom desempenho acústico é necessário ter em linha de conta a obra e o projecto e as suas especificidades. Cada projecto é um projecto pois cada edifício é único. Este carácter único é ainda mais aplicado às igrejas onde muito há descobrir e é neste contexto que nasce este trabalho.

O principal objectivo deste trabalho é preencher o que se acredita ser uma lacuna nos estudos até agora desenvolvidos. Apesar de existirem de facto alguns valores de absorção sonora de bancos de madeira, tipicamente os bancos de igreja, acredita-se que a bibliografia não é vasta sobre este assunto. Pretende-

se assim desenvolver ensaios para determinação da absorção sonora dos bancos de igreja usando como casos de estudo exemplares disponibilizados pela Igreja de Santo Ovídio (Vila Nova de Gaia) e pela FEUP. Pretende-se também explorar a influência da absorção sonora dos bancos de igreja na acústica da mesma e para isso avaliar-se esses bancos também com ocupação e com almofadas.

1.2. ESTRUTURA DA TESE

É a intenção deste subcapítulo apresentar uma breve descrição da estrutura deste trabalho, assim como um ligeiro resumo do conteúdo de cada capítulo.

Os capítulos 2 e 3 são os dois capítulos introdutórios deste trabalho. No capítulo 2 apresenta-se alguns conceitos e definições que se consideram importantes para o desenvolvimento e compreensão do trabalho, entre eles, os conceitos de coeficiente de absorção sonora, absorção sonora e tempo de reverberação.

No capítulo 3 apresenta-se uma breve introdução história e a influência que os bancos têm nos princípios da Igreja enquanto instituição. Isto tem como único objectivo enquadrar a utilização dos bancos na história, e não transmitir qualquer opinião da autora. Apresenta-se também vários exemplos de diferentes tipos de bancos.

O capítulo 4 diz respeito ao real objectivo deste trabalho. Apresentam-se as condições e método utilizado nos ensaios realizados no âmbito do presente estudo. Foram ensaiados três conjuntos de bancos diferentes em três situações distintas: desocupados, totalmente ocupados e com almofadas sobre os assentos. Neste capítulo descrevem-se os bancos utilizados e as almofadas utilizadas durante a realização dos ensaios. Apresentam-se os resultados dos ensaios realizados assim como a sua análise. Encontra-se também uma breve abordagem comparativa entre os resultados obtidos e os valores encontrados em bibliografia.

Finalmente, no capítulo 5 apresentam-se as principais conclusões tiradas a partir do estudo realizado e os seus possíveis desenvolvimentos futuros.

2

CONCEITOS E DEFINIÇÕES

2.1. ACÚSTICA

A ciência que se dedica ao estudo do som e da sua propagação, tanto em meio fluído como em meio sólido, tem o nome de Acústica. Esta ciência estuda também as inter-relações do som com o ser humano e os seus efeitos, quer sejam agradáveis ou não.

O som provoca sensações físicas e psicológicas no ser humano. Como tal, a Acústica enquanto ciência que estuda o som e os seus efeitos deve ter conta estes dois parâmetros. Quando o efeito causado no ser humano é agradável ou tem significado para quem o ouve diz-se *Som* e quando pelo contrário o efeito é desagradável e incómodo ou sem qualquer significado diz-se *Ruído* [2].

Ambos os efeitos acima descritos derivam da captação de variações de pressão em torno da pressão atmosférica (quando é o ar o meio de propagação) pelo sistema auditivo. O ouvido humano não consegue captar todas essas variações, apenas as que se inserem no intervalo de 10^{-5} Pa a cerca de 100 Pa [2]. Estas variações em torno da pressão atmosférica são provocadas pela emissão de uma fonte sonora.

Uma vez que em termos de pressão a variação é muito grande e a sensibilidade do ouvido humano evoluiu aproximadamente nesse sentido, opta-se por se realizar uma transformação logarítmica, passando a tratar-se de níveis de pressão sonora (L_p) em vez de variações de pressão (cf. eq. 2.1), lendo-se em decibel em vez de pascal (figura 2.1).

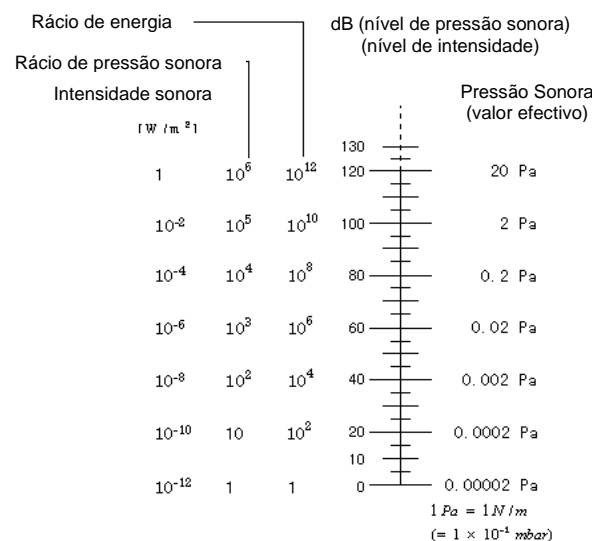


Fig. 2.1 – Intensidade e pressão sonora, níveis de pressão e intensidade sonora [adoptado de 7]

Pode-se também falar de nível de intensidade sonora (L_I) (eq. 2.2) e de nível de potência sonora (L_W) (eq. 2.3). Intensidade sonora é a quantidade média de energia, que numa dada direcção, atravessa por cada segundo uma área igual a 1 m^2 , normal a essa direcção e quantifica-se em W/m^2 . O nível de intensidade sonora está relacionado com o som que o ouvinte percebe. Potência sonora é a energia total que atravessa uma esfera fictícia de raio qualquer centrada na fonte e quantifica-se em W . A potência sonora não depende do ouvinte mas sim da fonte sonora pois é uma característica desta, como tal o nível de potência sonora está relacionado com o som que é emitido. Para a determinação dos diferentes níveis referidos anteriormente recorre-se à utilização de valores de referência apresentados no quadro 2.1.

$$L_p = 20 \log \frac{P}{P_o} = 10 \log \frac{P^2}{P_o^2} \quad (2.1)$$

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_o} \quad (2.2)$$

$$L_W = 10 \log \frac{W}{W_o} \quad (2.3)$$

Onde:

- L_p – nível de pressão sonora (dB);
- L_I – nível de intensidade sonora (dB);
- L_W – nível de potência sonora (dB);
- p – variação da pressão (Pa);
- I – intensidade sonora (W/m^2);
- W – potência sonora (W);
- p_o, I_o e W_o – valores de referência (Quadro 2.1).

Quadro 2.1 – Valores de referência para determinação de níveis

Simbologia	Designação	Valor	Unidade
p_o	Pressão sonora de referência	2×10^{-5}	Pa
I_o	Intensidade sonora de referência	10^{-12}	W/m^2
W_o	Potência sonora de referência	10^{-12}	W

O intervalo audível do ser humano em nível de pressão sonora é dos 0 dB aos cerca de 120 dB, aproximadamente, dependendo também da frequência em que os sons são emitidos. Quando se atinge um nível de pressão sonora de aproximadamente 120 dB diz-se que se atingiu o *limiar da dor* enquanto aos 0 dB diz-se que se atingiu o *limiar da audição*. Com o avançar da idade e com a exposição prolongada e excessiva a sons e ruídos com níveis de pressão elevados, o ser humano

começa a perder a audição. As perdas auditivas são geralmente lentas no início e as pessoas não se apercebem devido à gama de frequências atingidas [2].

Apesar de a perda de audição ser uma inevitável consequência a longo prazo, a curto prazo existem outros efeitos causados pelo ruído. Entre eles estão por exemplo: menor concentração, fadiga, ansiedade e stress, zumbido nos ouvidos, impotência, possível desequilíbrio do ciclo menstrual, problemas do sono, *etc.* [2].

Quando se transporta o estudo acústico para espaços fechados cria-se a dificuldade de definir o campo sonoro. A caracterização do campo sonoro não é uma tarefa fácil pois nem sempre é possível:

- Definir com rigor a geometria do espaço;
- Definir a dissipação de energia sonora quantitativamente;
- Estimar a alteração da característica de direccionalidade da fonte sonora provocada pela passagem para um espaço fechado.

Se a fonte sonora emitir num espaço fechado, a energia absorvida pela envolvente e dissipada no ar é inferior à potência emitida, este facto faz com que o som continue a propagar-se pela sala até que se dissipe ou seja absorvido por completo. Assim sendo, o campo energético deve ser decomposto em duas parcelas: o campo sonoro directo e o campo sonoro reverberado (eq. 2.4). Como é induzido pela denominação, ao campo sonoro directo diz respeito a energia dissipada pela primeira incidência, ou seja, o som directo, enquanto ao campo sonoro reverberado diz respeito a energia dissipada nas reflexões que lhe sucedem [3]. O campo sonoro directo depende da distância à fonte, decrescendo com a distância a que dela estiver ($Q/4\pi.r^2$) [2]. Após a fonte sonora deixar de emitir, o campo sonoro directo desaparece a curto prazo, deixando apenas o campo sonoro reverberado ($4/R$). À medida que o tempo vai passando, a energia do campo reverberado diminui devido à dissipação da energia no ar e na envolvente do compartimento [3]. O campo sonoro reverberado depende da absorção sonora da sala, quanto maior for a absorção sonora conferida pela envolvente do espaço, maior será o valor de R [1, 2]. Uma forma de caracterizar este processo é através do tempo de reverberação, uma vez que a dissipação sonora da envolvente e elementos absorvedoras que possam existir no espaço variam com a frequência [3]. No subcapítulo 2.3 é apresentada a temática do tempo de reverberação.

$$L_I = L_W + 10 \log \left(\frac{Q}{4\pi.r^2} + \frac{4}{R} \right) \quad (2.4)$$

Onde:

- L_I – nível de intensidade sonora (dB);
- L_W – nível de potência sonora da fonte (dB);
- Q – coeficiente de direccionalidade;
- r – distância entre a fonte e o ouvinte (m);
- R – constante do compartimento = $A/(1-\alpha_{\text{médio}})$ (m^2);
- A – absorção sonora (m^2);
- $\alpha_{\text{médio}}$ – coeficiente de absorção sonora médio.

Uma fonte sonora, como um equipamento (figura 2.2), pode amplificar ou emitir os sons, existindo uma extensa oferta de formas e modelos de diferentes assim como vários métodos de excitação. As fontes sonoras podem ser, por exemplo, direccionais ou omnidireccionais [2].



Fig. 2.2 – Fonte sonora B&K [foto da autora]

Uma vez que as fontes sonoras não emitem geralmente de forma omnidireccional é necessário proceder a uma correcção nesse sentido. O coeficiente de direccionalidade Q representa a relação entre a intensidade sonora emitida numa determinada direcção e sentido (φ, ϕ) e a que seria emitida nessa mesma direcção se a fonte sonora fosse omnidireccional. O coeficiente de direccionalidade de uma fonte sonora depende da frequência emitida [1]. Na expressão 2.5 apresenta-se a definição do coeficiente de direccionalidade Q .

$$Q(\varphi, \phi) = \frac{I(\varphi, \phi)}{I_{OMNI}} = \frac{p_{RMS}^2(\varphi, \phi)}{p_{OMNI}^2} \quad (2.5)$$

Existem parâmetros que permitem avaliar as características acústicas de uma sala. Por exemplo, a Definição (D_{50}) corresponde à relação entre a energia sonora que chega ao ouvinte durante os primeiros 50 ms e a energia total que o mesmo ouvinte recebe. A Claridade (C_{80}) corresponde à relação entre a energia sonora que chega ao ouvinte durante os primeiros 80 ms e a energia que chega ao ouvinte após a passagem deste intervalo de tempo. A Inteligibilidade tem em conta a relação entre as palavras recebidas correctamente pelo ouvinte e as palavras emitidas pela fonte sonora [1].

O uso da Claridade é particularmente usual em espaços musicais e onde a emissão da palavra não seja predominante. O critério da inteligibilidade é utilizado para caracterização da percepção da palavra. Seja qual for o valor obtido para qualquer destes critérios, o único objectivo é que os ouvintes recebam a mensagem sonora nas melhores condições possíveis [1,3].

2.2. CONCEITOS

2.2.1. COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA

A dissipação de energia sonora num compartimento depende dos coeficientes de absorção sonora α dos materiais onde a onda sonora incidiu. O coeficiente de absorção sonora α é a relação entre a

quantidade de energia que é absorvida por determinado material e a energia total que nele incidiu (expressão 2.6) [2].

$$\alpha = \frac{E_{\text{absorvida}}}{E_{\text{incidente}}} \quad (2.6)$$

O coeficiente α pode variar entre 0 e 1. Quando α é igual a zero, significa que o material não absorveu qualquer energia nele incidida. Valores muito próximos de zero são atingidos por materiais altamente reflectores, como por exemplo, o mármore polido. Na situação do coeficiente de absorção sonora ser igual a 1 significa que o material absorveu a totalidade da energia nele incidida. Esta situação acontece quando temos por exemplo uma janela ou porta totalmente aberta. Por vezes, devido à metodologia de determinação de α em laboratório encontram-se valores superiores a 1, o que está de todo incorrecto pois, como é de fácil compreensão, a energia que um material absorve não pode ser superior à energia que nele incidente. Quando estas situações ocorrerem deverão considerar-se no limite o valor da unidade [1, 2].

O coeficiente de absorção sonora pode ser determinado através de vários processos, no entanto os mais correntes são o método da câmara reverberante e o método do tubo de ondas estacionárias. O método da câmara reverberante foi o utilizado neste trabalho e as respectivas condições técnicas encontram-se devidamente explicitadas no capítulo 4. No entanto refere-se que a câmara reverberante deve ser tão reflectora quanto possível e deve ser completamente isolada do exterior para que não haja influência do ruído exterior durante a realização dos ensaios.

Relativamente ao método do tubo de ondas estacionárias ou tubo de impedância, este permite a determinação do coeficiente de absorção sonora para incidências normais à amostra. O equipamento de ensaio consiste num tubo de 10 cm de diâmetro em que numa das extremidades se encontra um altifalante e na outra se coloca a amostra a ensaiar. Pode ainda existir uma vareta móvel no interior do tubo ligada ao microfone, consoante a técnica utilizada. Este equipamento é de fácil transporte e requer amostras de pequena dimensão. Uma grande desvantagem deste método é o facto de o coeficiente de absorção sonora ser determinado para uma incidência normal das ondas sonoras, quando na realidade as incidências são aleatórias. Apesar de ser possível corrigir o coeficiente de absorção sonora determinado para incidências aleatórias (expressão 2.7), isto consiste apenas numa aproximação [2, 4].

$$\alpha_d = 1,9277 \alpha_n - 0,891 \alpha_n^2 \quad (2.7)$$

O coeficiente de absorção sonora de cada material varia com a frequência emitida [1].

Existem outros parâmetros que, a partir do coeficiente de absorção sonora, são possíveis determinar. Entre eles estão o NRC e o α_w .

O NRC, *noise reduction coefficient*, consiste na média aritmética dos coeficientes de absorção sonora nas frequências, em banda 1/1 oitava, dos 250 Hz aos 2 kHz (expressão 2.8), aproximada em múltiplos de 0,05. Este parâmetro, por se tratar de uma média aritmética de uma gama tão reduzida de frequências, possibilita que materiais com características de absorção sonora distintas apresentem o mesmo valor de NRC. É também de referir que para materiais ou sistemas em que as baixas ou muito

altas frequências tenham relevância considerável, este parâmetro não deve ser considerado pois não intervém no seu cálculo as bandas de 125 Hz e 4 kHz. Este parâmetro é correntemente utilizado, entre outros nos Estados Unidos da América e no Canadá [2].

$$NRC = \frac{\alpha_{250} + \alpha_{500} + \alpha_{1k} + \alpha_{2k}}{4} \quad (2.8)$$

Outro índice único, α_w , coeficiente de absorção sonora ponderado, é determinado de acordo com o procedimento indicado na norma EN ISO 11654 [5]. Com recurso a uma curva de referência, procede-se ao ajuste de uma curva de coeficientes de absorção sonora em banda de 1/1 oitava dos 250 Hz aos 4kHz, de forma a que a soma dos desvios inferiores à curva de referência seja a maior possível mas inferior ou igual a 0,10. A curva de referência tem como coordenadas relativas, para as frequências dos 250 Hz aos 4kHz, 0,00; 0,20; 0,20; 0,20 e 0,10. Os ajustes devem ser realizados em múltiplos de 0,05. O coeficiente de absorção sonora ponderado é um valor único correspondente ao valor da curva, após o ajuste, na banda de frequência dos 500 Hz [2].

Quando uma curva é superior à curva de referência, numa determinada frequência em pelo menos 0,25, junta-se um indicador de forma ao resultado. Conforme a banda de frequência para a qual ocorra esta diferença o indicador de forma será L, M ou H. Caso a diferença ocorra para a banda de frequência dos 250 Hz o indicador é L (*low*). Se a diferença ocorrer para a banda de frequência dos 500 Hz ou os 1 kHz o indicador é M (*medium*). Por fim, se a diferença for na banda dos 2 kHz ou 4 kHz o indicador é H (*high*) [2].

Os materiais absorventes sonoros podem ainda ser classificados de acordo com esse coeficiente de absorção sonora ponderado, em classes de absorção sonora A, B, C, D, E ou sem classificação, como se pode observar no quadro 2.2 [5].

Quadro 2.2 – Classificação de materiais absorventes sonoros [adoptado de 5]

Classes de absorção sonora	A_w
A	$\alpha_w \geq 0,9$
B	$0,80 \leq \alpha_w \leq 0,85$
C	$0,60 \leq \alpha_w \leq 0,75$
D	$0,30 \leq \alpha_w \leq 0,55$
E	$0,15 \leq \alpha_w \leq 0,25$
Sem classificação	$\alpha_w \leq 0,10$

2.2.2. ABSORÇÃO SONORA

A área de absorção sonora (A) é, tal como o tempo de reverberação, determinada por bandas de frequência, geralmente entre os 125 Hz e os 4 kHz [1].

A área de absorção sonora equivalente é o produto do coeficiente de absorção sonora de um determinado material pela respectiva área de superfície. Este produto expressa-se em m^2 e corresponde à área de um material fictício perfeitamente absorvente existente no espaço em estudo [5]. A área de

absorção sonora equivalente pode também ser determinada em laboratório como mais adiante neste trabalho se especificará (capítulo 4).

No contexto de um qualquer campo sonoro, a área de absorção sonora equivalente total tem em conta [1]:

- Todas as superfícies do compartimento como paredes, pavimento e tecto;
- Todos os objectos decorativos e funcionais;
- O ar;
- Pessoas e animais que possam estar no espaço.

Existem vários parâmetros necessários para se determinar a área de absorção sonora total: o coeficiente de absorção sonora de superfícies planas, a área da superfície, a área de absorção sonora equivalente de objectos e o volume do compartimento (expressão 2.9) [1].

$$A = \sum_{i=1}^N \alpha_i \cdot S_i + \sum_{j=1}^M A_j + mV \quad (2.9)$$

Onde:

- V – volume do compartimento (m^3);
- α – coeficiente de absorção sonora;
- S – superfície real (m^2);
- A_j – absorção sonora equivalente localizada (m^2);
- m – absorção sonora do ar em função da humidade relativa (m^{-1}).

Quando, no âmbito de uma correcção acústica, propositada ou não, se altera a área de absorção sonora equivalente, pode influenciar-se o nível de pressão sonora do local. Essa influência pode ser determinada segundo a expressão 2.10. De acordo com esta expressão (2.10) determina-se a variação do nível de pressão sonora, em dB, a partir da relação entre as áreas de absorção sonora equivalente antes e após a respectiva alteração. É de notar que apenas com um aumento do dobro da área de absorção equivalente se consegue um ganho de 3 dB no nível de pressão sonora.

$$\Delta L = 10 \log \frac{A_1}{A_0} \quad (2.10)$$

Onde:

- ΔL – variação de nível de pressão sonora (dB);
- A_0 – área de absorção sonora equivalente total antes da correcção acústica (m^2);
- A_1 – área de absorção sonora equivalente total depois da correcção acústica (m^2).

2.2.3. MATERIAIS ABSORVENTES

A absorção sonora do espaço é conseguida não só através da envolvente, com a escolha dos revestimentos, mas também pelos objectos, decorativos ou funcionais, que se colocam no espaço, como no caso das igrejas, os bancos. De facto todos os materiais ou sistemas absorvem uma maior ou menor quantidade de energia sonora. No entanto, apenas se consideram materiais ou sistemas

absorventes sonoros quando a sua principal função é aumentar ou criar condições de conforto acústico [5]. Tal como referido anteriormente, a dissipação da energia sonora é medida a partir da determinação do tempo de reverberação. Quando os valores obtidos não são satisfatórios deve-se proceder a correcções acústicas, inserindo materiais porosos e fibrosos, sistemas ressoadores ou membranas, caso de pretenda actuar prioritariamente nas altas, médias ou baixas frequências, respectivamente [1, 2].

A absorção sonora nos materiais do tipo porosos e fibrosos dá-se pois a superfície destes apresenta interstícios, isto é, pequenos espaços de ar que comunicam entre si, assegurando a permeabilidade e a propagação e dissipação das ondas sonoras. Neste tipo de materiais a energia sonora é transformada em energia térmica. Os materiais do tipo porosos e fibrosos podem ser, por exemplo:

- Tecidos e alcatifas (figura 2.3);
- Massas porosas;
- Aglomerados de fibras de madeira (figura 2.4);
- Fibras minerais como a lã de vidro e de rocha (figura 2.5 e 2.6);
- Materiais plásticos como o poliuretano expandido (figura 2.7);
- Aglomerados de cortiça como o aglomerado negro (figura 2.8).



Fig. 2.3 (esquerda) – Exemplos de alcatifas [8]

Fig. 2.4 (direita) – Aglomerado de fibras de madeira preenchido com lã de rocha [9]

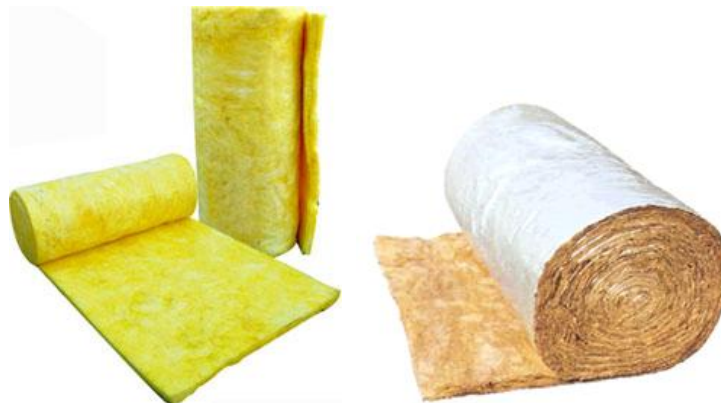


Fig. 2.5 (esquerda) – Lã de vidro [10]

Fig. 2.6 (direita) – Lã de rocha [11]



Fig. 2.7 (esquerda) – Espuma de poliuretano expandido [12]

Fig. 2.8 (direita) – Aglomerado negro de cortiça [13]

Por sua vez, a absorção sonora nos ressoadores dá-se por dois processos:

- Transformação da energia sonora em energia mecânica;
- Transformação da energia sonora em energia térmica.

O funcionamento do ressoador é comparável ao de um oscilador mecânico, relação massa/mola. As ondas sonoras incidem na superfície de entrada do gargalo provocando deslocamentos alternados à massa de ar existente no interior do ressoador. Estes deslocamentos provocam dissipação de energia devido ao atrito entre o ar e a parede do gargalo. Um dos maiores interesses na utilização dos ressoadores reside no facto de ser possível delimitar com relativa precisão a zona de frequência em que este irá actuar, determinando a sua frequência de ressonância [6].

Os ressoadores podem ser de dois tipos: isolados e agrupados. Denomina-se de ressoador isolado (figuras 2.9 e 2.10) quando existe apenas uma abertura associada a um determinado volume de ar confinado. Como exemplo de um ressoador isolado tem-se o famoso ressoador de Helmholtz. Por outro lado, denomina-se por ressoador agrupado (figura 2.11) quando existem várias aberturas associadas a um único espaço de ar.

A amplitude de frequência para a qual ocorre absorção pode ser aumentada recorrendo à colocação de material do tipo poroso ou fibroso no espaço de ar.

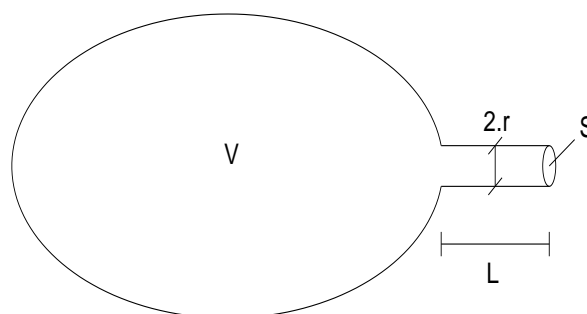


Fig. 2.9 – Esquema de ressoador isolado



Fig. 2.10 – Ressonadores isolados [14]

Para os ressoadores isolados a frequência de eficácia máxima pode ser determinada pela expressão 2.11. Por sua vez, para os ressoadores agrupados, a frequência de ressonância é determinada de acordo com a expressão 2.13. A expressão 2.12 dá-nos a absorção máxima [6].

$$f \text{ (Hz)} = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{V(L + 1,6 \cdot r_p)}} \quad (2.11)$$

$$A_{m\acute{a}x} \cong \frac{\lambda_0^2}{2\pi} \quad (2.12)$$

$$f \text{ (Hz)} = \frac{10 \cdot c}{2\pi} \sqrt{\frac{P}{(e_p + 1,6 \cdot r_p) \cdot d}} \quad (2.13)$$

Onde:

- f – frequência de eficácia máxima (Hz);
- c – velocidade de propagação do som (m/s);
- V, S e L – volume (m^3), área (m^2) e comprimento (m) indicados na figura 2.9;
- $A_{m\acute{a}x}$ – absorção máxima (m^2);
- λ_0 – comprimento de onda correspondente à frequência de ressonância (m);
- P – percentagem de área furada (%);
- e_p – espessura da placa perfurada (cm);
- r_p – raio de cada perfuração (cm),
- d – largura da caixa-de-ar (cm).



Fig. 2.11 – Exemplos de ressoadores agrupados em derivados de madeira [15]

A absorção sonora nos sistemas denominados “membranas” baseia-se em fenómenos de ressonância [6]. Este sistema é constituído por uma caixa-de-ar e por uma placa de pouca espessura. Essa placa, quando exposta a ondas sonoras inicia um movimento vibratório permitindo que parte da energia sonora se transforme em energia mecânica. Por outro lado, devido ao atrito interno de deformação quando a placa entra em flexão, parte da energia sonora é transformada em energia térmica [2, 5]. A expressão 2.14 permite determinar a frequência natural para a qual a absorção sonora é máxima [2, 6].

$$f \text{ (Hz)} = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{\rho}{m_s \cdot d}} \quad (2.14)$$

Onde:

- f – frequência de eficácia máxima (Hz);
- c – velocidade de propagação do som (m/s);
- ρ – massa volúmica do ar (kg/m^3);
- m_s – massa superficial (kg/m^2);
- d – largura da caixa-de-ar (m).

2.2.4. TEMPO DE REVERBERAÇÃO

Quando uma fonte sonora emite num recinto fechado e uma determinada onda sonora atinge um elemento plano, uma parede por exemplo, existe uma parte da energia que é absorvida e outra que é reflectida. Quer a parte da energia que é reflectida, quer a parte da energia que é absorvida, são dependentes das características absorvedoras desse mesmo elemento. A absorção de determinado elemento depende do ângulo de incidência e da direcção da propagação da onda sonora. Após a emissão da fonte sonora, como facilmente se percebe, as ondas são tão mais reflectidas, quanto menor for a absorção sonora média dos vários elementos do compartimento.

Tempo de reverberação é o intervalo de tempo correspondente à redução de intensidade de 60 dB no campo reverberado, após extinguir-se a fonte sonora [2]. O mesmo é dizer que a intensidade diminui para um milionésimo da intensidade inicial [4].

Wallace Clement Sabine (1868 – 1919), um físico americano, apresentou, em 1898, uma relação entre o tempo de reverberação, a absorção sonora e o volume do compartimento (2.15). Esta relação é ainda

utilizada nos dias de hoje pois permite obter valores razoavelmente próximos dos reais na condição de o campo sonoro ser difuso e apresentar um coeficiente de absorção sonora médio inferior a 0,2. Esta relação (2.15) ficou conhecida por Fórmula de Sabine. A constante 0,16 apresentada nesta expressão pode também ser determinada de forma rigorosa através da expressão 2.16 onde c é a celeridade dependente da temperatura [2].

$$T = \frac{0,16 \times V}{A} \quad (2.15)$$

Onde:

- T – tempo de reverberação (s);
- V – volume do compartimento (m^3);
- A – absorção sonora total do espaço (m^2).

$$K = \frac{24 \cdot \ln 10}{c} \quad (2.16)$$

Dizer que um campo sonoro é difuso significa que existe a mesma densidade de energia sonora em cada ponto da sala, o que se consegue se as dimensões do compartimento não forem semelhantes entre si e a absorção sonora for distribuída de forma razoável ao longo de todo o compartimento [1]. Quando o campo é difuso, ocorre dentro do compartimento dissipação de energia sonora. Esta dissipação de energia traduz-se através do coeficiente de absorção sonora α do material onde a onda sonora incidiu. O coeficiente de absorção sonora define-se para cada banda de frequência [1].

A Fórmula de Sabine pode ser sistematizada, genericamente, segundo a expressão 2.17. tendo em conta absorção sonora do ar [2].

Para além da expressão proposta por Sabine, existem outras propostas entre as quais a fórmula de Eyring (2.18), fórmula de Millington-Sette (2.19) e fórmula de Kuttruff (2.20) adaptada da expressão de Eyring [2].

$$T = \frac{0,16 \cdot V}{\sum_{i=1}^N \alpha_i \cdot S_i + \sum_{j=1}^M A_j + m \cdot V} \quad (2.17)$$

$$T = \frac{0,16 \cdot V}{-S \cdot \ln(1 - \bar{\alpha})} \quad (2.18)$$

$$T = \frac{0,16 \cdot V}{-\sum_{i=1}^N S_i \ln(1 - \alpha_i)} \quad (2.19)$$

$$T = \frac{0,16.V}{-S \ln(1 - \bar{\alpha}) \left[1 + \frac{\gamma^2}{2} \ln(1 - \bar{\alpha}) \right]} \quad (2.20)$$

Onde:

- T – tempo de reverberação (s);
- V – volume do compartimento (m^3);
- α – coeficiente de absorção sonora do material;
- $\bar{\alpha}$ – média pesada dos coeficientes de absorção sonora pelas superfícies;
- S – superfície real do material (m^2);
- A – absorções sonoras localizadas (m^2);
- m – absorção sonora do ar em função da humidade relativa (m^{-1});
- γ^2 – variância relativa da distribuição do comprimento dos percursos percorridos ($\approx 0,4$ em casos correntes).

Para medição do tempo de reverberação é necessário garantir um decaimento suficiente acima do ruído de fundo, para tal, a fonte sonora deve ter uma potência que assim o permita. Os equipamentos mais correntemente utilizados são os altifalantes e pistolas de pólvora seca [2].

O tempo de reverberação é uma das características acústicas mais importantes de um compartimento, pois, ainda que de forma subjectiva, assume um papel relevante na forma como um determinado espaço é apreciado. De facto, o tempo de reverberação é a grandeza mais utilizada na caracterização da qualidade acústica de um espaço, em grande parte pela facilidade da sua utilização e não por se considerar ser o único parâmetro apropriado, ou seja, não por se considerar que não existem outros critérios mais apropriados e eficazes [3].

O tempo de reverberação para cada espaço não depende só do seu volume e forma geométrica. Existem muitos factores que têm influência como por exemplo a disposição dos materiais absorventes [6]. O tempo de reverberação ideal é variável consoante o tipo de utilização que se pretenda dar ao espaço. Por exemplo, em locais onde a palavra é o mais importante, o tempo de reverberação aconselhável situa-se entre os 0,5 s e os 1,0 s. Estes valores, para auditórios e salas de pequenas dimensões, são facilmente conseguidos, no entanto, para espaços maiores é necessário recorrer-se à utilização de materiais absorsores sonoros [3].

Em determinadas situações, como salas grandes, a utilização excessiva e generalizada de materiais absorventes, exigidos de forma a obter o tempo de reverberação desejável, pode implicar uma perda da inteligibilidade da palavra (por redução do nível sonoro) pelo que também se poderão considerar, para estes casos, sistemas de amplificação sonoros. Esta perda de inteligibilidade deve-se também à acção mascarante do ruído ambiente [3, 6].

A correcta definição das características de reverberação é de extrema importância para alguns tipos de compartimentos como as salas de aula, auditórios, teatros e igrejas. Pela análise da Fórmula de Sabine verifica-se que é teoricamente possível actuar em dois parâmetros distintos: no volume do compartimento e na sua absorção sonora. Variar o volume do compartimento nem sempre é possível pelo que a forma mais usual é dimensionar ou redimensionar convenientemente a absorção sonora do espaço, tendo em conta a sua utilização final.

À chegada tardia de uma onda sonora, percebida de forma clara pelo ouvinte denomina-se por eco. A identificação deste fenómeno depende da intensidade sonora em relação ao ruído de fundo, no entanto, pode-se dizer que, em geral, os ouvintes conseguem identificar este fenómeno quando uma única reflexão chega atrasada pelo menos 50 ms. Este fenómeno é inaceitável qualquer que seja a utilização do compartimento.

O actual regulamento português, Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) [2], limita o tempo de reverberação máximo em determinados espaços e em função do volume. No quadro 2.3 apresenta-se de forma resumida essas limitações.

Quadro 2.3 – Enquadramento legal para limites do valor do tempo de reverberação [2]

Tipologia	TR médio 500/1k/2k Hz (s) ≤	Sem difusão	Com difusão de	
		de mensagens sonoras	mensagens sonoras	
Edifícios escolares e similares, e de investigação	Salas de aula, bibliotecas, salas polivalentes, refeitórios		$0,15 V^{1/3}$	
	Ginásios	$0,15 V^{1/3}$	$0,12 V^{1/3}$	
Edifícios hospitalares e similares	Enfermarias ($V \geq 100 \text{ m}^3$), refeitórios		$0,15 V^{1/3}$	
	Átrios, salas de espera	$0,15 V^{1/3}$	$0,12 V^{1/3}$	
Edifícios comerciais e de serviços, e partes similares em edifícios industriais	Refeitórios, recintos públicos de restauração, escritórios ($V > 100 \text{ m}^3$)		$0,15 V^{1/3}$	
Recintos desportivos, estações de transporte de passageiros	Recintos desportivos, átrios/embarques estações de transporte de passageiros ($V > 350 \text{ m}^3$)	$0,15 V^{1/3}$	$0,12 V^{1/3}$	
Auditórios e salas	Dependente do volume da sala			
		$V < 250 \text{ m}^3$	$250 \leq V < 9000 \text{ m}^3$	$V \geq 9000 \text{ m}^3$
		$0,12 V^{1/3}$	$0,32 + 0,17 \log V$	$0,05 V^{1/3}$

3

BANCOS DE IGREJA

3.1. DESENVOLVIMENTO HISTÓRICO

3.1.1. HISTÓRIA

Antes de iniciar o relato da aparição e desenvolvimento dos bancos nas igrejas, considera-se interessante apresentar uma breve definição da palavra, assim como a sua origem.

Banco de igreja é por definição e tradição um móvel geralmente em madeira (podendo ter alguns elementos metálicos na sua constituição) com ou sem encosto, para assento das pessoas. Estes bancos podem assumir diferentes formas e alguns exemplos serão apresentados no subcapítulo 3.1.2 (por exemplo, talhados ou forrados com tecido) [16].

Relativamente à origem da denominação banco, a palavra portuguesa deriva da palavra de língua germânica *bank* ou *banka* [17]. Ainda hoje em alemão banco se diz *bank*.

Em inglês usa-se a palavra *pew* que deriva da palavra latina *podium*. Por sua vez, a palavra *podium* significa o local onde o imperador ou cônsules se sentavam, num teatro ou anfiteatro [18, 19].

A história dos bancos de igreja tal como a sua existência é relativamente recente. Estes só foram introduzidos no final da época medieval [16]. Não é fácil especificar o século pois existe alguma divergência entre autores, alguns referem-se ao século XIII e outros ao século XIV [16, 20].

A introdução e utilização dos bancos de igreja foi gradual. Os bispos começaram por utilizar cadeiras e mais tarde os bancos foram introduzidos para serem utilizados pelos ministros e pela congregação [21]. Os únicos bancos disponíveis até então nas igrejas eram saliências das paredes em pedra das próprias igrejas. Estes assentos eram normalmente utilizados por pessoas mais velhas ou doentes que não aguentavam muito tempo em pé [20].

Apenas no século XV a utilização dos bancos, tais como são conhecidos actualmente, se tornou popular na arquitectura interior das igrejas. O púlpito passou a ser o ponto de grande importância da igreja. Os bancos de igreja eram os locais onde as pessoas se podiam sentar à volta do púlpito e concentrar no sermão dado pelo padre. O sermão, na altura da Reforma, assumiu um novo formato, tornando-se mais formal e inteligível pois era dito na língua local [20]. A Reforma foi uma das maiores revoluções religiosas e os seus resultados foram de tal forma vastos que foi considerada um ponto de viragem na História. Este movimento tempestuoso e muitas vezes brutal separou os Cristãos da Europa Ocidental em Protestantes e Católicos. A “Reforma” afirmou-se na Era Moderna pois, uma vez quebrada a união religiosa entre as pessoas, estas começaram a pensar mais em termos dos seus interesses regionais. Da diversidade desses interesses nasceram novos problemas políticos, sociais e económicos e mesmo crenças [22].

Nessa altura a maioria das pessoas não tinha a sua própria Bíblia e também não sabia ler [20]. Os bancos eram uma forma de poderem vivenciar e ouvir a vida religiosa de forma mais confortável. Os bancos de pedra foram assim substituídos pelos bancos em madeira com apoio para as costas, que traziam um maior conforto aos paroquianos [20]. No início da sua utilização, os bancos em madeira continuavam a ser utilizados pelas pessoas mais idosas ou doentes e só mais tarde a sua utilização se generalizou à restante população [23].

A introdução dos bancos de igreja, como actualmente é conhecida, não foi simultânea em todas as Igrejas. Crê-se que a Igreja Católica Ortodoxa herdou a ideia da sua utilização dos Protestantes e da Igreja Católica Romana, que por sua vez também foi busca-la aos Protestantes que os usavam devido aos seus longuíssimos serviços religiosos [24]. Diferentes Igrejas utilizam diferentes tipos de bancos. A evolução dos bancos de igreja dá-se não só ao longo do tempo mas também de forma diferente dentro de cada igreja.

Nos séculos XVII e XVIII a sociedade dava uma enorme importância às diferenças sociais, como tal, na utilização dos bancos de igreja estes também serviam como mais uma forma de diferenciar os vários extractos sociais: quanto mais perto do altar mais ricos ou influentes eram os seus utilizadores e quanto mais longe, mais pobres estes o seriam [23]. Os bancos podiam ainda distinguir outros grupos sociais. Podiam existir bancos para negros, viúvas, adolescentes e pessoas com dificuldades auditivas. Por exemplo nos Estados Unidos da América, os bancos para negros eram colocados de parte e geralmente marcados como “negro” [21]. Era também muito usual homens e mulheres não se sentarem no mesmo banco, ocupando lados ou zonas distintas, existindo assim mais uma separação. A separação por sexos mantém-se até aos dias de hoje em alguns países e religiões, por exemplo o Judaísmo e o Islão.

Durante o tempo da escravatura, os amos para além de pagarem os seus próprios lugares nos bancos de igreja deveriam pagar também os dos seus escravos, que ficavam o mais longe possível do altar [21]. Tal como já foi referido, estes bancos eram muitas vezes marcados com etiquetas e mesmo com o passar do tempo e da diferenciação não ser tão acentuada, estas foram deixadas lá ficar (nos EUA) [16].

No século XIX ainda que várias reformas fossem levadas a cabo, os bancos ainda não eram, em alguns países, de lugar livre [21]. De facto existem relatos de que em muitos locais, os bancos pertenciam a determinadas famílias e de que mais ninguém se atrevia a sentar neles [23]. As famílias pagavam para terem direito ao seu banco ou então herdavam-nos [21]. Os bancos eram propriedade pessoal dos utentes [18]. Em Portugal esta situação não era a regra, apesar de em muitos locais se respeitarem os lugares marcados, isto era apenas por uma questão de hábito e tradição.

As igrejas tentaram resolver esta problemática dispondo de mais bancos nas galerias de lugar livre, no entanto com o crescimento acentuado da população a situação não ficou resolvida [21]. Nos Estados Unidos da América desde 1840 até 1930 os bancos nas igrejas começaram a passar gradualmente de privados a livres dando origem ao termo “igreja livre” ou “igreja para todos” [16, 21].

Actualmente é ainda possível observar os diferentes tipos de bancos que cada igreja utiliza e as separações que continuam a ocorrer. A introdução dos bancos nas igrejas trouxe mais conforto mas, em alguns países, também mais uma forma de diferenciar a população.

Alguns arquitectos começam, actualmente, a substituir em algumas igrejas os bancos por cadeiras como se pode observar na figura 3.1. Este tipo de assento não é alvo deste estudo como tal apenas fica esta breve referência. Tal uso faz introduzir um Individualismo que esteve afastado do interior da

Igreja pois os bancos corridos (onde cabe sempre mais um) reflectem a abrangência da Igreja e o seu carácter colectivo, de grupo.

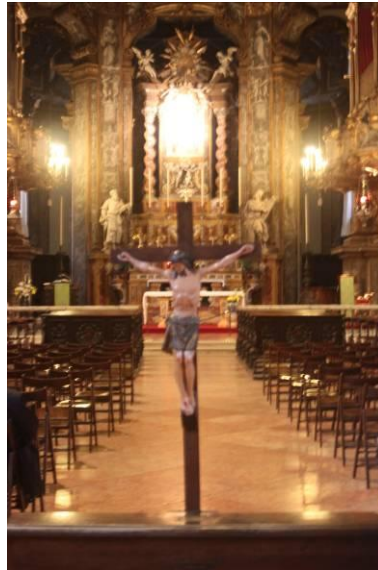


Fig. 3.1 – Substituição dos bancos de igreja por cadeiras (Basilica Magistrale di Santa Maria della Steccata, Parma, Itália) [foto do autor]

3.1.2. INFLUÊNCIA DA INTRODUÇÃO DOS BANCOS NOS PRINCÍPIOS DA IGREJA

“A Teologia é fascinante – como nos sentamos, onde nos reunimos, o que colocamos como lugar importante na adoração” [20].

Se para muitos a introdução dos bancos nas igrejas é apenas uma questão de conforto, para outros é também bem mais que isso. De facto a mera introdução dos bancos na igreja tal qual se conhecem hoje poderá ter influência nos seus valores sociais e teológicos, pelo menos assim o defendem alguns autores.

Na “igreja original” as pessoas reuniam-se em casa onde as pessoas circulavam livremente discutindo e passando a palavra da Escritura Sagrada. Podiam rezar e partilhar uma refeição todos juntos. Quando a Igreja se mudou para os edifícios denominados igrejas, as pessoas continuavam a circular livremente à volta da mesa da Ceia do Senhor, que na altura seria o ponto de maior importância, interagindo uns com os outros. Com a introdução dos bancos e do púlpito como ponto de maior importância, as pessoas começaram lentamente a sentar-se e a deixar de circular e de interagir. Os paroquianos sentavam-se e olhavam todos na mesma direcção focando-se no púlpito ou no altar. Estas mudanças, segundo alguns, modificaram a Cultura da Igreja e a forma como as pessoas se reúnem para a adoração. “Torna-se mais um local de reunião, de sentar, assistir e ouvir”, do que uma reunião de uma comunidade interactiva” [20].

Alguns autores defendem que esta não é apenas a sua própria opinião mas também a de uma parte da população em geral e até mesmo parte do clero [24]. Mas seria hoje possível ou até sequer admissível ter as pessoas em pé durante todos os serviços religiosos? Se se perguntasse hoje aos fieis se concordavam em retirar os bancos, não seria óbvio que eles diriam que não?

Em seguida transmitem-se algumas ideias da possível alteração dos valores sociais e Teológicos da Igreja devido à introdução dos bancos nas igrejas.

Segundo alguns, os bancos transmitem a ideia e pensamento nas pessoas que a religião e espiritualidade são a função do padre, isto é, cabe ao padre dar a liturgia, é sua função abster-se dos prazeres e conforto pela população. A população paga ao padre para este ser religioso por eles. À população em geral cabe apenas assistir à liturgia dada pelo padre pois com a vida actual é cada vez mais difícil ser-se espiritual [24].

Os bancos de igreja funcionariam como os bancos num teatro, as pessoas sentam-se para assistir à liturgia dada pelo padre e à actuação do coro [24].

Os bancos permitem as pessoas relaxarem e descansarem transformando assim a igreja num refúgio da vida real. No entanto, segundo essa corrente de opinião, a liturgia deveria significar o trabalho do povo, o que já não aconteceria [24].

Com a introdução dos bancos na igreja a sensação de liberdade antes sentida no seu interior fica constrangida, limitando a circulação e não permitindo que as pessoas possam vivenciar toda a movimentação antes vivida dentro das igrejas [24]. Actualmente, a movimentação é reduzida à marcha do padre e seus acólitos que percorrem pontualmente os corredores formados pelas longas filas de bancos.

As reuniões que antes ocorriam nas naves da igreja não podem ocorrer actualmente pois os bancos vieram preencher o espaço livre que existia antigamente [24].

Os bancos permitem que as crianças mais pequenas possam brincar por baixo destes enquanto a liturgia ocorre lá frente longe das suas vistas [24].

Durante determinados períodos da história a utilização de bancos provocou discórdias sobre a posse de lugar e forma de distinção de extractos sociais, quando a igreja deveria ser um local de espiritualidade e comunhão [18, 24].

A presença de bancos nas cerimónias fúnebres afasta as pessoas do corpo deitado no caixão. As pessoas já não se colocam à volta do caixão mas de frente para ele, poupando-as de certa forma a parte da dor da perda [24].

3.2. TIPOS DE BANCOS

Existem vários tipos de bancos de igreja. Estes podem ser tipo cadeirão ou banco corrido. Podem ser recortados, assumindo diferentes formas, imagens ou pintados. Podem ainda ser totalmente em madeira, sem qualquer revestimento ou serem forrados com tecido ou pele de animais. É intenção deste capítulo apresentar algumas imagens de exemplares típicos.

O tipo de bancos utilizados varia com a época e local da igreja. Pode-se ainda encontrar na mesma igreja diferentes tipos de bancos, o que pode ser explicado pela sua inserção em diferentes épocas mas também como forma de distinção de extractos sociais e entre o clero e os utentes da igreja. Por exemplo, os bancos apresentados na figura 3.23 e 3.31 foram encontrados na mesma igreja. Como já foi referido acima, este facto pode resultar de terem sido inseridos em épocas diferentes ou servirem como diferenciação entre extractos sociais diferentes: o banco dos ricos e o banco dos pobres. Ambos os bancos são totalmente em madeira.

Na figura 3.2 apresenta-se um exemplo de cadeirais totalmente em madeira com alguns recortes e diversas imagens. Este tipo de banco era utilizado por membros do clero e não é alvo de estudo neste trabalho.

A diversidade dos bancos é vasta. No quadro 3.1 apresenta-se uma resumida sistematização dos diversos tipos de bancos que se podem encontrar. Ainda dentro dos mais correntes e simples (não estofados) pode-se observar bancos em madeira e ferro (figura 3.3), em madeira apenas com aplicações em ferro (figura 3.4) ou todo em madeira (figura 3.5). Existem bancos totalmente em madeira com aberturas nas costas e no assento (figura 3.6) ou só nas costas (figura 3.7) ou ainda bancos em madeira e ferro com aberturas nas costas (figura 3.8) ou com abertura entre as costas e o assento (figuras 3.9 e 3.10). Há bancos constituídos por madeira de cor homogênea (figura 3.9) ou de diferentes tonalidades (figura 3.10).

Quadro 3.1 – Quadro resumo dos diferentes tipos de bancos

Tipologia considerada do banco		Exemplo de figura	
Com costas		3.3	
Sem costas		3.23	
Com genuflexório	Fixos	Forrados	3.13
		Não forrados	3.21
	Móveis	Forrados	-
		Não forrados	3.22
Sem genuflexório		3.4	
Com estofo	Só no assento	3.16	
	No assento e nas costas	3.11	
Sem estofo		3.5	
Isolados		3.8	
Com porta	Sem fechadura	3.34	
	Com fechadura	3.36	
Sem porta		3.33	
Com gaveta para livros		3.23	
Sem gaveta para livros		3.21	



Fig. 3.2 – Cadeiras (Basilica Cattedrale di S. Maria Assunta, Parma, Itália) [foto da autora]



Fig. 3.3 – Banco de madeira e ferro sem genuflexório (EUA) [25]



Fig. 3.4 – Banco de madeira sem genuflexório com aplicações em ferro (EUA) [26]

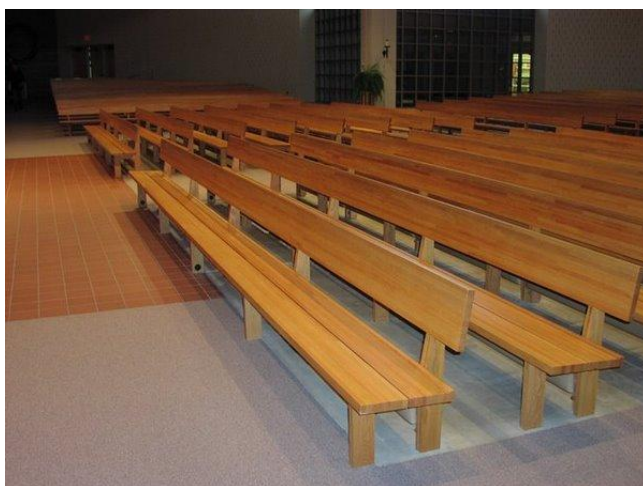


Fig. 3.5 – Banco corrido totalmente em madeira sem genuflexório (EUA) [27]



Fig. 3.6 – Banco em madeira com aberturas nas costas e assento sem genuflexório (Catedral de Puerto Vallarta, Jalisco, México) [28]



Fig. 3.7 – Banco em madeira com aberturas nas costas sem genuflexório (França) [29]



Fig. 3.8 – Banco em madeira e ferro com aberturas nas costas com genuflexório (Igreja Católica St. Antonius, Ravensburg, Alemanha) [30]



Fig. 3.9 – Banco em madeira com abertura entre o assento e as costas com genuflexório (catedral Imaculada Conceição, Brasil) [31]



Fig. 3.10 – Banco em madeira de diferentes tonalidades com abertura entre o assento e as costas (Brasil) [32]

Os bancos de igreja podem ser estofados (figura 3.11 a 3.14), possuir apenas uma ligeira cobertura do assento (figura 3.15 e 3.16) ou almofadas no assento (figura 3.17 e 3.18). Mais uma vez, qualquer um destes bancos pode assumir formas mais simples (figura 3.11) ou mais elaboradas (figura 3.16 a 3.18), podem ser totalmente na mesma tonalidade (figura 3.11) ou em diferentes tonalidades (figura 3.12) ou ainda terem aberturas nas costas (figura 3.15) ou não (figura 3.16). Geralmente os bancos são estofados por todo, no entanto também é possível encontrar exemplares que apesar de ser um banco corrido, o estofado é realizado de forma individual como se pode observar na figura 3.13. Alguns bancos, tal como se apresenta na figura 3.14 têm apoio para livros.



Fig. 3.11 – Banco estofado totalmente no mesmo tom de madeira (Inglaterra) [33]



Fig. 3.12 – Banco estofado com diferentes tonalidades de madeira (Brasil) [32]



Fig. 3.13 – Banco com estofamento individual (Holanda) [34]



Fig. 3.14 – Banco com estofamento e apoio para livros (EUA) [35]



Fig. 3.15 – Banco com estofado e apoio para livros (EUA) [36]



Fig. 3.16 – Banco com cobertura no assento e talhado (EUA) [37]



Fig. 3.17 – Banco com almofada e talhado (Sankt Andreas, Dinamarca) [38]



Fig. 3.18 – Banco com almofada e costas talhadas sem genuflexório (Suíça) [38]

Alguns bancos possuem genuflexório (figuras 3.19 a 3.26), isto é, apoio para os joelhos. Os genuflexórios podem ser forrados (figura 3.19), ter uma pequena almofada (figura 3.20) ou não possuírem qualquer apoio extra (figura 3.21). Os genuflexórios podem ainda ser fixos (figura 3.19) ou móveis (figura 3.22). Os bancos com este complemento podem também ter apoio para os livros (figura 3.23). Alguns bancos possuem ganchos onde se podem colocar por exemplo as carteiras das senhoras (figura 3.24).

Geralmente, os bancos têm apoio para as costas, no entanto também existem alguns que não têm como por exemplo o da figura 3.23.

Os bancos com apoio para os joelhos podem ser estofados, ter uma ligeira cobertura do assento (figura 3.20), ter almofadas (figura 3.25) ou nada sobre os assentos (figura 3.19).

Os bancos podem ser talhados (figuras 3.27 a 3.32) com motivos muito distintos. Existem os religiosos (figura 3.29 e 3.30), florais (figura 3.28 e 3.31), animais (figura 3.32).



Fig. 3.19 – Banco com genuflexório forrado (Colômbia) [39]



Fig. 3.20 – Banco com ligeira cobertura do assento e genuflexório com almofada (St. Martinus, Alemanha) [30]



Fig. 3.21 – Banco com genuflexório (Saint François, Bélgica) [40]



Fig. 3.22 – Banco com genuflexório móvel (St. Ursula, Alemanha) [30]



Fig. 3.23 – Banco sem costas com apoio para joelhos e suporte para livros (Basilica Magistrale di Santa Maria della Steccata, Parma, Itália) [foto da autora]



Fig. 3.24 – Banco com genuflexório e ganchos (Alemanha) [30]



Fig. 3.25 – Banco com almofada e genuflexório (Alemanha) [30]



Fig. 3.26 – Banco cobertura sobre o assento e genuflexório forrado (Alemanha) [41]



Fig. 3.27 – Banco talhado (Alemanha) [30]



Fig. 3.28 – Banco talhado com motivos florais (Alemanha) [30]



Fig. 3.29 – Banco talhado com motivos religiosos e numeração (Canadá) [42]



Fig. 3.30 – Banco talhado com motivos religiosos (Holanda) [43]



Fig. 3.31 – Banco talhado com motivos florais (Basilica Magistrale di Santa Maria della Steccata, Parma, Itália)
[foto da autora]



Fig. 3.32 – Banco talhado com motivos da natureza (Homem e animal) (Alemanha) [30]

Observa-se na figura 3.33 um banco bastante diferente dos anteriores. Este banco é talhado e pintado com motivos florais e inscrições. As suas linhas são mais rectilíneas e é mais fechado que os anteriores embora sem porta.

Nas figuras 3.34 a 3.43 observam-se diversos tipos de bancos com porta notoriamente de épocas e estilos diferentes não correntes em Portugal. Nas figuras 3.34 e 3.35 os bancos são de desenho mais simples, pouco ou nada talhados. Nas figuras 3.36 e 3.40 observa-se a madeira esculpida para dar forma ao banco e aos desenhos nele incorporados.

O desenho do banco da figura 3.37 é mais simples em que se optou por colocar os brasões. A existência destes brasões revela algo já descrito no ponto anterior: cada banco pertencia a uma determinada família. A distinção dos bancos podia ser feita através de brasões ou de placas de identificação (figura 3.34), situação não corrente em Portugal.

Estes bancos podem ter fechadura (figura 3.36) ou algum sistema de fecho (figura 3.38) ou ainda nenhum tipo de fechadura (figura 3.39).

Geralmente as gravuras nos bancos situam-se apenas do lado exterior (figura 3.41 e 3.42), no entanto, em alguns casos também existem algumas no interior (figura 3.43).



Fig. 3.33 – Banco fechado sem porta, talhado e pintado (St. Valentinus, Alemanha) [44]



Fig. 3.34 – Banco com porta e com placas de identificação (St. Paul, Birmingham, Inglaterra) [38]



Fig. 3.35 – Banco com porta (Dinamarca) [38]



Fig. 3.36 – Banco com porta e fechadura (Alemanha) [45]



Fig. 3.37 – Banco com porta e brasões (Dinamarca) [38]



Fig. 3.38 – Banco com porta com sistema de fecho, talhado e com gravuras (Dinamarca) [38]



Fig. 3.39 – Banco com porta e gravuras (Dinamarca) [38]



Fig. 3.40 – Banco com porta e talhado (Dinamarca) [38]



Fig. 3.41 – Banco com porta com gravuras e inscrições (Alemanha) [38]



Fig. 3.42 – Banco com porta e gravuras religiosas (Suécia) [38]



Fig. 3.43 – Banco com porta e gravuras no interior e exterior (Suécia) [38]

Existem alguns fabricantes (carpintarias) que se dedicam à confecção deste tipo de móvel. Após pesquisa realizada apresentam-se alguns sites de encontrados:

- Espanha: <http://carpinteriahernandez.blogia.com/temas/mobiliario-sacro.php>;
- Espanha: http://www.belloso.es/prestashop/category.php?id_category=183;
- Espanha: http://www.artesalmeron.com/bancos_de_iglesia.html;
- Espanha: <http://sites.google.com/site/carpinteriamarioalemany/home/servicios/bancos-de-iglesia>;
- Espanha: <http://www.antonigraells.com/>;
- Espanha: <http://www.carpinteriajavierquilez.es/>;
- Espanha: <http://www.miquelprat.com/>;
- Brasil: <http://www.fmbompastor.com.br/>;
- EUA: <http://www.stpaulfab.com/church-seating/pews/>.

4

ENSAIOS

4.1. CONDIÇÕES INICIAIS

4.1.1. CÂMARA REVERBERANTE

Os ensaios para determinação da absorção sonora das amostras foram realizados recorrendo à câmara reverberante R1 do Laboratório de Acústica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (figura 4.1).

A câmara tem comprimento e largura não uniforme, sendo que o comprimento varia entre 7 m e 7,5 m e a largura entre 5,6 m e 6,15 m (figura 4.2). A altura da sala é de 4,65 m e estima-se que o seu volume seja aproximadamente 217 m³. Numa das paredes da sala existe uma abertura de área igual a 3,30 x 3,10 m² que durante os ensaios realizados se encontrava fechada. Esta abertura, quando fechada, permite determinar o índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea de um determinado elemento de construção.

No interior da câmara existem cinco difusores acrílicos suspensos no tecto e dimensionados de acordo com a norma NP EN ISO 140-1 (figura 4.3) [46].



Fig. 4.1 – Câmara Reverberante R1 da FEUP [foto da autora]

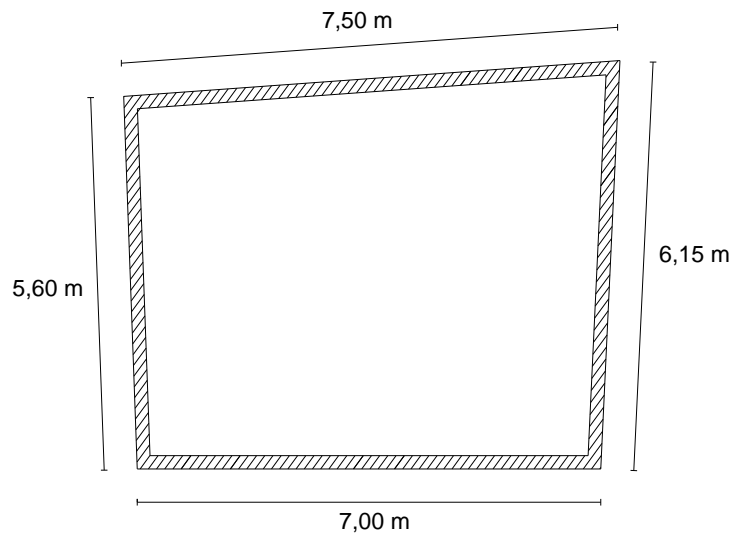


Fig. 4.2 – Planta (esquema) da câmara reverberante R1 da FEUP



Fig. 4.3 – Difusores no interior da câmara reverberante R1 da FEUP [foto da autora]

De acordo com a norma NP EN ISO 354 [47], a forma da câmara reverberante deve permitir que se verifique a expressão 4.1 onde $l_{m\acute{a}x}$ é o maior comprimento em linha recta dentro dos limites da câmara reverberante (por exemplo, se a câmara for rectangular, $l_{m\acute{a}x}$ corresponde à maior das diagonais). Tal como se pode observar das expressões 4.2 e 4.3, tal é verificado.

$$l_{m\acute{a}x} < 1,9 V^{1/3} = 1,9 \times 217^{1/3} = 11,42 \text{ m} \quad (4.1)$$

$$l_{m\acute{a}x} = \sqrt{\left(\frac{5,60 + 6,15}{2}\right)^2 + \left(\frac{7,00 + 7,50}{2}\right)^2} + 4,65^2 = 10,43 \text{ m} \quad (4.2)$$

$$10,43 < 11,42 \text{ m} \longrightarrow O.K. \quad (4.3)$$

Onde:

- $l_{máx}$ – comprimento máximo em linha recta (m);
- V – volume da câmara reverberante (m^3).

4.1.2. AMOSTRAS, FONTE SONORA E MICROFONES

As amostras para os ensaios de absorção sonora em câmara reverberante podem ser de dois tipos:

- Elementos absorventes planos;
- Elementos absorventes discretos.

Conforme o tipo de provete, a forma como é colocado no interior da câmara reverberante altera-se. No caso em estudo neste trabalho (bancos de igreja), as amostras tratam-se de elementos discretos. Este tipo de provete deve ser instalado tal como é utilizado na prática corrente. No presente caso dos bancos de igreja, estes foram colocados no meio da câmara reverberante, cumprindo o afastamento mínimo de um metro em relação aos diversos elementos que constituem a câmara como as paredes e os difusores e os microfones e fonte sonora. Considera-se esta a opção mais indicada pois é a situação que mais se assemelha à sua utilização diária mais corrente em que os bancos também se situam no meio da nave da igreja.

A amostra deve ser constituída por um número de objectos individuais que se considere suficiente (ou possível), de forma a garantir uma variação mensurável da área de absorção sonora equivalente da câmara reverberante. Nas situações mais correntes, o número de objectos individuais não deverá ser inferior a três [47].

Para cada ensaio realizado, foram usadas cinco ou seis posições da fonte sonora para quatro posições fixas de microfones, conforme a câmara reverberante esteja vazia ou com amostra no seu interior (figuras 4.4 e 4.5 respectivamente).

Para cada configuração fonte sonora/microfone, foram realizadas três medições.

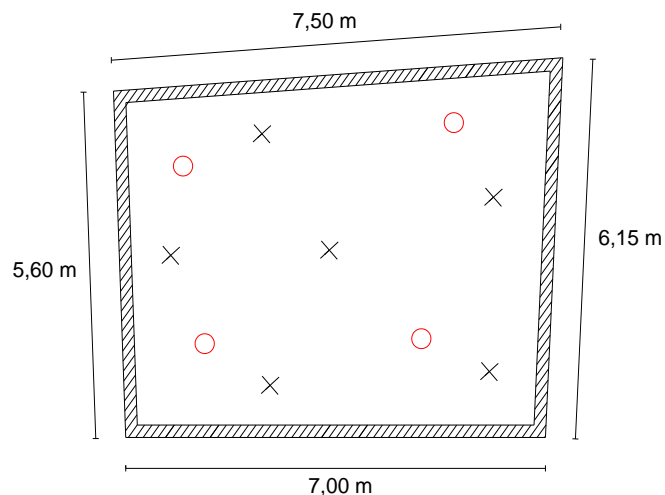


Fig. 4.4 – Esquema das diferentes posições de fonte sonora (x) e microfones (o) no ensaio da câmara reverberante vazia

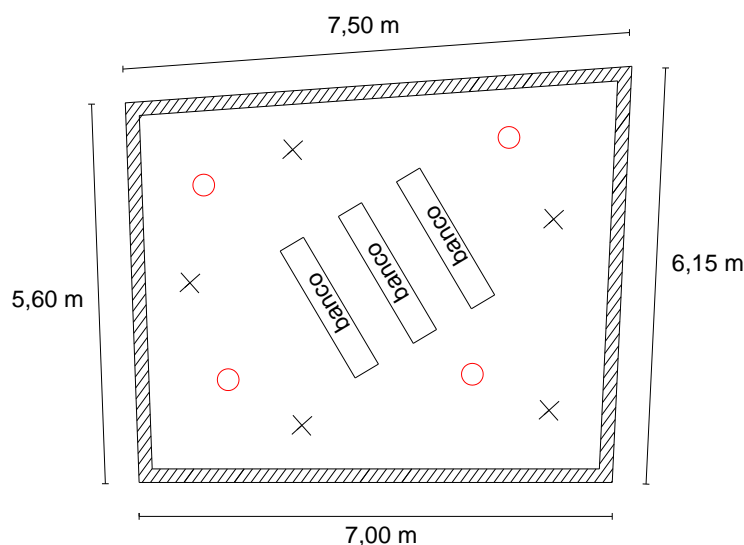


Fig. 4.5 – Esquema das diferentes posições de fonte sonora (x) e microfones (o) no ensaio da câmara reverberante com a amostra (três bancos)

4.1.3. TEMPERATURA E HUMIDADE RELATIVA

A variação da temperatura e da humidade relativa do ar no interior da câmara reverberante durante os ensaios pode, em algumas circunstâncias, influenciar a medição do tempo de reverberação pois a absorção do ar difere com esses factores (ver quadro 4.1). Como tal, as medições na câmara reverberante vazia e com as amostras em estudo no seu interior, devem preferencialmente ser realizadas em condições de temperatura e humidade relativa semelhantes.

Para se realizarem correcções para a variação da absorção do ar, deve-se ter em conta o coeficiente de atenuação devido à presença do ar, representado pelo símbolo m , determinado segundo a ISO 9613-1 [48] (ver expressão 4.4). O símbolo m é acompanhado pelo índice numérico 1 ou 2 para o caso de se tratar da câmara reverberante vazia ou com a amostra no seu interior, respectivamente.

Relativamente à temperatura, esta não deve ser inferior a 15 °C, sendo que para temperaturas entre os 15 °C e os 30 °C, a velocidade de propagação do som pode ser determinada a partir da expressão 4.5 [47].

No presente trabalho a humidade relativa nos dois dias de ensaios foi de 78% e de 69%, respectivamente no primeiro e segundo dia. A temperatura no interior da câmara reverberante foi aproximadamente igual a 17 °C.

$$m \left(m^{-1} \right) = \frac{\alpha_a}{10 \cdot \log(e)} \quad (4.4)$$

$$c \left(m / s \right) = 331 + 0,6t \quad (4.5)$$

Onde:

- α_a – coeficiente de atenuação atmosférica (Quadro 4.1);
- e – número de nepper;
- t – temperatura (°C).

Quadro 4.1 – Coeficiente de atenuação atmosférica, α_a , (dB/km) em função da humidade relativa (valores determinados por interpolação para temperatura igual a 17 °C) [adaptado de 48]

Frequência (Hz)	Humidade Relativa (%)				
	60	69	70	78	80
100	0,273	0,244	0,240	0,220	0,213
125	0,412	0,371	0,366	0,338	0,328
160	0,607	0,555	0,548	0,510	0,498
200	0,796	0,800	0,801	0,754	0,738
250	1,185	1,136	1,130	1,077	1,059
315	1,584	1,547	1,542	1,496	1,481
400	2,018	2,008	2,006	1,980	1,971
500	2,483	2,546	2,554	2,539	2,533
630	2,984	3,054	3,063	3,113	3,130
800	3,576	3,660	3,672	3,752	3,779
1000	4,326	4,395	4,404	4,484	4,510
1250	5,390	5,366	5,363	5,412	5,428
1600	6,972	6,777	6,751	6,710	6,696
2000	9,410	8,913	8,847	8,625	8,551
2500	13,204	12,190	12,056	11,591	11,436
3150	19,164	17,362	17,124	16,140	15,812
4000	28,536	25,536	25,140	23,412	22,836
5000	43,212	38,283	37,632	34,710	33,736

4.1.4. EQUIPAMENTO UTILIZADO

De forma a levar a cabo os ensaios foi necessário recorrer-se aos equipamentos e *software* abaixo indicados:

- Sistema de aquisição de dados *Brüel & Kjaer PULSE* Tipo 3560-D;
- *Software* de aquisição e tratamento de dados *Brüel & Kjaer PULSE* v. 10.1;
- Amplificador *Brüel & Kjaer* Tipo 2716-C;
- Fonte sonora Omnidireccional *Brüel & Kjaer OmniSource™* Tipo 4295;
- 4 Microfones *Brüel & Kjaer ½"* Tipo 4190.

4.2. METODOLOGIA

4.2.1. GAMA DE FREQUÊNCIAS

A norma NP EN ISO 354 [47] refere que em medições acústicas na câmara reverberante se devem utilizar frequências centrais em bandas de terço de oitava dos 100 aos 5000 Hz (Quadro 4.2).

Para além das bandas de frequência mencionadas no quadro 4.2, podem ainda realizar-se medições adicionais em outras bandas de frequência (especificadas na EN ISO 266 [49]). No entanto, para as baixas frequências (<100 Hz), o procedimento não é de fácil determinação rigorosa.

Quadro 4.2 – Frequências centrais em banda de terço de oitava utilizadas em medições acústicas em câmara reverberante, em Hz

Frequências Centrais em banda de terço de oitava (Hz)					
100	125	160	200	250	315
400	500	630	800	1000	1250
1600	2000	2500	3150	4000	5000

4.2.2. MÉTODO DO RUÍDO INTERROMPIDO

O método utilizado nos ensaios realizados em câmara reverberante foi o método do ruído interrompido. Este método consiste em obter as curvas de decaimento (figura 4.6) através do decréscimo dos níveis de pressão sonora registados (figura 4.7), após a fonte sonora emitir um determinado ruído de banda larga no interior da câmara reverberante.

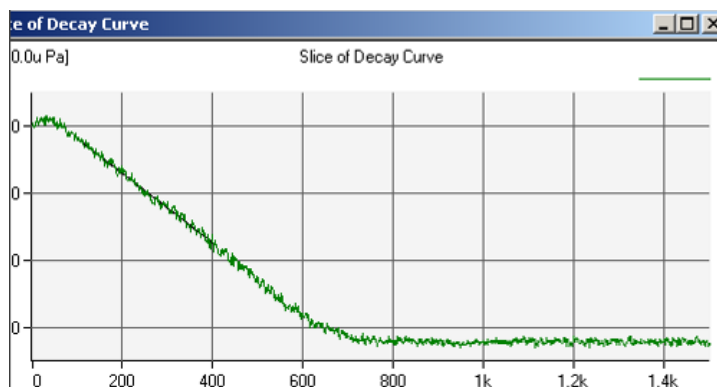


Fig. 4.6 – Exemplo de curva de decaimento (pressão em função do tempo) (Sistema *B&K Pulse*)

Neste caso e recorrendo-se à utilização de um analisador de tempo real, as diferenças entre os níveis de pressão sonora resultantes na câmara devem ser inferiores a 6 dB entre bandas de um terço de oitava consecutivas. Recomenda-se que a emissão deste ruído tenha uma duração que permita o mesmo nível de pressão sonora em todas as bandas de frequência. Para tal, a duração da emissão deverá ser pelo menos metade do valor do tempo de reverberação esperado para a situação em estudo.

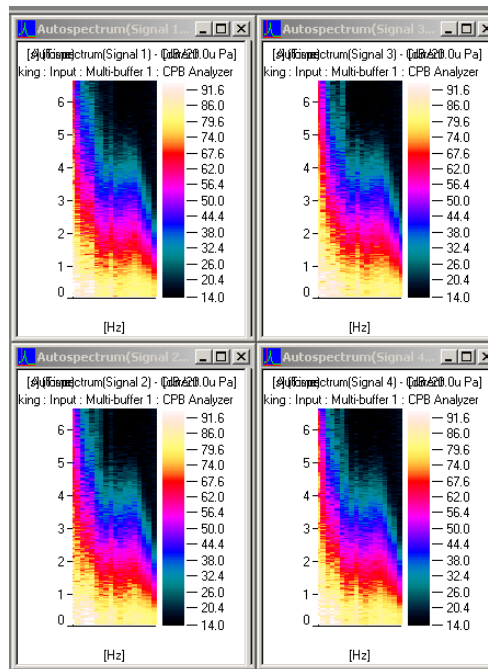


Fig. 4.7 – Exemplo de curvas de decaimento de níveis de pressão sonora (Sistema *B&K Pulse*)

Tal como já foi referido, foram realizadas várias medições para cada configuração fonte sonora/microfone para reduzir a incerteza existente e desta forma obter adequados valores médios. O número mínimo aconselhado de medições para cada configuração é de três [47]. O método utilizado para o cálculo dos valores médios baseia-se na determinação do tempo de reverberação para cada curva de decaimento, determinando em seguida a média aritmética a partir dos tempos de reverberação. As curvas de decaimento para diferentes configurações de fonte sonora/microfone, não são utilizadas na determinação da média.

De forma a registar os níveis de pressão sonora existe um sistema de aquisição que sirva este propósito. Este sistema permite igualmente a determinação da inclinação média da curva de decaimento do tempo de reverberação e inclui amplificadores e filtros necessários.

O sistema de aquisição a que se recorreu na realização dos ensaios utiliza o método da média exponencial representada por pontos discretos. Este método executa medições a cada 1/5000 s, realizando a média destes resultados a cada 1/64 s. Isto permite que o sistema confirme que está a realizar medições na frequência desejada.

A gama de avaliação é, sempre que possível, de 30 dB. Quando não é possível garantir os 30 dB, a gama de avaliação passa a ser 20 dB. O nível de pressão sonora inicial deve ser 5 dB inferior ao nível de pressão sonora máximo enquanto o nível de pressão sonora final da gama de avaliação deve ser pelo menos 10 dB acima do ruído de fundo. A primeira condição pretende garantir que a curva de decaimento já esteja formada. A segunda, por sua vez pretende que garanta que não ocorram interferências por parte do ruído de fundo.

Os sistemas de aquisição de dados controlados por computador utilizam um método para a determinação do tempo de reverberação que consiste na regressão linear pelo método dos mínimos quadrados aplicados no intervalo de avaliação. No caso de avaliação da curva de decaimento por meio de pontos discretos, o número de pontos é tal que permita aplicar por aproximação o método dos mínimos quadrados, de forma válida.

4.2.3. DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS REALIZADOS

As amostras consideradas neste estudo são três tipos de bancos diferentes, consistindo cada amostra em três elementos de cada tipo de banco. O banco tipo F (FEUP) foi cedido pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (figura 4.8) são antigos exemplares que estiveram no edifício da Rua dos Bragas. Os bancos denominados por tipo A (Antiga) e N (Nova) foram cedidos pela Igreja de Santo Ovídio (Mafamude, Vila Nova de Gaia), existentes no antigo edifício (figura 4.9) e no novo edifício (figura 4.10) respectivamente.



Fig. 4.8 – Bancos utilizados como amostra tipo F colocados actualmente na entrada do DEC [foto da autora]



Fig. 4.9 – Interior da Igreja (antiga) de Santo Ovídio (Mafamude, Vila Nova de Gaia) com os bancos utilizados como amostra tipo A [foto da autora]



Fig. 4.10 – Interior da Igreja (nova) de Santo Ovídio (Mafamude, Vila Nova de Gaia) com os bancos utilizados como amostra tipo N [foto da autora]

Apresenta-se nas figuras 4.13 a 4.18 fotografias e esquemas da posição que cada amostra ocupou no interior da câmara reverberante assim como a respectiva área equivalente, S . Para cada amostra na câmara reverberante, entre os três bancos existe uma distância de aproximadamente um metro. No quadro 4.3 apresenta-se as dimensões de cada tipo de banco, servindo a figura 4.12 de apoio ao quadro.

Neste estudo foram realizados ensaios em dez situações diferentes:

- Câmara reverberante vazia (condições iniciais);
- Câmara reverberante com os bancos tipo F desocupados;
- Câmara reverberante com os bancos tipo F ocupados;
- Câmara reverberante com os bancos tipo F com almofadas;
- Câmara reverberante com os bancos tipo A desocupados;
- Câmara reverberante com os bancos tipo A ocupados;
- Câmara reverberante com os bancos tipo A com almofadas;
- Câmara reverberante com os bancos tipo N desocupados;
- Câmara reverberante com os bancos tipo N ocupados;
- Câmara reverberante com os bancos tipo N com almofadas.

A realização dos ensaios com os bancos ocupados foi feita com a participação de vários alunos da FEUP com idades compreendidas entre os 22 e 24 anos de idade. Para o banco do tipo F foram necessárias 15 pessoas no total (5 pessoas por banco). Por sua vez, para os bancos do tipo A e N, foram necessárias 18 pessoas no total (6 pessoas por banco).

As almofadas utilizadas nos ensaios têm as dimensões indicadas no quadro 4.3 e foram cedidas pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (figura 4.11).



Fig. 4.11 – Almofada utilizada nos ensaios realizados [foto da autora]

Nas figuras 4.21 a 4.25 apresentam-se imagens do decorrer dos ensaios em situação de bancos ocupados e de bancos com almofadas.

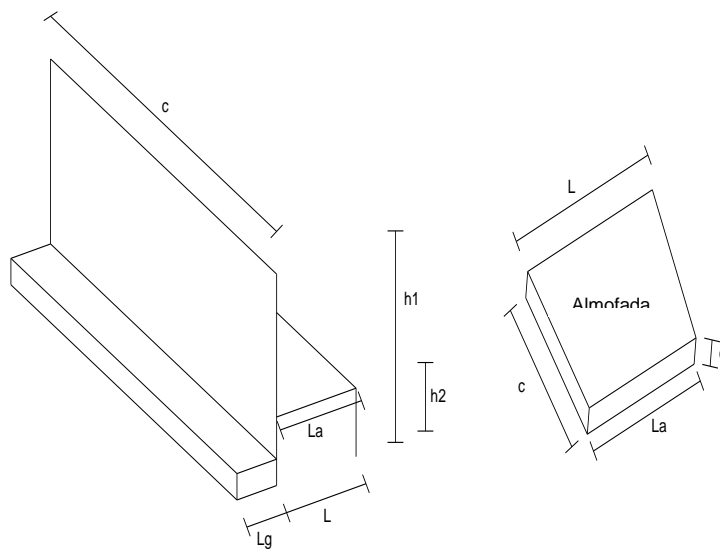


Fig. 4.12 – Esquema do banco e almofada, para apoio ao quadro 4.3

Quadro 4.3 – Dimensões dos bancos e almofadas utilizadas nos ensaios (ver figura 4.12)

Amostra	h1 (m)	h2 (m)	c (m)	L (m)	La (m)	Lg (m)	e (m)	Área de assento (m ²)
Banco F	0,945	0,460	2,020	0,380	0,380	-	-	0,768
Banco A	0,850	0,440	2,800	0,451	0,390	0,277	-	1,092
Banco N	0,970	0,455	2,800	0,435	0,440	-	-	1,232
Almofada	-	-	0,490	0,550	0,450	-	0,045	0,245



Fig. 4.13 – Disposição dos bancos tipo F no interior da câmara reverberante [foto da autora]

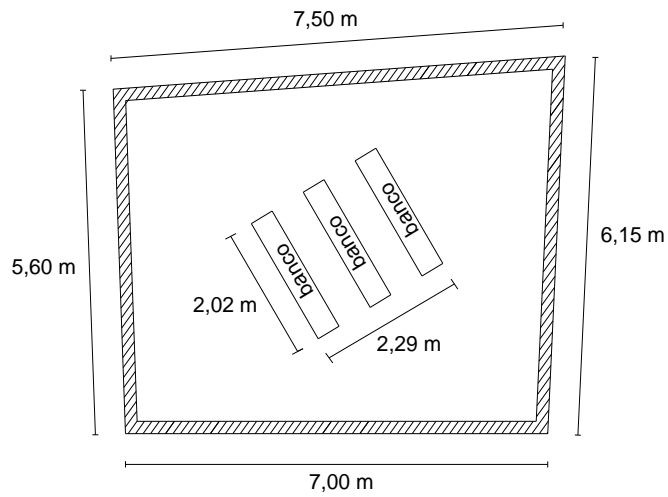


Fig. 4.14 – Esquema da posição dos bancos do tipo F no interior da câmara reverberante



Fig. 4.15 – Disposição dos bancos tipo A no interior da câmara reverberante [foto da autora]

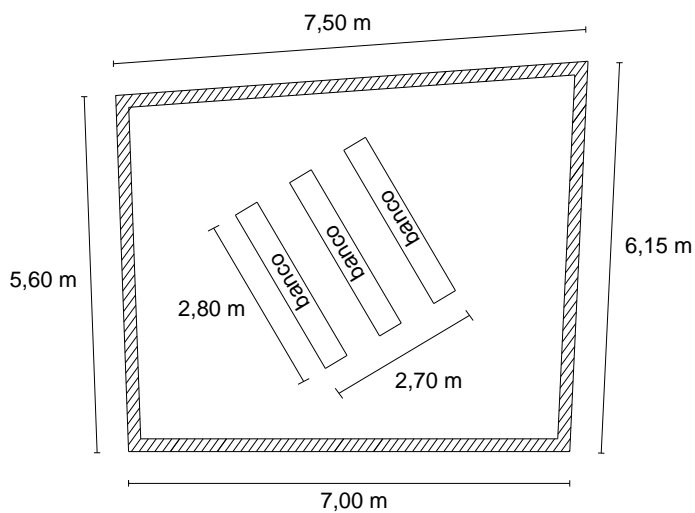


Fig. 4.16 – Esquema da posição dos bancos do tipo A no interior da câmara reverberante



Fig. 4.17 – Disposição dos bancos tipo N no interior da câmara reverberante [foto da autora]

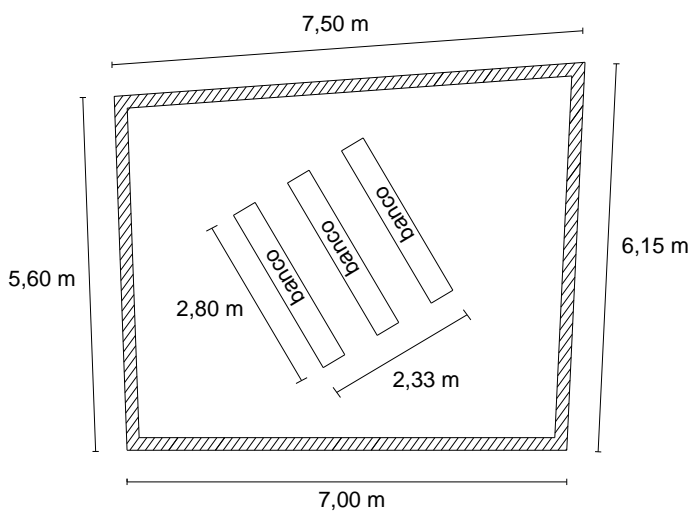


Fig. 4.18 – Esquema da posição dos bancos do tipo N no interior da câmara reverberante

No quadro 4.4 (figura 4.19 e 4.20) apresentam-se as dimensões das zonas de bancos assim como as respectivas áreas aplicadas na determinação da absorção sonora, no subcapítulo 4.3.2. É de notar a diferença entre S e S_+ uma vez que o primeiro (S) diz respeito à área efectivamente ocupada pelos bancos (figura 4.19) enquanto o segundo (S_+) considera ainda uma área suplementar de uma faixa de 0,5 m a toda à volta da amostra (figura 4.20), como em 4.3.2 e 4.4.2 se explicita em maior pormenor.

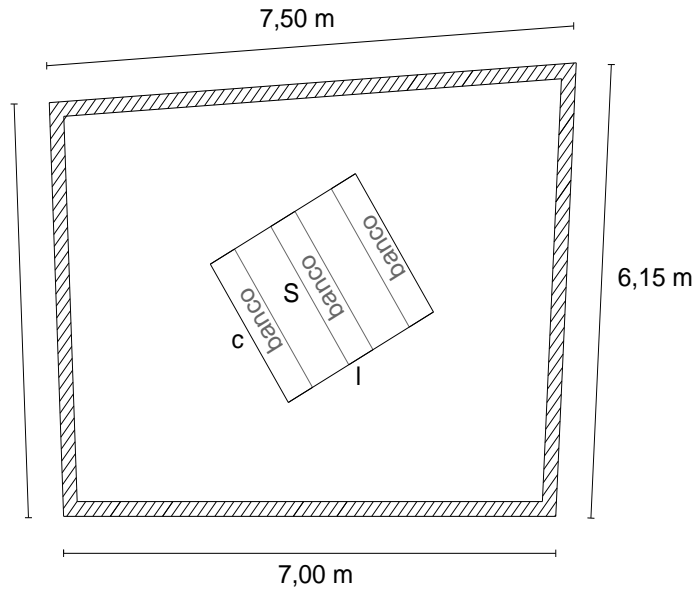


Fig. 4.19 – S: área ocupada pela zona de bancos

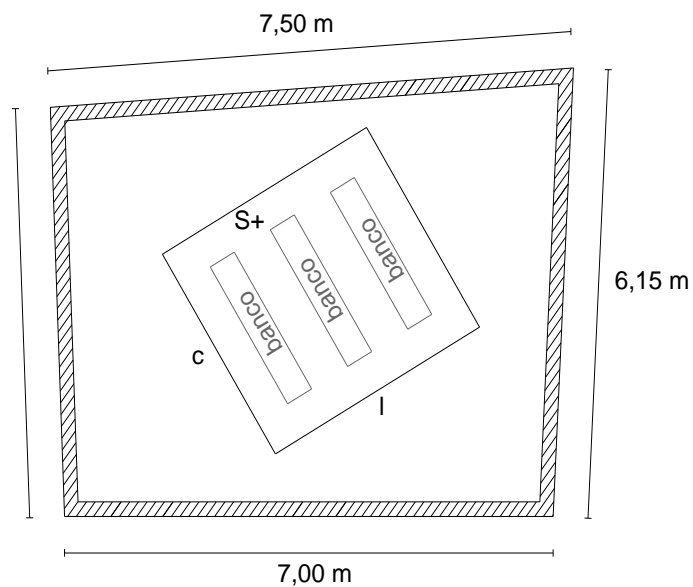


Fig. 4.20 – S_+ : área ocupada pela zona de bancos mais 0,5 m em todo o perímetro (cf. [50])

Quadro 4.4 – Dimensões das zonas ocupadas pelos diferentes tipos de bancos durante os ensaios em câmara reverberante

Banco	c (m)	l (m)	S (m ²)	S ₊ (m ²)
F	2,02	2,29	4,63	9,94
A	2,80	2,70	7,56	14,06
N	2,80	2,33	6,50	12,65



Fig. 4.21 – Bancos tipo F no ensaio com pessoas, no interior da câmara reverberante [foto de A. Costa]



Fig. 4.22 – Bancos tipo N no ensaio com pessoas, no interior da câmara reverberante [foto de A. Costa]



Fig. 4.23 – Bancos tipo F no ensaio com almofadas, no interior da câmara reverberante [foto da autora]



Fig. 4.24 – Bancos tipo A no ensaio com almofadas, no interior da câmara reverberante [foto da autora]



Fig. 4.25 – Bancos tipo N no ensaio com almofadas, no interior da câmara reverberante [foto da autora]

4.3. RESULTADOS

4.3.1. TEMPO DE REVERBERAÇÃO

A absorção sonora é determinada a partir dos valores do tempo de reverberação obtidos na câmara de reverberante, através do método do ruído interrompido, anteriormente explicitado. Nos quadros 4.5, 4.6 e 4.7 (e figuras 4.26 a 4.27) apresentam-se respectivamente os valores dos tempos de reverberação T_0 e T_1 , correspondendo o primeiro ao caso da câmara reverberante vazia e o segundo ao caso da amostra no interior da câmara reverberante. Estes valores correspondem à média aritmética do total das medições realizadas para cada caso e para cada banda de frequência. Os valores do tempo de reverberação devem ser determinados e apresentados com pelo menos duas casas decimais [47].

Quadro 4.5 – Valores de T_0 (tempo de reverberação em s)

Frequência (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630
Câmara Vazia	14,33	12,23	11,30	8,71	7,72	7,81	8,14	8,58	7,83
Frequência (Hz)	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Câmara Vazia	7,54	7,53	7,23	6,74	6,16	5,68	4,56	3,93	2,87

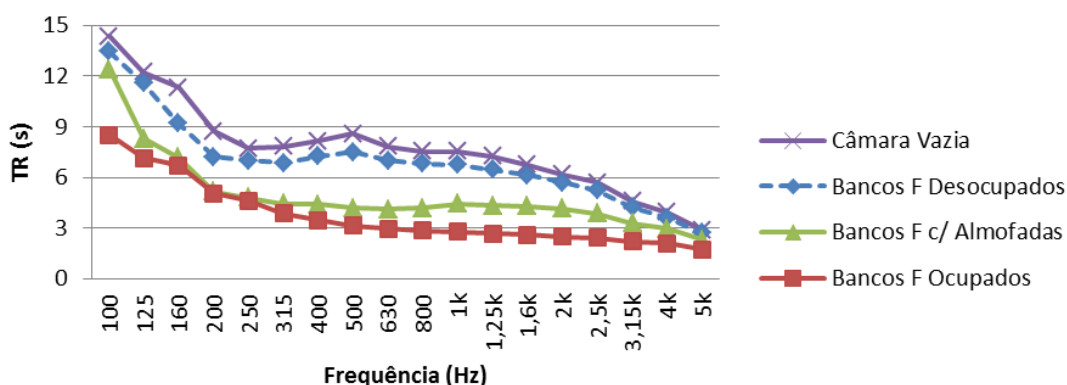


Fig. 4.26 – Valores de tempo de reverberação na câmara reverberante para os bancos tipo F

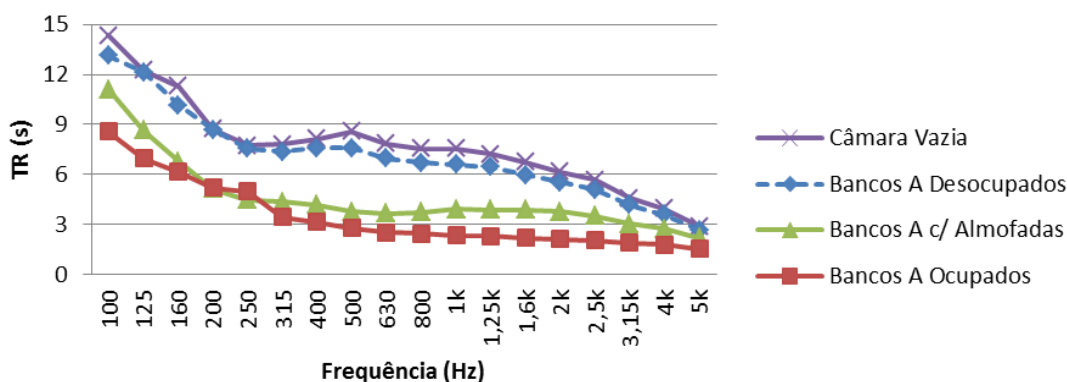


Fig. 4.27 – Valores do tempo de reverberação na câmara reverberante para os bancos tipo A

Quadro 4.6 – Valores de T_1 para os bancos F e A (tempo de reverberação em s)

Frequência (Hz)	Bancos F			Bancos A		
	Desocupados	Ocupados	Com Almofadas	Desocupados	Ocupados	Com Almofadas
100	13,43	8,49	12,40	13,13	8,58	11,11
125	11,58	7,12	8,30	12,14	6,96	8,65
160	9,20	6,70	7,17	10,15	6,13	6,77
200	7,21	5,06	5,16	8,67	5,21	5,12
250	7,01	4,60	4,81	7,53	4,99	4,47
315	6,86	3,86	4,45	7,36	3,44	4,34
400	7,25	3,47	4,39	7,58	3,14	4,17
500	7,50	3,13	4,18	7,58	2,77	3,76
630	6,98	2,97	4,11	6,96	2,53	3,64
800	6,80	2,86	4,19	6,69	2,44	3,74
1000	6,74	2,76	4,43	6,57	2,31	3,91
1250	6,45	2,67	4,34	6,43	2,28	3,87
1600	6,13	2,58	4,29	5,98	2,19	3,86
2000	5,70	2,50	4,13	5,52	2,10	3,75
2500	5,21	2,41	3,86	5,09	2,04	3,52
3150	4,20	2,20	3,29	4,17	1,90	3,02
4000	3,59	2,09	2,94	3,59	1,76	2,72
5000	2,70	1,73	2,29	2,67	1,52	2,17

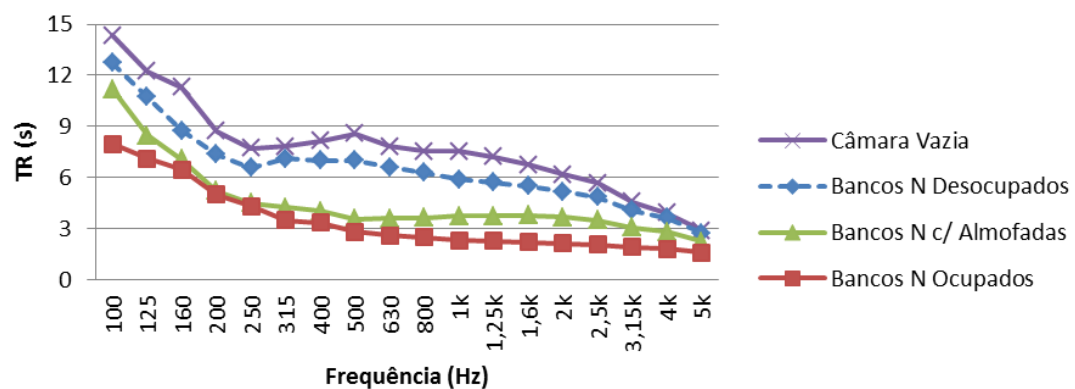


Fig. 4.28 – Valores do tempo de reverberação na câmara reverberante para os bancos tipo N

Quadro 4.7 – Valores de T_1 para os bancos tipo N (tempo de reverberação em s)

Frequência (Hz)	Bancos N		
	Desocupados	Ocupados	Com Almofadas
100	12,72	7,97	11,21
125	10,74	7,11	8,49
160	8,76	6,45	7,06
200	7,34	4,99	5,21
250	6,57	4,30	4,48
315	7,10	3,48	4,23
400	7,01	3,34	4,02
500	6,98	2,80	3,57
630	6,59	2,60	3,61
800	6,30	2,49	3,64
1000	5,90	2,32	3,75
1250	5,71	2,26	3,73
1600	5,50	2,18	3,77
2000	5,18	2,11	3,66
2500	4,86	2,06	3,47
3150	4,05	1,91	3,06
4000	3,61	1,81	2,80
5000	2,73	1,57	2,23

4.3.2. ABSORÇÃO SONORA E SUA DETERMINAÇÃO

Tal como referido no capítulo 4.3.1, a absorção sonora determinada em câmara reverberante resulta de uma medição indirecta, através de valores do tempo de reverberação. As áreas de absorção sonora equivalente (A_i) em m^2 podem ser determinadas segundo a expressão 4.7, para cada banda de frequência nos casos de câmara reverberante vazia ou com a amostra no seu interior, respectivamente A_0 e A_1 , analogamente a T_0 e T_1 [47].

$$A_i = \frac{55,3V}{cT_i} - 4Vm_i \quad (4.7)$$

Onde:

- V – volume da câmara reverberante (m^3);
- c – velocidade de propagação do som no ar (m/s);

- T_i – tempo de reverberação na situação i (s);
- m – coeficiente de atenuação do ar (m^{-1}).

Em relação à velocidade de propagação do som no ar (c) e ao coeficiente de atenuação do ar (m), apresentaram-se em 4.1.3 as formas da sua determinação. Os tempos de reverberação a utilizar no cálculo de A_0 e A_1 apresentam-se nos quadros 4.5 e 4.6.

A área de absorção sonora equivalente da amostra (A_T), em m^2 , é determinada pela diferença entre a área de absorção sonora equivalente da câmara reverberante com e sem o provete em estudo (expressão 4.8). Os valores obtidos para A_0 encontram-se no quadro 4.8 e os valores de A_1 e A_T apresentam-se no anexo II.

$$A_T = A_1 - A_0 \quad (4.8)$$

Foram feitas três análises distintas:

- Absorção sonora por objecto (A/banco) devido às amostras se tratarem de elementos discretos;
- Absorção sonora por área real de ocupação S (A/m^2) por se tratar de um conjunto de objectos usados regularmente em grupo na sua aplicação prática;
- Absorção sonora por área acrescida S_+ ($A/m^2_{\text{acrescido}}$) de forma a ter em conta o efeito acústico da presença de audiências, isto é, com uma margem lateral suplementar (de 0,5 m de largura).

A análise de absorção sonora por objecto permite posteriormente verificar quantos bancos seriam necessários para atingir determinada absorção sonora global do espaço se os bancos forem usados em número reduzido e com espaçamento razoável.

A última análise considerada (referente a $A/m^2_{\text{acrescido}}$) pretende ter em conta o fictício acréscimo de área de absorção da audiência quando existe disposição “apertada” dos bancos, considerando para o efeito uma área adicional relativa a faixas de 0,5 m a toda a volta do provete (figura 4.29) cf. Beranek [50]. Uma vez que área do provete é medida em planta, esta abordagem permite considerar o “acréscimo de área” que existe em altura.

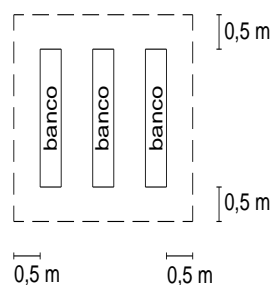


Fig. 4.29 – Esquema representativo da área considerada na abordagem absorção sonora por $m^2_{\text{acrescido}}$ Cf. Beranek [50]

Como análise prévia, no quadro 4.8 apresenta-se e verifica-se as áreas de absorção sonora determinadas na câmara reverberante vazia em relação às áreas de absorção máximas permitidas na norma NP EN ISO 354 [47].

Quadro 4.8 – Áreas máximas de absorção sonora A na câmara reverberante permitidas pela NP EN ISO 354 [47] e área de absorção sonora obtida no ensaio com a câmara reverberante vazia (A_0)

Frequência (Hz)	Área Máxima de Absorção Sonora para $V=217 \text{ m}^3$ (m^2) cf. [47]	Área de Absorção Sonora para Câmara Reverberante Vazia (m^2)	Obs.
100	6,9	2,5	OK
125	6,9	2,9	OK
160	6,9	3,1	OK
200	6,9	4,0	OK
250	6,9	4,5	OK
315	6,9	4,5	OK
400	6,9	4,3	OK
500	6,9	4,1	OK
630	6,9	4,5	OK
800	6,9	4,6	OK
1000	7,4	4,6	OK
1250	7,9	4,8	OK
1600	8,4	5,2	OK
2000	10,0	5,6	OK
2500	11,1	6,1	OK
3150	12,7	7,5	OK
4000	13,7	8,7	OK
5000	14,8	11,9	OK

Se as amostras deste estudo se tratassem de elementos absorventes planos, o resultado deveria ser expresso em coeficiente de absorção sonora (α_s). Este coeficiente é determinado através da expressão 4.9 onde S é a área do provete de ensaio em m^2 . O coeficiente de absorção sonora α é adimensional e deve ser arredondado à centésima [47]. Os valores de α_s resultantes da equação 4.9, e determinados em laboratório, podem apresentar valores ligeiramente superiores à unidade, apesar de pela relação entre energias absorvidas e incidentes tal não ser teoricamente possível, como já referido em 2.2.1.

$$\alpha_s = \frac{A_T}{S} \quad (4.9)$$

4.4. ANÁLISE DE RESULTADOS

4.4.1. ABSORÇÃO SONORA POR BANCO

Tal como referido em 4.3.2, com elementos discretos é usual apresentar-se os resultados da absorção sonora por elemento. Uma vez que neste estudo foram utilizados três elementos de cada tipo de banco, obtém-se a área de absorção equivalente por objecto, dividindo a área de absorção equivalente total (A_T) por 3 (figuras 4.30 a 4.32 e quadros 4.9 e 4.10).

Como se pode observar nas figuras 4.30 a 4.32, a utilização das almofadas consegue uma melhoria mais significativa nas médias frequências (400-800 Hz). No entanto, a ocupação dos bancos é claramente a situação que leva a uma maior absorção sonora. Apesar desta situação apresentar bons resultados tanto nas médias como nas altas frequências, estes são mais significativos nas altas.

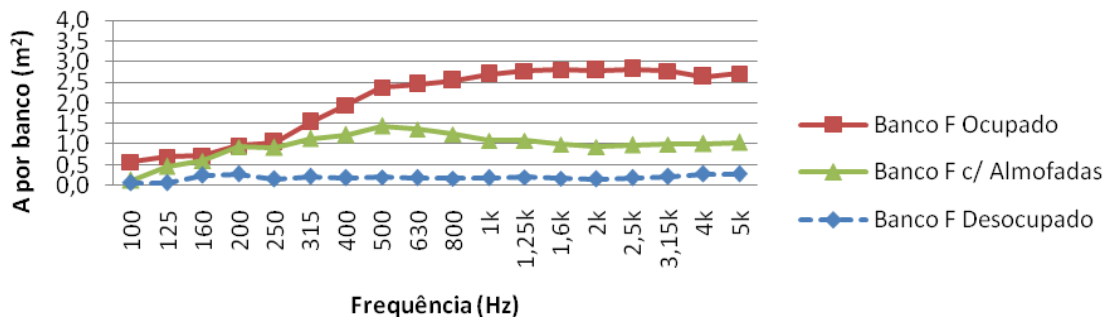


Fig. 4.30 – Absorção sonora por banco do tipo F

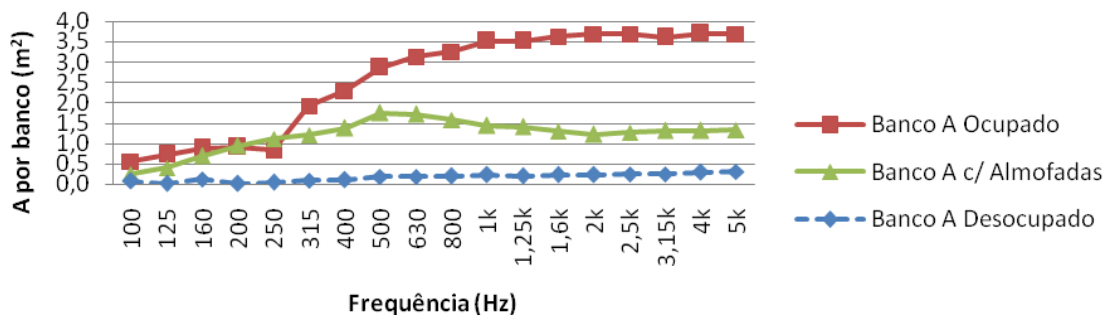


Fig. 4.31 – Absorção sonora por banco do tipo A

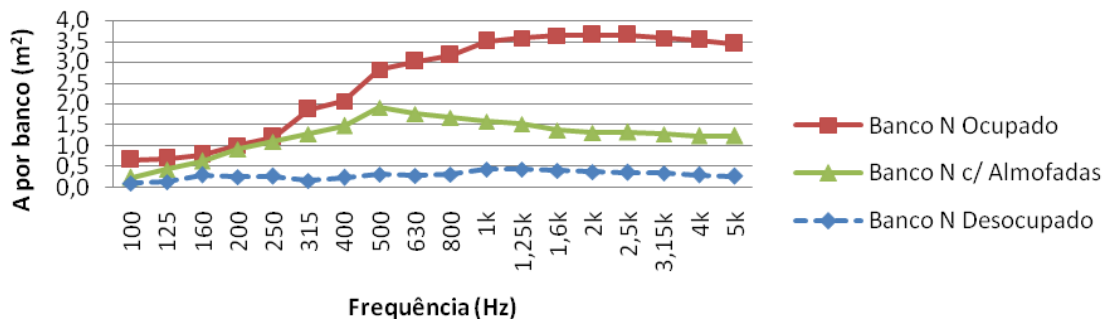


Fig. 4.32 – Absorção sonora por banco do tipo N

Quadro 4.9 – Valores de absorção sonora por banco (A/banco), para os bancos tipo F e A (m²)

Frequência (Hz)	Banco F			Banco A		
	Desocupado	Ocupado	Com almofadas	Desocupado	Ocupado	Com almofadas
100	0,055	0,563	0,127	0,075	0,549	0,237
125	0,054	0,688	0,454	0,007	0,727	0,398
160	0,237	0,712	0,598	0,118	0,875	0,695
200	0,280	0,971	0,926	0,006	0,906	0,945
250	0,155	1,033	0,920	0,040	0,834	1,106
315	0,207	1,536	1,133	0,091	1,911	1,199
400	0,177	1,943	1,231	0,108	2,290	1,370
500	0,197	2,375	1,439	0,179	2,860	1,752
630	0,182	2,452	1,356	0,188	3,135	1,723
800	0,168	2,543	1,243	0,197	3,256	1,580
1000	0,184	2,688	1,091	0,228	3,511	1,442
1250	0,195	2,770	1,079	0,201	3,517	1,408
1600	0,172	2,806	0,993	0,222	3,623	1,295
2000	0,155	2,790	0,937	0,222	3,688	1,225
2500	0,185	2,811	0,974	0,237	3,683	1,266
3150	0,219	2,768	0,994	0,239	3,611	1,309
4000	0,280	2,638	1,005	0,287	3,698	1,321
5000	0,269	2,715	1,038	0,313	3,679	1,334

Nas figuras 4.33 a 4.35 apresentam-se os gráficos comparativos dos resultados entre os três tipos de bancos ensaiados. Estes gráficos apresentam-se em escalas verticais diferentes para melhor se adaptarem à situação a analisar.

De acordo com a figura 4.33 observa-se que a absorção sonora dos bancos desocupados é em geral baixa ($\approx 0,25$ m²/banco) mas são os bancos do tipo N os que apresentam maior absorção sonora na generalidade das frequências (cerca do dobro). Isto deve-se ao facto dos bancos do tipo N serem os bancos mais “pesados” dos três tipos ensaiados e são também os que apresentam menor área de aberturas, tendo portanto maior área a absorver. É nas baixas frequências que o banco do tipo A apresenta menor absorção sonora comparativamente aos restantes tipos de bancos ensaiados. O banco do tipo A é, comparativamente aos restantes, o que tem menor área de material.

Verifica-se que a absorção sonora nas baixas frequências para a situação de banco ocupado (figura 4.34) e banco com almofadas (figura 4.35) é muito próxima entre si em todos os tipos de bancos estudados. O banco do tipo F apresenta a menor absorção sonora para as médias e altas frequências na

situação de banco ocupado e banco com almofadas pois a sua área de absorção, quando comparada com os restantes é inferior. Lembra-se que os bancos do tipo F são os mais pequenos em comprimento dos três tipos ensaiados (Quadro 4.3), cabendo por isso menos pessoas e almofadas.

Pela análise das figuras 4.34 a 4.36 verifica-se ainda que a situação de bancos ocupados, para as altas frequências, apresenta quase o triplo de absorção sonora quando comparado com a situação de bancos com almofadas.

Quadro 4.10 – Valores de absorção sonora por banco (A/banco), para os bancos tipo N (m²)

Frequência (Hz)	Banco N		
	Desocupado	Ocupado	Com almofadas
100	0,075	0,653	0,237
125	0,007	0,691	0,398
160	0,118	0,780	0,695
200	0,006	1,004	0,945
250	0,040	1,206	1,106
315	0,091	1,865	1,199
400	0,108	2,068	1,370
500	0,179	2,824	1,752
630	0,188	3,018	1,723
800	0,197	3,159	1,580
1000	0,228	3,495	1,442
1250	0,201	3,576	1,408
1600	0,222	3,635	1,295
2000	0,222	3,646	1,225
2500	0,237	3,639	1,266
3150	0,239	3,562	1,309
4000	0,287	3,499	1,321
5000	0,313	3,387	1,334

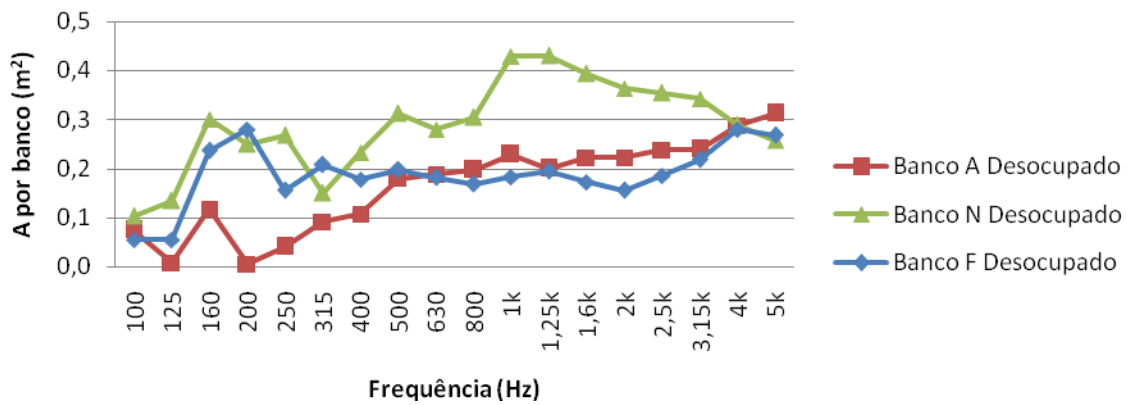


Fig. 4.33 – Absorção sonora por banco desocupado (A, N e F)

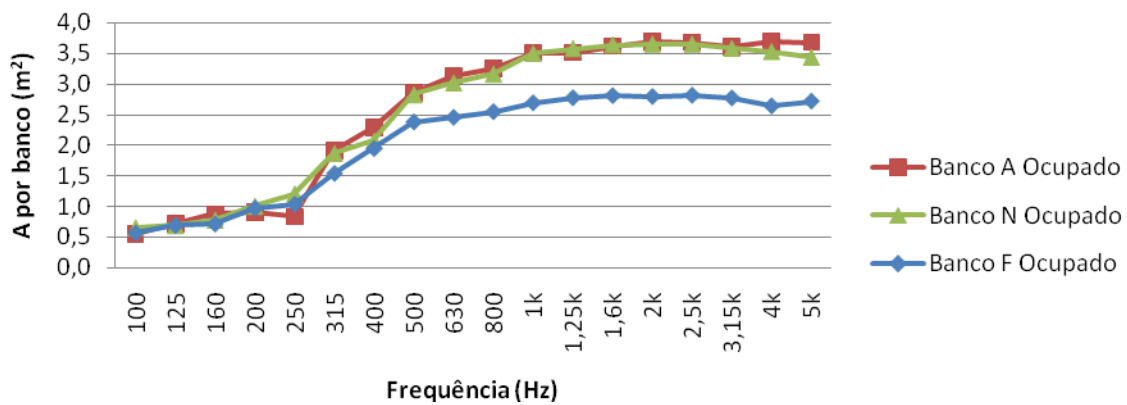


Fig. 4.34 – Absorção sonora por banco ocupado (A, N e F)

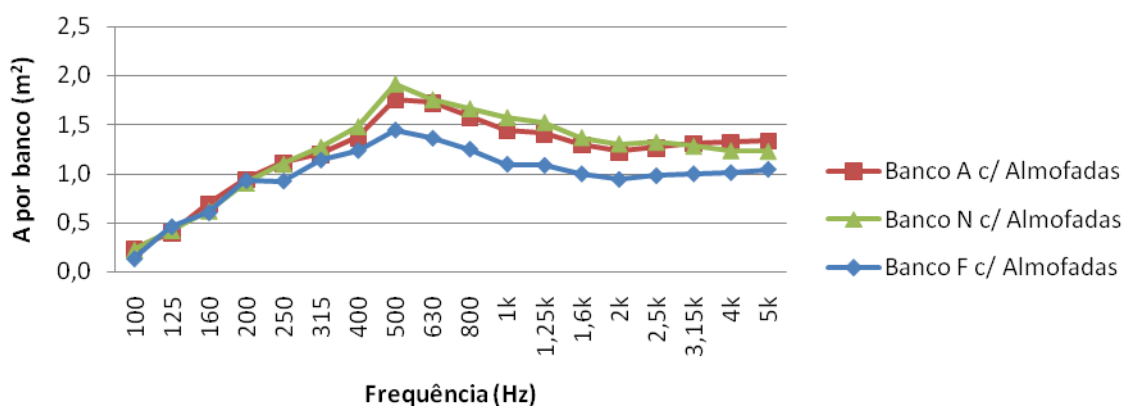


Fig. 4.35 – Absorção sonora por banco com almofadas (A, N e F)

Na figura 4.36 (quadro 4.11) apresenta-se a relação entre os valores médios obtidos dos três tipos de bancos ensaiados, para a situação de bancos ocupados, desocupados e c/ almofadas.

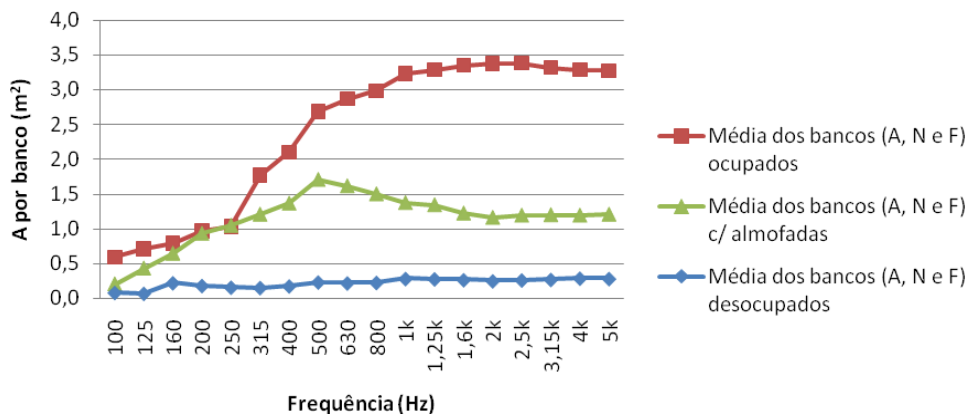


Fig. 4.36 – Absorção sonora por bancos, média dos três tipos de banco (A, N e F)

No quadro 4.12 e figura 4.37, apresentam-se as variações de absorção sonora por banco ($\Delta A/\text{banco}$) relativamente a três situações:

- Efeito da ocupação: variação de absorção sonora do banco ocupado relativamente ao banco vazio ($\Delta A_{,o} = A/\text{banco}(\text{ocupado}) - A/\text{banco}(\text{desocupado})$);
- Efeito só das almofadas: variação de absorção sonora do banco com almofadas relativamente ao banco vazio ($\Delta A_{,a} = A/\text{banco}(\text{almofadas}) - A/\text{banco}(\text{desocupado})$);
- Efeito da ocupação vs almofadas: variação de absorção sonora do banco ocupado relativamente ao banco com almofadas ($\Delta A_{,o-a} = A/\text{banco}(\text{ocupado}) - A/\text{banco}(\text{almofadas})$).

Estas variações são obtidas através da subtração da absorção sonora obtida para os bancos ocupados ou com almofadas, consoante o caso, pela dos bancos desocupados e pela subtração da absorção sonora obtida para bancos com almofadas pela absorção sonora dos bancos ocupados.

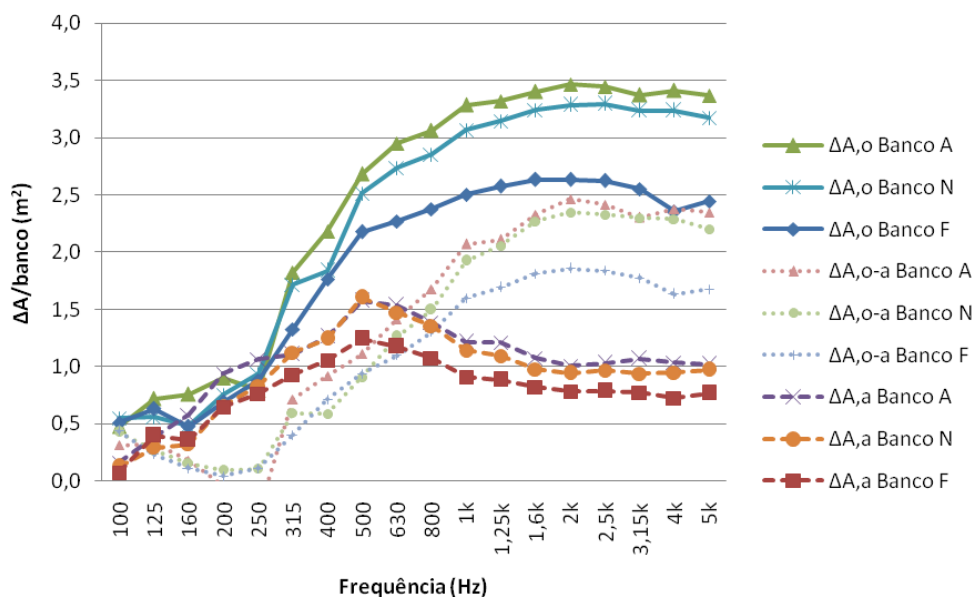


Fig. 4.37 – Variação de absorção sonora por banco, ocupado ($\Delta A_{,o}$) ou com almofadas ($\Delta A_{,a}$) em relação ao banco desocupado e ocupado em relação a banco com almofadas ($\Delta A_{,o-a}$)

Quadro 4.11 – Média aritmética dos três tipos de bancos para bancos desocupados, ocupados, e com almofadas

Frequência (Hz)	A/banco (m ²)		
	Desocupado	Ocupado	Com Almofadas
100	0,08	0,59	0,20
125	0,07	0,70	0,43
160	0,22	0,79	0,64
200	0,18	0,96	0,93
250	0,15	1,02	1,04
315	0,15	1,77	1,20
400	0,17	2,10	1,36
500	0,23	2,69	1,70
630	0,22	2,87	1,61
800	0,22	2,99	1,50
1000	0,28	3,23	1,37
1250	0,28	3,29	1,34
1600	0,26	3,35	1,22
2000	0,25	3,38	1,16
2500	0,26	3,38	1,19
3150	0,27	3,32	1,19
4000	0,29	3,29	1,19
5000	0,28	3,28	1,20

Pretende-se com esta abordagem verificar o ganho de absorção sonora por banco que se obtém nas três situações. Tal como verificado, o ganho de absorção sonora é mais significativo na situação de bancos ocupados. Tal como já foi referido, o banco do tipo A é o mais leve e com mais aberturas, como tal, quando ocupado ou com almofadas a variação de absorção sonora é maior. No caso do banco do tipo F, apesar de este banco não ser o que apresenta menor massa, é este banco que apresenta menor influência na absorção para a situação de banco ocupado e com almofadas. Uma das causas para tal, como já foi referido, neste tipo de banco na realização dos ensaios com pessoas e almofadas, foram necessários menos elementos, devido ao seu menor comprimento (2,0 m face a 2,8 m dos restantes bancos).

Quadro 4.12 – Valores da variação de absorção sonora (ΔA) face aos bancos desocupados para bancos ocupados ($\Delta A,o$), para os bancos com almofadas ($\Delta A,a$) e entre ocupados e com almofadas ($\Delta A,o-a$), para os bancos dos tipos F, A e N

Frequência (Hz)	$\Delta A,o$			$\Delta A,a$			$\Delta A,o-a$		
	Efeito da ocupação			Efeito só das almofadas			Efeito da ocupação vs. Almofadas		
	Banco F	Banco A	Banco N	Banco F	Banco A	Banco N	Banco F	Banco A	Banco N
100	0,508	0,474	0,550	0,072	0,162	0,125	0,436	0,312	0,426
125	0,633	0,719	0,557	0,400	0,390	0,290	0,233	0,329	0,268
160	0,475	0,757	0,480	0,361	0,577	0,323	0,114	0,180	0,157
200	0,691	0,900	0,755	0,646	0,939	0,656	0,045	-0,039	0,099
250	0,877	0,793	0,938	0,765	1,066	0,830	0,113	-0,273	0,108
315	1,329	1,820	1,715	0,926	1,108	1,121	0,403	0,712	0,595
400	1,766	2,182	1,835	1,054	1,262	1,246	0,712	0,920	0,590
500	2,178	2,681	2,512	1,241	1,572	1,602	0,936	1,109	0,910
630	2,270	2,948	2,737	1,174	1,535	1,473	1,096	1,412	1,264
800	2,375	3,059	2,853	1,075	1,383	1,357	1,300	1,676	1,496
1000	2,504	3,283	3,065	0,907	1,213	1,143	1,597	2,069	1,922
1250	2,575	3,316	3,146	0,885	1,208	1,093	1,690	2,109	2,053
1600	2,633	3,401	3,242	0,820	1,073	0,974	1,813	2,328	2,268
2000	2,635	3,466	3,286	0,781	1,003	0,942	1,854	2,463	2,345
2500	2,626	3,446	3,293	0,788	1,029	0,968	1,838	2,417	2,325
3150	2,549	3,372	3,235	0,775	1,069	0,939	1,774	2,302	2,297
4000	2,359	3,411	3,237	0,726	1,034	0,947	1,633	2,377	2,290
5000	2,446	3,367	3,174	0,770	1,021	0,971	1,677	2,345	2,203

4.4.2. ABSORÇÃO SONORA POR M^2

Uma vez que este tipo de elementos se encontra usualmente distribuído de forma regular numa igreja, e não isolado, tal como referido em 4.3.2, é também necessário analisar a absorção sonora dividindo a área de absorção sonora equivalente total (A_T) pela área ocupada pelo provete em planta (S). Nos quadros 4.13 e 4.14 e nas figuras 4.38 a 4.40 apresentam-se os resultados obtidos. Nesta abordagem verifica-se que para a situação em que os bancos se encontram ocupados os valores obtidos são elevados, isto é, superiores a 1. Tal poderá dever-se ao facto de a área do provete considerada se manter (S), quando na realidade a área acusticamente usada ser superior devido à contabilização das pessoas. Refere-se que nesta abordagem não há obrigação física de se obter valores ≤ 1 pois não se trata de um coeficiente de absorção sonora, α .

Quadro 4.13 – Valores de absorção sonora por m² (A/m²), para os bancos tipo F e A

Frequência (Hz)	Bancos F			Bancos A		
	Desocupados	Ocupados	Com almofadas	Desocupados	Ocupados	Com almofadas
100	0,036	0,365	0,083	0,030	0,218	0,094
125	0,035	0,446	0,295	0,003	0,288	0,158
160	0,154	0,462	0,388	0,047	0,347	0,276
200	0,182	0,629	0,600	0,002	0,359	0,375
250	0,101	0,670	0,597	0,016	0,331	0,439
315	0,135	0,996	0,735	0,036	0,758	0,476
400	0,115	1,260	0,798	0,043	0,909	0,544
500	0,128	1,540	0,933	0,071	1,135	0,695
630	0,118	1,590	0,879	0,074	1,244	0,684
800	0,109	1,649	0,806	0,078	1,292	0,627
1000	0,119	1,743	0,707	0,091	1,393	0,572
1250	0,126	1,796	0,700	0,080	1,396	0,559
1600	0,112	1,820	0,644	0,088	1,438	0,514
2000	0,101	1,810	0,607	0,088	1,464	0,486
2500	0,120	1,823	0,631	0,094	1,461	0,502
3150	0,142	1,795	0,644	0,095	1,433	0,519
4000	0,181	1,711	0,652	0,114	1,468	0,524
5000	0,174	1,761	0,673	0,124	1,460	0,529

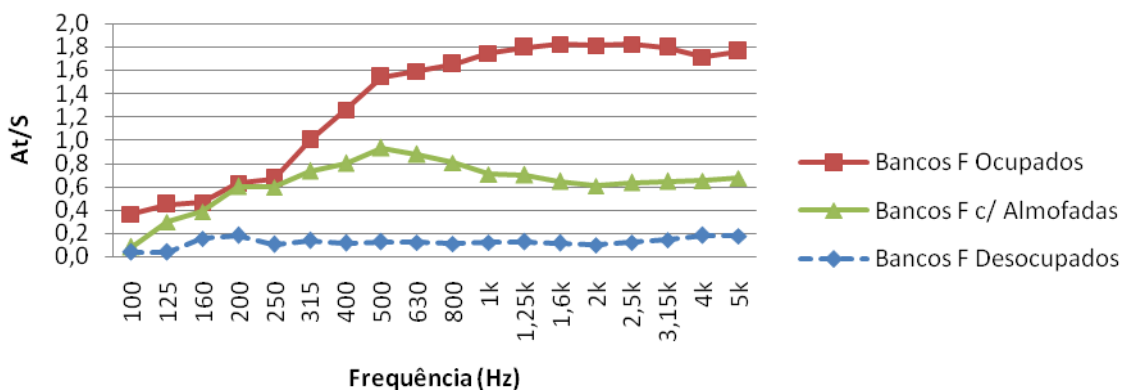


Fig. 4.38 – Absorção sonora por área S de provete, dos bancos F

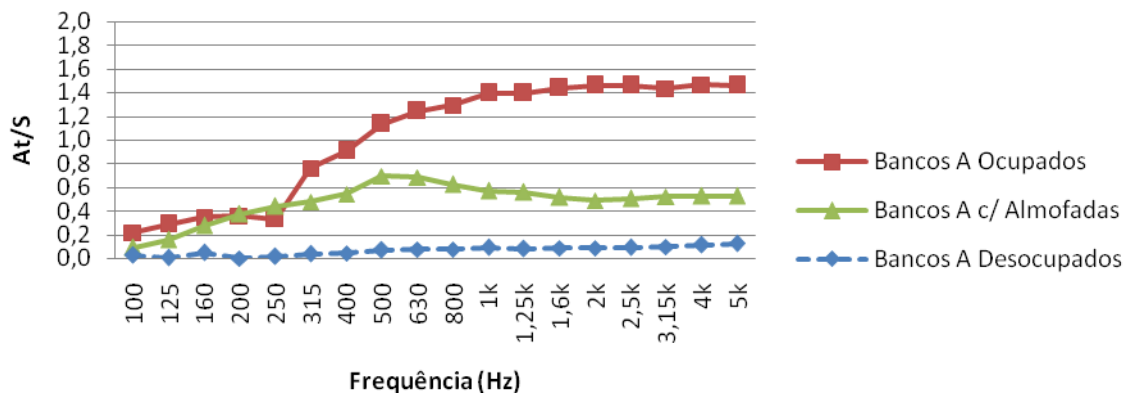


Fig. 4.39 – Absorção sonora por área S do provete, dos bancos A

Quadro 4.14 – Valores de absorção sonora por m^2 (A/m^2), para os bancos do tipo N

Frequência (Hz)	Bancos N		
	Desocupados	Ocupados	Com almofadas
100	0,048	0,302	0,105
125	0,062	0,319	0,196
160	0,139	0,360	0,288
200	0,115	0,464	0,418
250	0,124	0,557	0,507
315	0,070	0,861	0,587
400	0,108	0,955	0,683
500	0,144	1,303	0,883
630	0,129	1,393	0,809
800	0,141	1,457	0,767
1000	0,198	1,613	0,726
1250	0,198	1,650	0,703
1600	0,182	1,678	0,631
2000	0,168	1,684	0,602
2500	0,163	1,683	0,610
3150	0,158	1,651	0,591
4000	0,133	1,627	0,570
5000	0,119	1,584	0,567

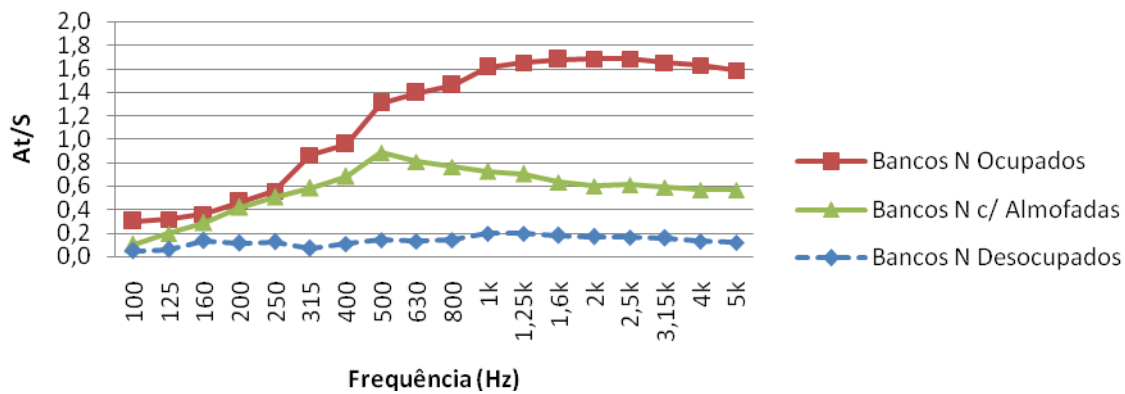


Fig. 4.40 – Absorção sonora por área S do provete, dos bancos N

Assim como na abordagem de absorção sonora por banco (A/banco), no capítulo 4.4.1, nesta abordagem de absorção sonora por m^2 (A_T/S), apresentam-se nas figuras 4.41 a 4.43 gráficos comparativos dos resultados entre os três tipos de bancos ensaiados. Mais uma vez estes gráficos apresentam-se com escalas verticais diferentes para facilitar o processo de análise.

A área ocupada pela amostra dos bancos tipo F é a menor dos três tipos em estudo pelo que a área de absorção sonora equivalente, também menor que para os outros dois tipos de bancos, é dividida por uma área menor do que as restantes. Esta diferença nas abordagens é suficiente para que quando analisada por m^2 se verifique que é o banco tipo F que mais absorve. A mesma explicação é válida para a diferença nas variações, uma vez que nesta abordagem não é contabilizada a unidade mas sim a área ocupada.

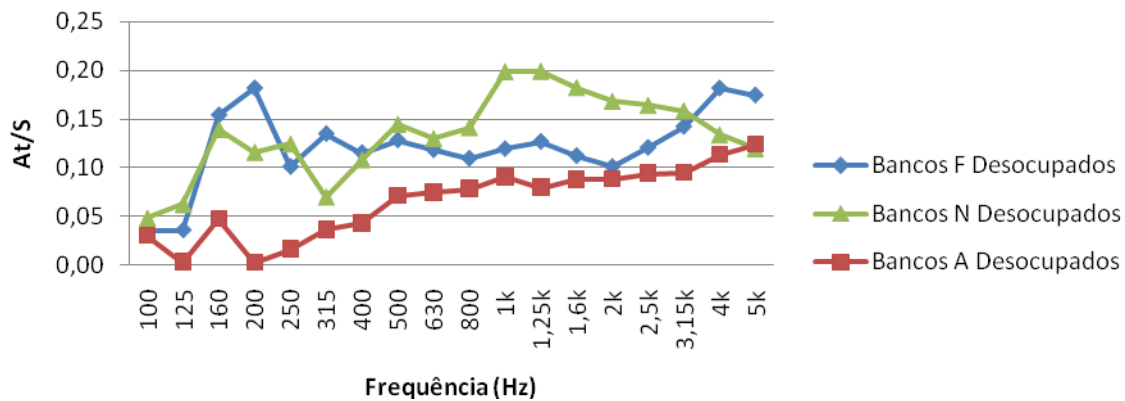


Fig. 4.41 – Absorção sonora por área S do provete, dos bancos desocupados (F, N e A)

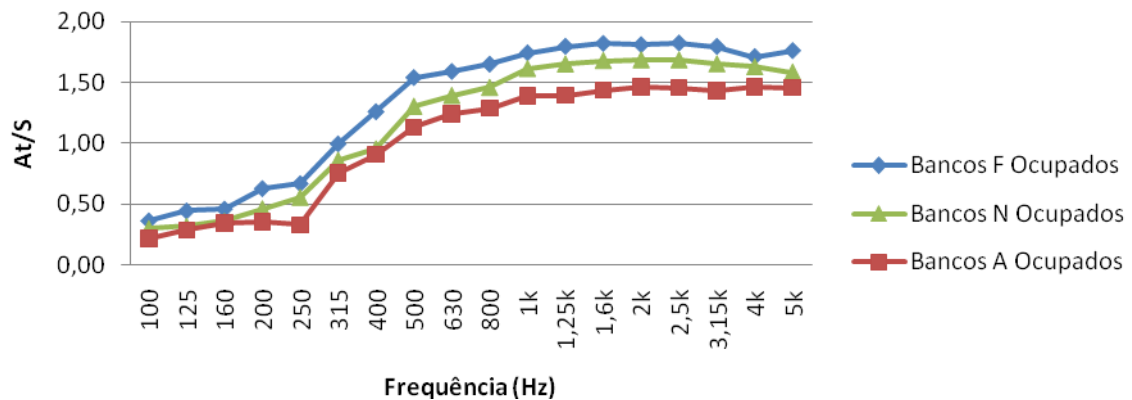


Fig. 4.42 – Absorção sonora por área S do provete, dos bancos ocupados (F, N e A)

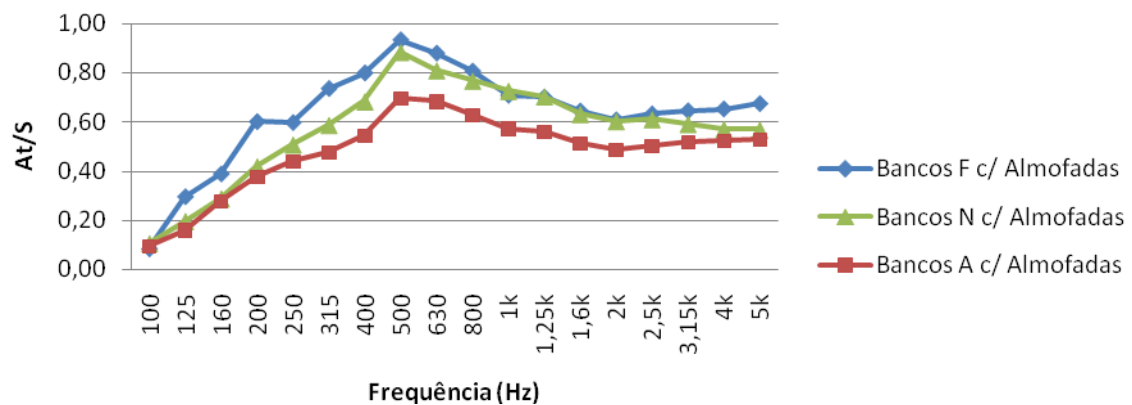


Fig. 4.43 – Absorção sonora por área S do provete, dos bancos com almofadas (F, N e A)

Na figura 4.44 (quadro 4.15) apresenta-se, tal como na abordagem anterior, a relação entre os valores médios obtidos dos três tipos de bancos ensaiados, para as três situações analisadas.

Pela observação desta figura (figura 4.44) verifica-se que na situação de bancos ocupados a absorção sonora por m^2 média ao longo da frequência assume três ramos distintos. No primeiro ramo, até cerca dos 250 Hz, a absorção sonora assume valores muito próximos dos 0,4. No segundo ramo, dos 250 Hz aos 630 Hz, os valores da absorção sonora por m^2 crescem até cerca dos 1,4, estabilizando no terceiro ramo (a partir dos 800 Hz) em valores da ordem dos 1,4 a 1,8.

Para a situação de bancos com almofadas verifica-se um primeiro ramo crescente até aos 500 Hz, atingindo um valor de aproximadamente 0,8, decrescendo, num segundo ramo, até um valor próximo dos 0,6, a partir dos 1,6 kHz, mantendo-se nessa gama de valores até aos 5 kHz. Por último, verifica-se que para a situação de bancos desocupados, os valores mantêm-se muito próximos dos 0,1 para toda a gama de frequências estudadas.

Na figura 4.45 (e quadro 4.16) apresenta-se um gráfico no qual se podem verificar as variações de absorção sonora (ΔA) nas três seguintes situações:

- Efeito da ocupação: variação de absorção sonora do banco ocupado relativamente ao banco desocupado ($\Delta A/m^2, o = A/m^2(\text{ocupado}) - A/m^2(\text{desocupado})$);
- Efeito só das almofadas: variação de absorção sonora do banco com almofadas relativamente ao banco desocupado ($\Delta A/m^2, a = A/m^2(\text{almofadas}) - A/m^2(\text{desocupado})$);
- Efeito da ocupação *versus* almofadas: variação de absorção sonora do banco ocupado relativamente ao banco com almofadas ($\Delta A/m^2, o-a = A/m^2(\text{ocupado}) - A/m^2(\text{almofadas})$).

Estas variações são obtidas através da subtracção da absorção sonora obtida para os bancos ocupados ou com almofadas, consoante o caso, pela absorção sonora obtida para os bancos desocupados e pela subtracção da absorção sonora obtida para bancos com almofadas pela absorção sonora dos bancos ocupados. No entanto, e contrariamente à abordagem anterior, nesta é contabilizada a área que a amostra ocupa e não só o número de bancos de cada amostra possui, que é o mesmo. Este facto implica uma mudança quer na gama dos valores para a absorção, quer na ordem em que os diferentes tipos de bancos assumem na absorção. Com esta análise torna-se mais perceptível a importância da massa absorvente e da área de aberturas que cada banco possui.

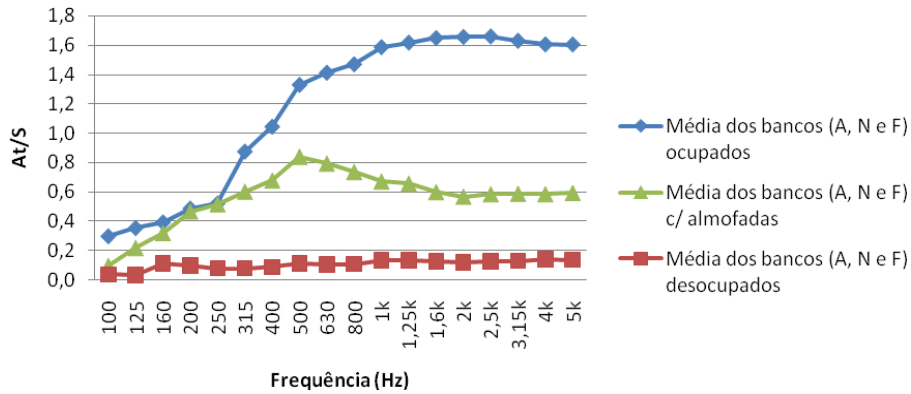


Fig. 4.44 – Absorção sonora média por área do provete dos bancos (F, N e A)

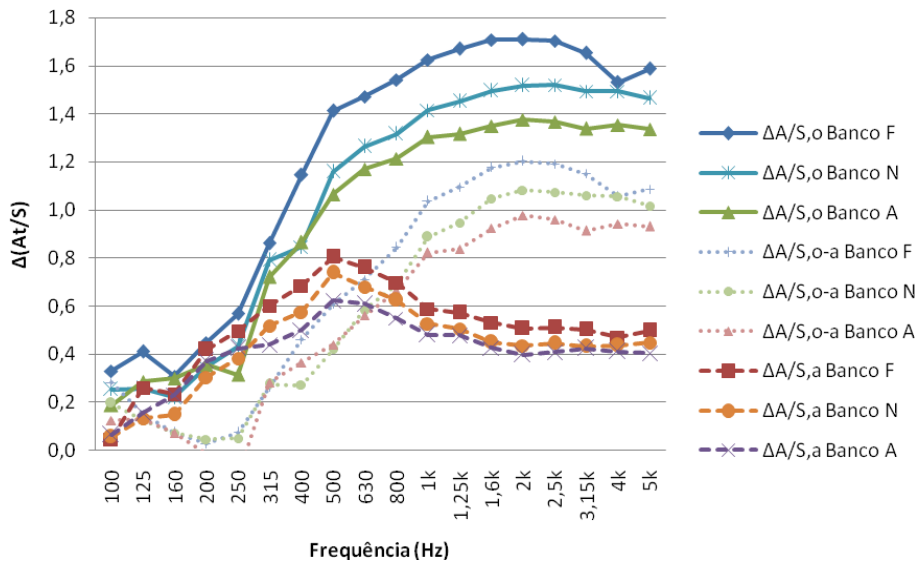


Fig. 4.45 – Variação de absorção sonora por m^2 [$\Delta(A\tau/S)$] dos bancos ocupados ($\Delta A/m^2, o$) ou com almofadas ($\Delta A/m^2, a$) em relação aos bancos desocupados e ocupados em relação aos bancos com almofadas ($\Delta A/m^2, o-a$)

Quadro 4.15 – Média aritmética dos três tipos de bancos para bancos desocupados, ocupados, e com almofadas

Frequência (Hz)	A/m ²		
	Desocupado	Ocupado	Com Almofadas
100	0,04	0,29	0,09
125	0,03	0,35	0,22
160	0,11	0,39	0,32
200	0,10	0,48	0,46
250	0,08	0,52	0,51
315	0,08	0,87	0,60
400	0,09	1,04	0,67
500	0,11	1,33	0,84
630	0,11	1,41	0,79
800	0,11	1,47	0,73
1000	0,14	1,58	0,67
1250	0,13	1,61	0,65
1600	0,13	1,65	0,60
2000	0,12	1,65	0,57
2500	0,13	1,66	0,58
3150	0,13	1,63	0,58
4000	0,14	1,60	0,58
5000	0,14	1,60	0,59

Quadro 4.16 – Valores da variação de absorção sonora para bancos ocupados ($\Delta A/m^2,o$), bancos com almofadas ($\Delta A/m^2,a$) e entre ocupados e com almofadas ($\Delta A/m^2,o-a$), para os bancos dos tipos F, A e N

Frequência (Hz)	$\Delta A/m^2,o$ Efeito da ocupação			$\Delta A/m^2,a$ Efeito só das almofadas			$\Delta A/m^2,o-a$ Efeito ocupação vs. almofadas		
	Banco F	Banco A	Banco N	Banco F	Banco A	Banco N	Banco F	Banco A	Banco N
100	0,329	0,188	0,254	0,047	0,064	0,058	0,283	0,124	0,196
125	0,411	0,285	0,257	0,259	0,155	0,134	0,151	0,131	0,123
160	0,308	0,300	0,221	0,234	0,229	0,149	0,074	0,071	0,072
200	0,448	0,357	0,348	0,419	0,373	0,303	0,029	-0,015	0,046
250	0,569	0,315	0,433	0,496	0,423	0,383	0,073	-0,108	0,050
315	0,862	0,722	0,792	0,600	0,440	0,517	0,261	0,283	0,275
400	1,145	0,866	0,847	0,683	0,501	0,575	0,462	0,365	0,272
500	1,412	1,064	1,159	0,805	0,624	0,739	0,607	0,440	0,420
630	1,472	1,170	1,263	0,761	0,609	0,680	0,711	0,561	0,583
800	1,540	1,214	1,317	0,697	0,549	0,626	0,843	0,665	0,691
1000	1,624	1,303	1,415	0,588	0,481	0,528	1,036	0,821	0,887
1250	1,670	1,316	1,452	0,574	0,479	0,504	1,096	0,837	0,948
1600	1,708	1,350	1,496	0,532	0,426	0,450	1,176	0,924	1,047
2000	1,709	1,376	1,517	0,507	0,398	0,435	1,202	0,977	1,082
2500	1,703	1,367	1,519	0,511	0,408	0,447	1,192	0,959	1,073
3150	1,653	1,338	1,493	0,502	0,424	0,433	1,151	0,914	1,060
4000	1,530	1,354	1,494	0,471	0,410	0,437	1,059	0,943	1,057
5000	1,586	1,336	1,465	0,499	0,405	0,448	1,087	0,931	1,017

4.4.3. ABSORÇÃO SONORA POR M² ACRESCIDO

Realizou-se uma terceira abordagem considerando um acréscimo de área à superfície (S) em planta ocupada pelos três bancos, ou seja, a área de “influência acústica”. Esta área consiste em adicionar uma área relativa a faixas de 0,5 m a toda à volta do provete, como se pode observar na figura 4.29 e 4.20, à área superficial (S) em planta do provete, tal como referido em 4.3.2 [50].

Nos quadros 4.17 e 4.18 apresentam-se os valores obtidos nesta abordagem, que se acompanham nas figuras 4.46 a 4.48.

Quadro 4.17 – Valores de absorção sonora por $m^2_{\text{acrescido}} (S_+)$, para os bancos do tipo F e A

Frequência (Hz)	Bancos F			Bancos A		
	Desocupados	Ocupados	Com almofadas	Desocupados	Ocupados	Com almofadas
100	0,017	0,170	0,038	0,016	0,117	0,051
125	0,016	0,208	0,137	0,002	0,155	0,085
160	0,072	0,215	0,181	0,025	0,187	0,148
200	0,085	0,293	0,279	0,001	0,193	0,202
250	0,047	0,312	0,278	0,009	0,178	0,236
315	0,063	0,464	0,342	0,019	0,408	0,256
400	0,054	0,587	0,372	0,023	0,489	0,292
500	0,060	0,717	0,434	0,038	0,610	0,374
630	0,055	0,740	0,409	0,040	0,669	0,368
800	0,051	0,768	0,375	0,042	0,695	0,337
1000	0,055	0,811	0,329	0,049	0,749	0,308
1250	0,059	0,836	0,326	0,043	0,750	0,301
1600	0,052	0,847	0,300	0,047	0,773	0,276
2000	0,047	0,843	0,283	0,047	0,787	0,261
2500	0,056	0,849	0,294	0,051	0,786	0,270
3150	0,066	0,836	0,300	0,051	0,771	0,279
4000	0,084	0,797	0,304	0,061	0,789	0,282
5000	0,081	0,820	0,314	0,067	0,785	0,285

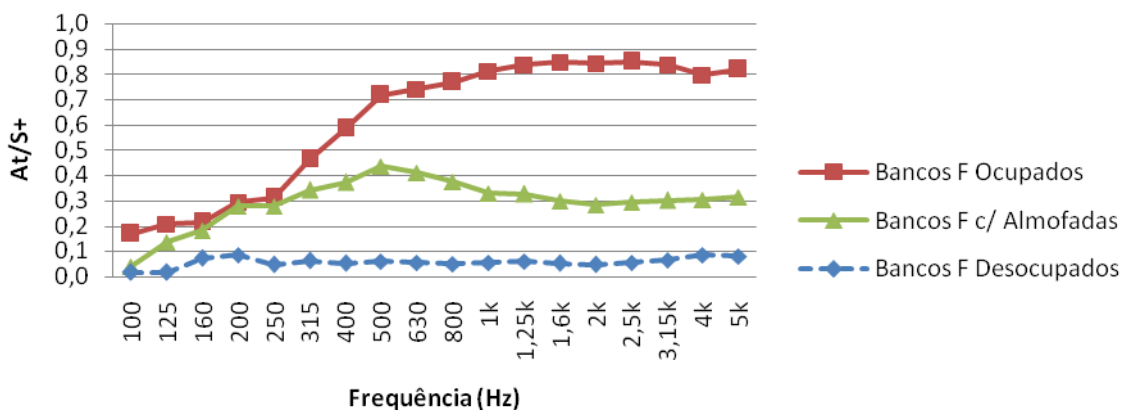


Fig. 4.46 – Absorção sonora por área de “influência acústica” (S_+) dos bancos tipo F

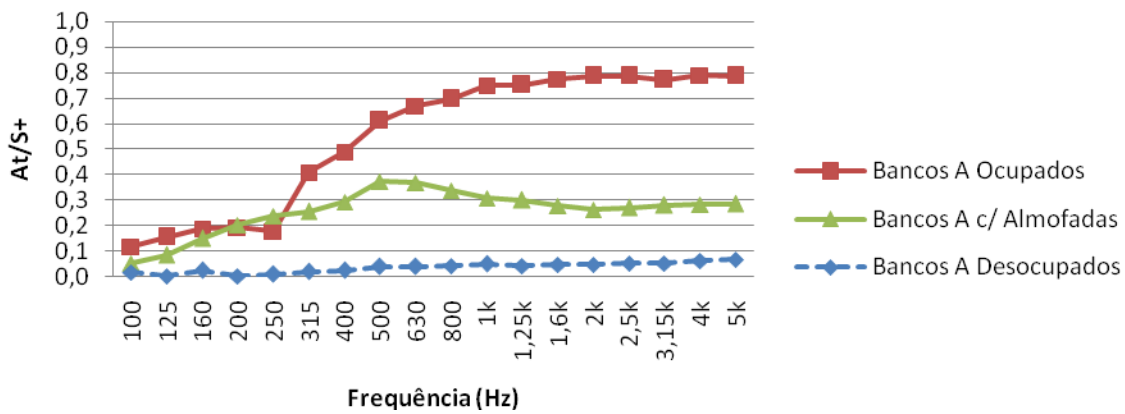


Fig. 4.47 – Absorção sonora por área de “influência acústica” (S_+) dos bancos tipo A

Quadro 4.18 – Valores de absorção sonora por m^2 acrescido (S_+), para os bancos do tipo N

Frequência (Hz)	Bancos N		
	Desocupados	Ocupados	Com almofadas
100	0,025	0,155	0,054
125	0,032	0,164	0,100
160	0,071	0,185	0,148
200	0,059	0,238	0,215
250	0,064	0,286	0,260
315	0,036	0,442	0,301
400	0,055	0,490	0,351
500	0,074	0,670	0,454
630	0,066	0,715	0,416
800	0,072	0,749	0,394
1000	0,102	0,828	0,373
1250	0,102	0,848	0,361
1600	0,093	0,862	0,324
2000	0,086	0,865	0,309
2500	0,084	0,865	0,313
3150	0,081	0,848	0,304
4000	0,068	0,836	0,293
5000	0,061	0,814	0,291

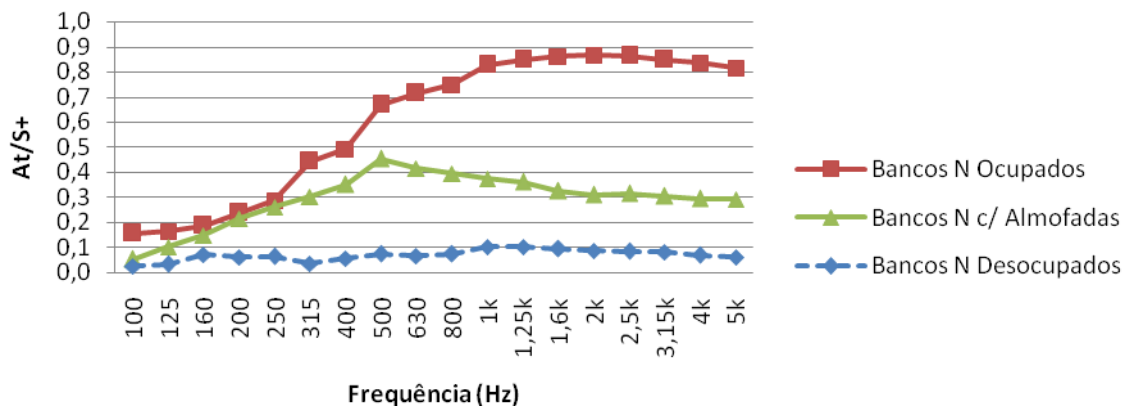


Fig. 4.48 – Absorção sonora por área de “influência acústica” (S_+) dos bancos tipo N

Mais uma vez apresentam-se nas figuras 4.49 a 4.51 os gráficos comparativos dos resultados da absorção sonora por $m^2_{acrescido}$ entre bancos. Estes gráficos apresentam escalas verticais diferentes para melhor se adaptarem à gama de valores obtidos em cada situação em estudo.

Apesar de a gama de valores obtidos nesta abordagem, em termos relativos, as conclusões que se podem retirar daqui são iguais à da abordagem anterior referente à absorção sonora por m^2 .

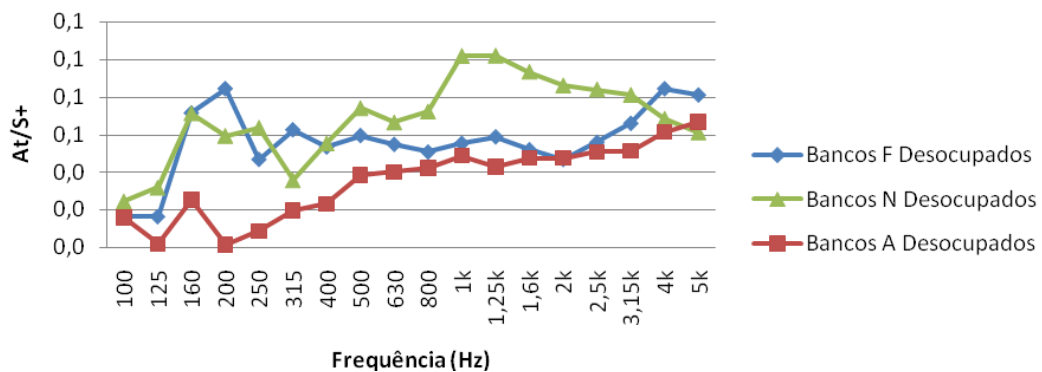


Fig. 4.49 – Absorção sonora por área de “influência acústica” (S_+), dos bancos desocupados (F, N e A)

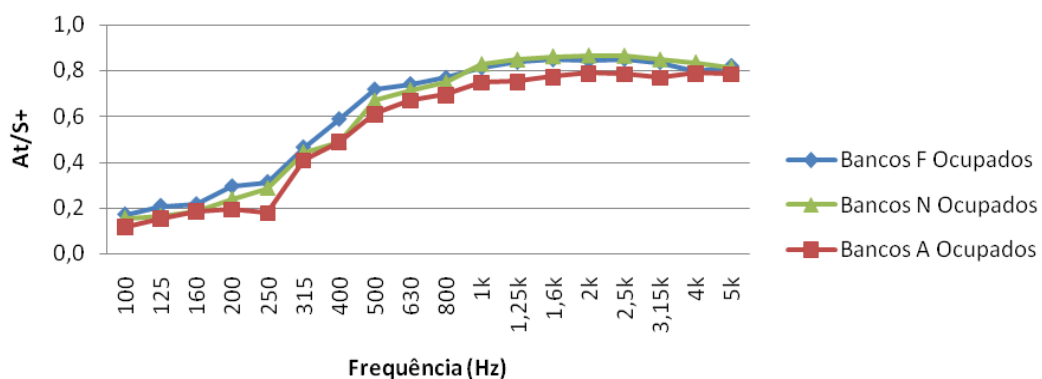


Fig. 4.50 – Absorção sonora por área de “influência acústica” (S_+), dos bancos ocupados (F, N e A)

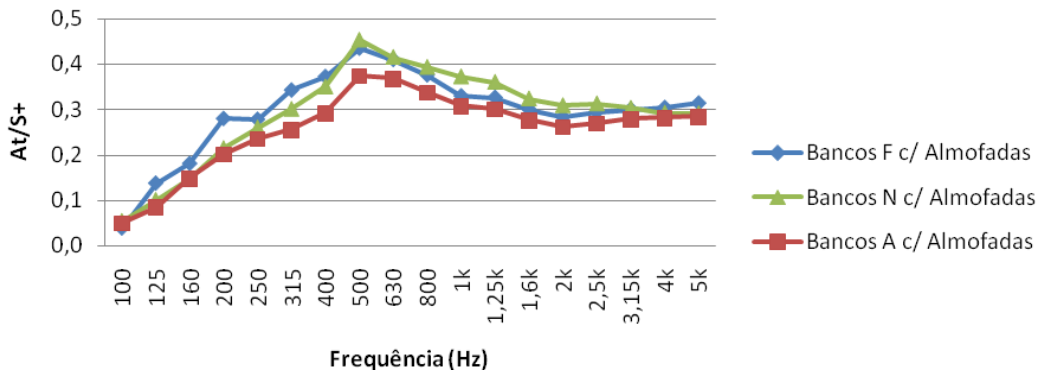


Fig. 4.51 – Absorção sonora por área de “influência acústica” (S_+), dos bancos com almofadas (F, N e A)

A figura 4.52 (quadro 4.19) representa a relação entre os valores médios obtidos dos três tipos de bancos ensaiados, para a situação de bancos desocupados, ocupados e com almofadas. Pela análise desta figura (figura 4.52) verifica-se que na situação de bancos ocupados a absorção sonora por m^2 média ao longo da frequência assume, tal como na abordagem anterior, três ramos distintos. No primeiro ramo, até cerca dos 250 Hz, a absorção sonora assume valores muito próximos dos 0,2. No segundo ramo, dos 250 Hz aos 630 Hz, os valores da absorção sonora por m^2 crescem até cerca dos 0,7, estabilizando no terceiro ramo (a partir dos 800 Hz) em valores da ordem dos 0,7 a 0,8.

Na situação de bancos com almofadas verifica-se um primeiro ramo crescente até aos 500 Hz, atingindo um valor de aproximadamente 0,4, decrescendo, num segundo ramo, até um valor próximo dos 0,3, a partir dos 1,6 kHz, mantendo-se nessa gama de valores até aos 5 kHz. Por último, verifica-se que para a situação de bancos desocupados, os valores mantêm-se muito próximos dos 0,05 para toda a gama de frequências estudadas.

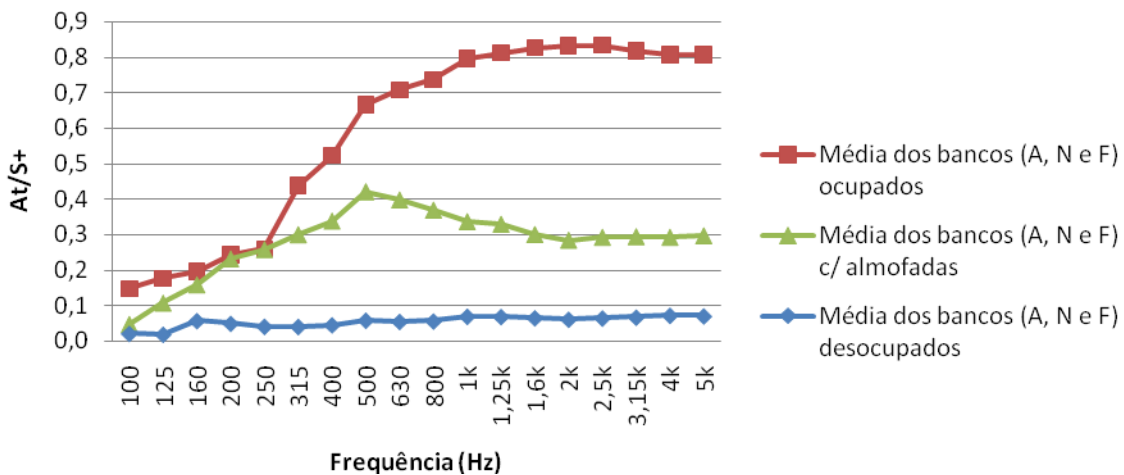


Fig. 4.52 – Absorção sonora média por área de “influência acústica” (S_+) dos bancos (F, N e A)

Quadro 4.19 – Média aritmética dos três tipos de bancos para bancos desocupados, ocupados, e com almofadas

Frequência (Hz)	$A/m^2_{\text{acrescido}}$		
	Desocupado	Ocupado	Com Almofadas
100	0,02	0,15	0,05
125	0,02	0,18	0,11
160	0,06	0,20	0,16
200	0,05	0,24	0,23
250	0,04	0,26	0,26
315	0,04	0,44	0,30
400	0,04	0,52	0,34
500	0,06	0,67	0,42
630	0,05	0,71	0,40
800	0,06	0,74	0,37
1000	0,07	0,80	0,34
1250	0,07	0,81	0,33
1600	0,06	0,83	0,30
2000	0,06	0,83	0,28
2500	0,06	0,83	0,29
3150	0,07	0,82	0,29
4000	0,07	0,81	0,29
5000	0,07	0,81	0,30

Na figura 4.53 (e quadro 4.20) apresenta-se um gráfico no qual se podem verificar as variações de absorção sonora (ΔA) nas três seguintes situações:

- Efeito da ocupação: variação de absorção sonora do banco ocupado relativamente ao banco desocupado ($\Delta A/m^2_{\text{acrescido},o} = A/m^2_{\text{acrescido}}(\text{ocupado}) - A/m^2_{\text{acrescido}}(\text{desocupado})$);
- Efeito só das almofadas: variação de absorção sonora do banco com almofadas relativamente ao banco desocupado ($\Delta A/m^2_{\text{acrescido},a} = A/m^2_{\text{acrescido}}(\text{almofadas}) - A/m^2_{\text{acrescido}}(\text{desocupado})$);
- Efeito da ocupação *versus* almofadas: variação de absorção sonora do banco ocupado relativamente ao banco com almofadas ($\Delta A/m^2_{\text{acrescido},o-a} = A/m^2_{\text{acrescido}}(\text{ocupado}) - A/m^2_{\text{acrescido}}(\text{almofadas})$).

Estas variações são obtidas através da subtracção da absorção sonora obtida para os bancos ocupados ou com almofadas, consoante o caso, pela absorção sonora obtida para os bancos desocupados e pela subtracção da absorção sonora obtida para bancos com almofadas pela absorção sonora dos bancos ocupados. Nesta abordagem é contabilizada a área que a amostra ocupa, contabilizando ainda um acréscimo de área pelos motivos já explicados. Este facto implica uma mudança na gama dos valores para a absorção sonora relativamente à abordagem anterior.

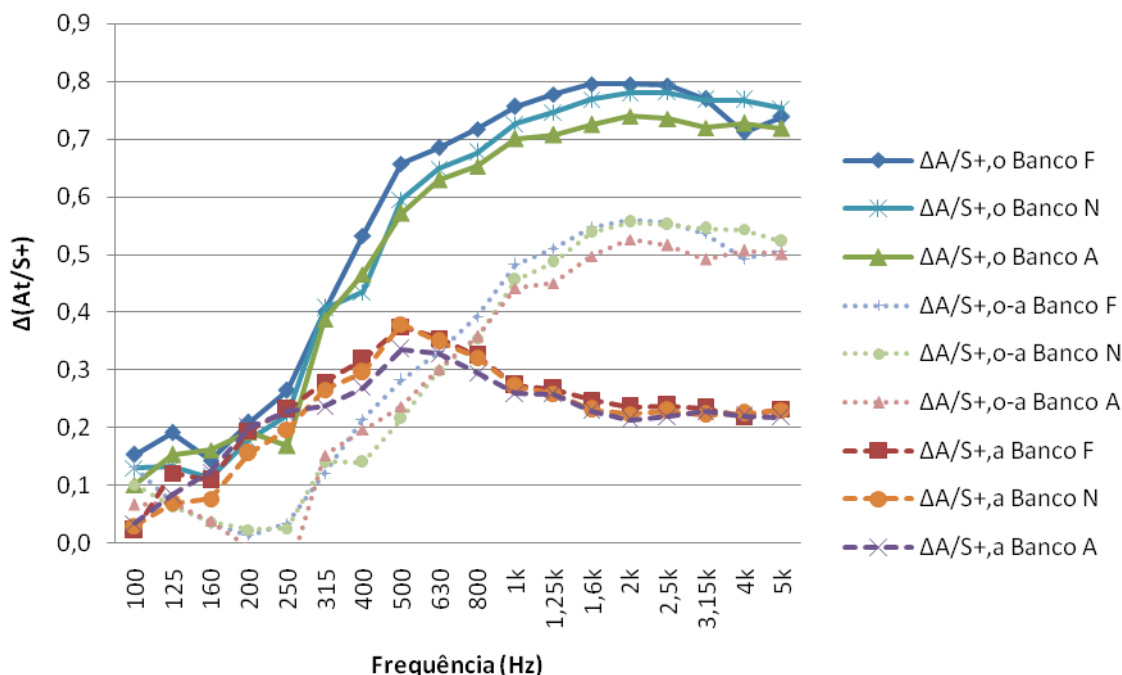


Fig. 4.53 – Variação de absorção sonora por $m^2_{\text{acrescido}} (S_+)$ dos bancos ocupados ($\Delta A/S_{T,o}$) ou com almofadas ($\Delta A/S_{T,a}$) em relação aos bancos desocupados e ocupados em relação aos bancos com almofadas ($\Delta A/S_{T,o-a}$)

Nesta abordagem a análise da figura 4.51 é um pouco distinta da abordagem anterior (A_T/m^2). De facto observa-se que na situação de bancos ocupados a absorção sonora por $m^2_{\text{acrescido}}$ assume, ao longo da frequência, essencialmente dois ramos distintos. Um primeiro ramo até os 630 Hz em que a absorção sonora cresce até valores entre os 0,6 e os 0,7 e um segundo ramo em que a absorção sonora por $m^2_{\text{acrescido}}$ estabiliza nessa mesma gama de valores. Para a situação de bancos com almofadas verifica-se um primeiro ramo crescente até aos 500 Hz, atingindo um valor de aproximadamente 0,5, estabilizando também, num segundo ramo, nessa mesma gama de valores. Por último, verifica-se que para a situação de bancos desocupados, os valores mantêm-se muito próximos dos 0,05 para toda a gama de frequências estudadas.

Na figura 4.53 apresenta-se o respectivo gráfico relativo às variações de absorção sonora das situações descritas anteriormente.

Quadro 4.20 – Valores da variação de absorção sonora para bancos ocupados ($\Delta A/S_{T,o}$), bancos com almofadas ($\Delta A/S_{T,a}$) e entre ocupados e com almofadas ($\Delta A/S_{T,o-a}$), para os bancos dos tipos F, A e N

Frequência (Hz)	$\Delta A,o$			$\Delta A,a$			$\Delta A,o-a$		
	Bancos F	Bancos A	Bancos N	Bancos F	Bancos A	Bancos N	Bancos F	Bancos A	Bancos N
100	0,153	0,101	0,130	0,022	0,035	0,030	0,132	0,067	0,101
125	0,191	0,153	0,132	0,121	0,083	0,069	0,070	0,070	0,063
160	0,143	0,162	0,114	0,109	0,123	0,077	0,034	0,038	0,037
200	0,209	0,192	0,179	0,195	0,200	0,156	0,014	-0,008	0,023
250	0,265	0,169	0,222	0,231	0,227	0,197	0,034	-0,058	0,026
315	0,401	0,388	0,407	0,279	0,236	0,266	0,122	0,152	0,141
400	0,533	0,466	0,435	0,318	0,269	0,295	0,215	0,196	0,140
500	0,657	0,572	0,595	0,375	0,335	0,380	0,283	0,237	0,216
630	0,685	0,629	0,649	0,354	0,328	0,349	0,331	0,301	0,300
800	0,717	0,653	0,676	0,325	0,295	0,322	0,393	0,358	0,355
1000	0,756	0,700	0,727	0,274	0,259	0,271	0,482	0,442	0,456
1250	0,777	0,708	0,746	0,267	0,258	0,259	0,510	0,450	0,487
1600	0,795	0,726	0,769	0,248	0,229	0,231	0,547	0,497	0,538
2000	0,796	0,740	0,779	0,236	0,214	0,223	0,560	0,526	0,556
2500	0,793	0,735	0,781	0,238	0,220	0,229	0,555	0,516	0,551
3150	0,770	0,719	0,767	0,234	0,228	0,223	0,536	0,491	0,545
4000	0,712	0,728	0,767	0,219	0,221	0,225	0,493	0,507	0,543
5000	0,739	0,718	0,753	0,232	0,218	0,230	0,506	0,500	0,522

4.4.4. COMPARAÇÃO COM BIBLIOGRAFIA EXISTENTE

Nos quadros 4.21 a 4.24 apresentam-se os resultados obtidos no decorrer deste trabalho comparados com valores encontrados na bibliografia. Uma vez que os resultados obtidos se encontravam em banda de 1/3 de oitava e os valores encontrados na bibliografia se encontram em banda de 1/1 de oitava, procedeu-se à adaptação dos valores de forma a poderem ser analisados na mesma banda de frequência, por média aritmética de cada grupo de bandas de 1/3 de oitava. No quadro 4.21 e 4.22 os valores em comparação são os correspondentes à abordagem de absorção sonora por m^2 na situação de banco desocupado e ocupado respectivamente (figura 4.54 e 4.55).

Adicionalmente, uma vez que a bibliografia sobre bancos de madeira é reduzida, junta-se uma análise comparativa (quadro 4.22 e figura 4.55) entre os resultados obtidos para os bancos ensaiados e os valores para cadeiras de madeira (de salas de concerto) encontradas também na bibliografia. Pela observação da figura 4.55 verifica-se que a forma como a absorção sonora por m^2 se comporta para

cada frequência é próxima do esperado de acordo com os valores determinados durante este estudo para os três tipos de bancos, assumindo o mesmo tipo de evolução mas em gama de valores distintos.

Os valores do quadro 4.23 e 4.24 (figura 4.56 e 4.57), correspondem à comparação da abordagem de absorção sonora por banco na situação de banco ocupado e com almofadas respectivamente.

Quadro 4.21 – Comparação entre os diferentes valores de absorção sonora na situação de banco desocupado

Banco de igreja desocupado (A/m ²)	Frequência (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Banco de igreja [54]	0,15	0,19	0,22	0,39	0,38	0,30
Banco F	0,07	0,14	0,12	0,12	0,11	0,17
Banco A	0,03	0,02	0,06	0,08	0,09	0,11
Banco N	0,08	0,10	0,13	0,18	0,17	0,14

Quadro 4.22 – Comparação entre os diferentes valores de absorção sonora por m² na situação de banco ocupado

Banco de igreja ocupado (A/m ²)	Frequência (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Banco de madeira [51]	-	-	0,75	-	-	-
Banco de madeira [52]	0,57	0,61	0,75	0,86	0,91	0,86
Cadeira de madeira 1 [53]	0,16	0,24	0,56	0,69	0,81	0,78
Cadeira de madeira 2 [53]	0,24	0,40	0,78	0,98	0,96	0,87
Banco F	0,42	0,77	1,46	1,73	1,82	1,76
Banco A	0,28	0,48	1,10	1,36	1,45	1,45
Banco N	0,33	0,63	1,22	1,57	1,68	1,62

Quadro 4.23 – Comparação entre os diferentes valores de absorção sonora na situação de banco ocupado

Banco de igreja ocupado (A/banco)	Frequência (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Banco de igreja [6]	0,23	0,25	0,31	0,35	0,37	0,35
Banco F	0,65	1,18	2,26	2,67	2,80	2,71
Banco A	0,72	1,22	2,76	3,43	3,66	3,66
Banco N	0,71	1,36	2,64	3,41	3,64	3,51

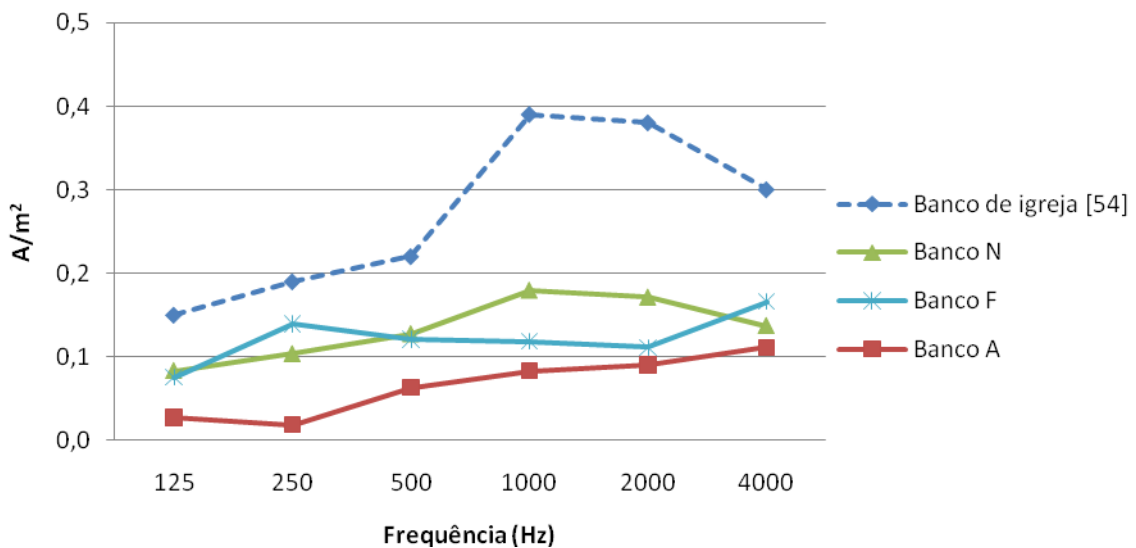
Quadro 4.24 – Comparação entre os diferentes valores de absorção sonora na situação de banco com almofadas

Banco de igreja com almofadas (A/banco)	Frequência (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Banco de igreja [6]	0,09	0,14	0,16	0,16	0,15	0,13
Banco F	0,39	0,99	1,34	1,14	0,97	1,01
Banco A	0,44	1,08	1,61	1,48	1,26	1,32
Banco N	0,43	1,09	1,72	1,59	1,33	1,25

De acordo com a análise dos referidos quadros e figuras, verifica-se uma discrepância entre os valores obtidos e os valores encontrados na bibliografia, sobretudo nas médias e altas frequências. Este facto poderá dever-se potencialmente a:

- Abordagens de análise de absorção sonora diferentes das utilizadas neste estudo, e como tal estes valores não deverão ser comparados;
- Utilização de almofadas mais absorventes neste estudo;
- Roupa, utilizada pelas pessoas no decorrer dos ensaios deste estudo, mais absorvente;
- Pouca representatividade da reduzida bibliografia encontrada.

Existe muito pouca bibliografia e não é credível. Assim, estes resultados agora determinados são ainda mais importantes pois permitem ter dados mais credíveis e utilizáveis.

Fig. 4.54 – Análise comparativa de absorção sonora, por m^2 na situação de banco desocupado

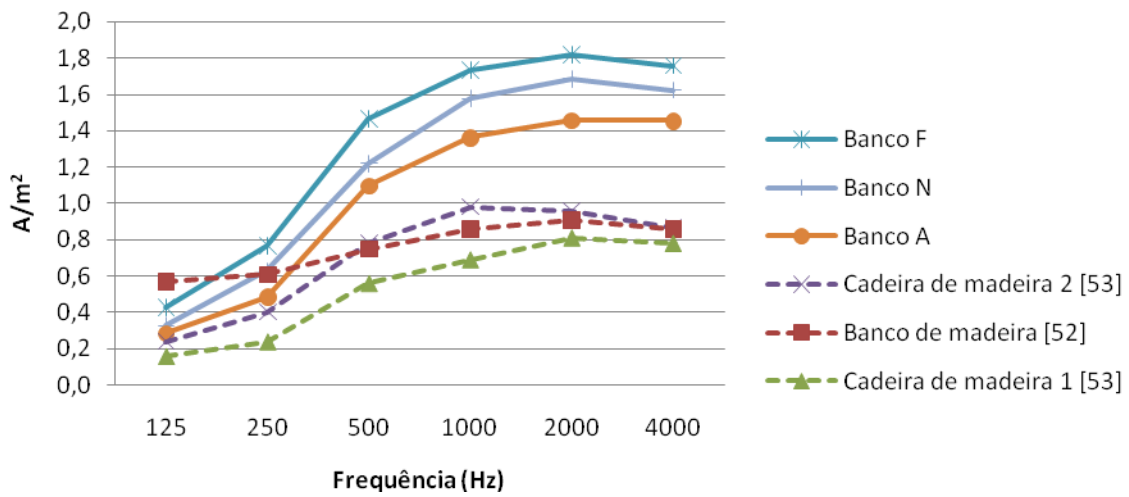


Fig. 4.55 – Análise comparativa de absorção sonora, por m² na situação de banco ocupado

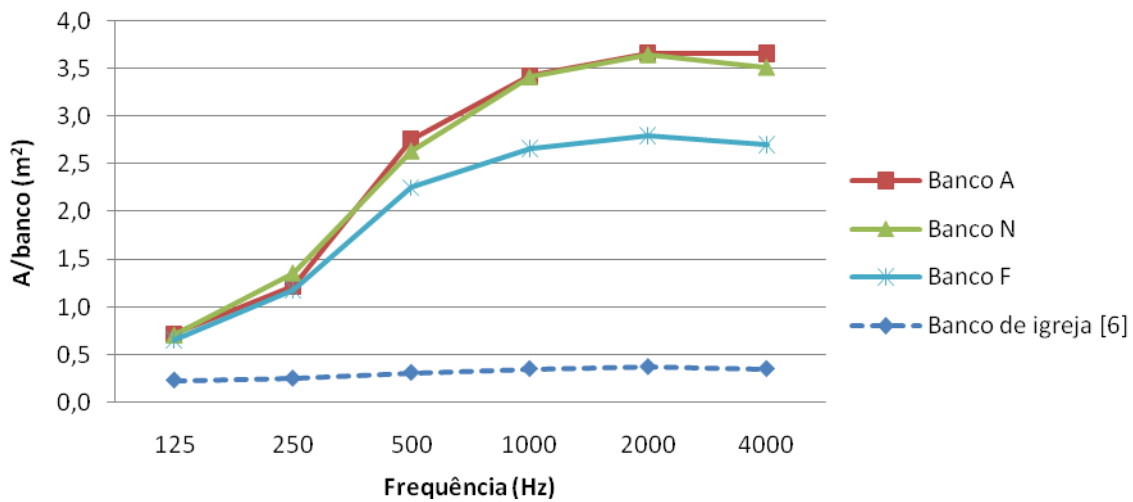


Fig. 4.56 – Análise comparativa de absorção sonora por banco na situação de banco ocupado

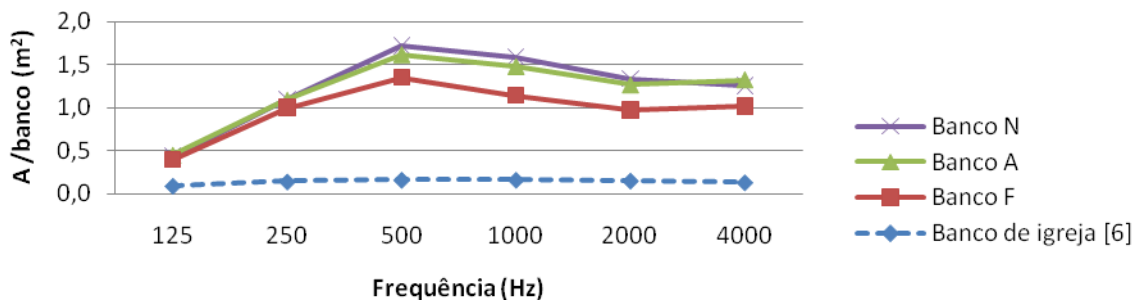


Fig. 4.57 – Análise comparativa de absorção sonora por banco na situação de banco com almofadas

4.4.5. NOVO PARÂMETRO DE ABSORÇÃO DE BANCOS DE IGREJA

Poderá ser interessante ter um parâmetro que caracterize a absorção sonora dos bancos de igreja num único valor e assim facilitar a comunicação entre fabricantes e compradores. Entende-se que a opção de um único valor é mais confortável de consultar de que uma gama.

Para tal propõe-se a utilização de um novo parâmetro, cuja base teórica é o NRC (noise reduction control). Este novo parâmetro, denomina-se por NRC(A) e tal como o NRC é a média das quatro frequências em banda de 1/1 oitava dos 250 aos 2k Hz (ver expressão 4.10).

$$NRC(A) = \frac{A_{250} + A_{500} + A_{1k} + A_{2k}}{4} \quad (4.10)$$

No quadro 4.25 a 4.27 apresenta-se então os valores obtidos para este novo parâmetro proposto para os três bancos em estudo nas três situações analisadas, banco desocupado, ocupado e com almofadas, respectivamente. É de referir que o NRC(A) é determinado considerando o acréscimo de área a volta da amostra, tal como referido na subcapítulo 4.4.3.

Quadro 4.25 – Valores de absorção sonora por $m^2_{\text{acrescido}}$ e novo parâmetro NRC(A) para cada tipo de banco desocupado

Banco de igreja desocupado ($A/m^2_{\text{acrescido}}$)	Frequência (Hz)						NRC(A)
	125	250	500	1000	2000	4000	
Banco F	0,03	0,06	0,06	0,06	0,05	0,08	0,06
Banco A	0,01	0,01	0,03	0,04	0,05	0,06	0,03
Banco N	0,04	0,05	0,07	0,09	0,09	0,07	0,07

Quadro 4.26 – Valores de absorção sonora por $m^2_{\text{acrescido}}$ e novo parâmetro NRC(A) para cada tipo de banco ocupado

Banco de igreja ocupado ($A/m^2_{\text{acrescido}}$)	Frequência (Hz)						NRC(A)
	125	250	500	1000	2000	4000	
Banco F	0,20	0,36	0,68	0,81	0,85	0,82	0,67
Banco A	0,15	0,26	0,59	0,73	0,78	0,78	0,59
Banco N	0,17	0,32	0,63	0,81	0,86	0,83	0,65

Quadro 4.27 – Valores de absorção sonora por $m^2_{\text{acrescido}}$ e novo parâmetro NRC(A) para cada tipo de banco com almofadas

Banco de igreja c/ almofadas ($A/m^2_{\text{acrescido}}$)	Frequência (Hz)						NRC(A)
	125	250	500	1000	2000	4000	
Banco F	0,12	0,30	0,41	0,34	0,29	0,31	0,34
Banco A	0,09	0,23	0,34	0,32	0,27	0,28	0,29
Banco N	0,10	0,26	0,41	0,38	0,32	0,30	0,34

5

CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

5.1. CONCLUSÕES

Neste trabalho realizaram-se três abordagens no estudo da absorção sonora dos bancos de igreja ensaiados, sendo elas a absorção sonora por banco, absorção sonora por m^2 e absorção sonora por $m^2_{acrescido}$.

Embora as conclusões sejam em grande parte coincidentes entre as duas últimas abordagens enunciadas, o mesmo não se aplica à abordagem da absorção sonora por banco.

De facto encontram-se diferenças na gama dos valores obtidos, mas também na relação, em termos de absorção sonora, entre os três grupos distintos de bancos ensaiados. Enquanto na primeira abordagem (A/banco), para os bancos desocupados e na generalidade das frequências, é o banco do tipo N que apresenta maior absorção sonora, seguido pelo banco do tipo F e com menor absorção sonora tem-se o banco do tipo A, nas duas abordagens em que se contabiliza a área ocupada pelas amostras, do maior absorsor para o menor vem o banco do tipo F, N e A. Esta diferença explica-se pela diferença existente nas áreas ocupadas por cada amostra.

Estas diferenças são menos significativas nos ensaios com almofadas e com pessoas. De facto, a maior diferença observa-se para o banco do tipo F pois, por ser mais pequeno (2,02 m face a 2,80 m), o número de almofadas e pessoas presentes no ensaio foi inferior que nos outros dois tipos (cinco em vez de seis pessoas por banco). Os valores obtidos para o banco do tipo N e A são muito próximos em todas as abordagens efectuadas e as ligeiras diferenças encontradas justificam-se pela contabilização da área ou do número de bancos de cada amostra como na situação de bancos desocupados.

É de notar a importância que a área de aberturas do banco tem no efeito de absorção sonora assim como a massa absorvente, isto é, espessura e peso do banco. Quanto maior for a área de aberturas do banco, menor deverá ser a sua absorção sonora. Quanto maior for a área absorvente, maior deverá ser a sua absorção sonora.

Conclui-se que em todas as abordagens, tal como seria de esperar, a situação que traduz maior absorção sonora é a de banco totalmente ocupado, seguindo-se a utilização de almofadas e por fim, a de banco desocupado. De acordo com as figuras 4.37, 4.45 e 4.53, verifica-se que o ganho em absorção obtido pela utilização de almofadas é aproximadamente um terço do ganho obtido para os bancos totalmente ocupados. Este facto revela que se os bancos tiverem almofadas ou forem, por exemplo estofados, a variação de absorção sonora se os bancos não tiveram completamente ocupado é menor, conseguindo também menor flutuação nas características acústicas da igreja onde os bancos

são utilizados. Note-se que não foi testada a situação dos encostos dos bancos também estarem estofados, facto este que ainda aumentaria mais a absorção sonora.

Os valores médios dos três tipos de bancos obtidos nas abordagens A/m^2 e $A/m^2_{\text{acrescido}}$ diferem. Em média a absorção sonora, na situação de bancos ocupados, ao longo da gama de frequências estudada, para a abordagem A/m^2 , assume três ramos distintos enquanto para a abordagem $A/m^2_{\text{acrescido}}$ assume essencialmente dois. No primeiro caso (A/m^2), o primeiro ramo, até cerca dos 250 Hz, assume valores muito próximos dos 0,4 e no segundo ramo, dos 250 Hz aos 630 Hz, os valores crescem até cerca dos 1,4, estabilizando no terceiro ramo (a partir dos 800 Hz) em valores da ordem dos 1,4 a 1,8. No segundo caso ($A/m^2_{\text{acrescido}}$), o primeiro ramo, até os 630 Hz, assume valores entre os 0,6 e os 0,7 estabilizando no segundo ramo. Para a situação de bancos com almofadas mais uma vez verifica-se que na primeira abordagem (A/m^2) existe três ramos e na segunda ($A/m^2_{\text{acrescido}}$) apenas dois. Um primeiro ramo crescente até aos 500 Hz, atingindo um valor de aproximadamente 0,8 no primeiro caso (A/m^2) e 0,5 no segundo ($A/m^2_{\text{acrescido}}$). No primeiro caso (A/m^2), o segundo ramo é decrescente até um valor próximo dos 0,6, para os 1,6 kHz, mantendo-se nessa gama de valores até aos 5 kHz, enquanto no segundo caso ($A/m^2_{\text{acrescido}}$) os valores estabilizam a partir dos 500 Hz. Por último, verifica-se que para a situação de bancos desocupados, ambas as abordagens mantêm a mesma gama de valores para toda a gama de frequências estudada, isto é, no primeiro caso (A/m^2) os valores mantêm-se muito próximos dos 0,1 e no segundo caso ($A/m^2_{\text{acrescido}}$), muito próximos dos 0,05.

Apresenta-se no quadro 4.25 os valores médios dos três tipos de bancos ensaiados nas situações de bancos desocupados, ocupados e com almofadas para as três abordagens estudadas neste trabalho. Propõe-se que estes valores possam ser utilizados, como referência, em estudos futuros.

Quadro 5.1 – Valores médios propostos para usar no futuro (média dos três tipos de bancos estudados)

Frequência (Hz)		125	250	500	1000	2000	4000
A/m^2	Desocupado	0,06	0,09	0,10	0,13	0,12	0,14
	Ocupado (com pessoas)	0,35	0,63	1,26	1,55	1,65	1,61
	Com Almofadas (sem pessoas)	0,21	0,53	0,77	0,69	0,58	0,59
$A/m^2_{\text{acrescido}}$	Desocupado	0,03	0,04	0,05	0,06	0,06	0,07
	Ocupado (com pessoas)	0,17	0,31	0,63	0,78	0,83	0,81
	Com Almofadas (sem pessoas)	0,10	0,26	0,39	0,34	0,29	0,29
$A/\text{banco}(m^2)$	Desocupado	0,12	0,16	0,21	0,26	0,26	0,28
	Ocupado (com pessoas)	0,69	1,25	2,55	3,17	3,37	3,29
	Com Almofadas (sem pessoas)	0,42	1,06	1,56	1,40	1,19	1,19

A abordagem de absorção sonora por banco poderá ser particularmente útil na determinação do número de bancos necessário para atingir certa absorção sonora desejada mas apenas se os bancos forem usados com razoável espaçamento entre eles.

Relativamente às restantes abordagens consideradas neste estudo, crê-se que a última, absorção sonora por $m^2_{\text{acrescido}}$, é a mais fiável pois contabiliza o acréscimo de área absorvente obtida pela presença das pessoas. Os valores obtidos nesta abordagem são, quando comparados com valores aceitáveis para coeficiente de absorção sonora, mais próximos do espectável.

Da análise comparativa realizada com bibliografia existente, verificou-se uma discrepância entre os valores encontrados na mesma e os valores obtidos nos ensaios realizados no âmbito deste estudo. Justifica-se este facto pela potencial diferença de abordagem considerada e a impossibilidade de mais saber sobre ela, pelo tipo de almofadas e roupa utilizadas e pelo peso no resultado considerado nas áreas laterais do conjunto dos três bancos e pessoas.

5.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Tal como demonstrado no capítulo 3, existe uma enorme variedade de tipo de bancos e neste estudo apenas foram ensaiados três tipos de bancos e apesar de estilos relativamente próximos foi possível verificar diferenças nos valores da absorção sonora obtidos. Seria interessante alargar este estudo a outros bancos de forma a analisar melhor a influência das diferenças entre eles na absorção sonora.

A sensibilização dos fabricantes para que determinem a absorção sonora dos bancos que produzem é um importante passo para criar uma base de dados que permita a escolha do equipamento mais adequado, em fase de projecto. É de referir que para este estudo foram contactadas cerca de 10 carpintarias especializadas em bancos de igrejas, em Espanha e Portugal e nenhuma aceitou colaborar.

Neste trabalho apenas se pretendeu determinar a absorção sonora dos bancos e qual a influência da sua ocupação, isto é, de estes estarem totalmente ocupados, desocupados ou com almofadas sobre assentos. Como tal, este estudo será mais relevante, no entender da autora, no projecto de novas igrejas. Será igualmente interessante dar, no futuro, continuidade aos trabalhos de investigação que permitam conhecer a influência de cada elemento presente na igreja no comportamento acústico global do edifício. A comparação dos resultados obtidos em laboratório com os de ensaios *in loco* seria de elevado interesse para aprofundar o conhecimento do real comportamento acustico dos elementos que compõe uma igreja.

Em continuidade deste estudo poderiam estar, por exemplo, as três seguintes situações:

- Ensaiar não com três bancos de cada tipo mas com cinco de cada tipo;
- Ensaiar igreja totalmente sem bancos e igreja totalmente com bancos;
- Ensaiar igreja totalmente com bancos e sem pessoas e totalmente com bancos e cheia de pessoas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Patrício, J., *Acústica nos Edifícios*. 3ª Edição. Verlag Dashöfer, Edições Profissionais, Unip., Lda., Lisboa, 2006.
- [2] Carvalho, A.P.O., *Acústica Ambiental e de Edifícios*. Setembro 2010. Edição 7.4., FEUP, Porto.
- [3] Silva, P.M., *Engenharia Acústica*. Coleção Engenharia. Ingenium Edições, Lda., Lisboa, 2007.
- [4] Oliveira, P. D., *Desenvolvimento e caracterização acústica de elementos autoportantes para absorção sonora em espaços tipo open space*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, FEUP, 2009.
- [5] Domingues, O., *A Acústica nos Edifícios – Materiais e Sistemas Absorventes Sonoros*, LNEC, Lisboa, 2005.
- [6] Silva, P.M., *Acústica de Edifícios*, LNEC, Lisboa, 1978.
- [7] *Conversion of sound units*. www.sengpielaudio.com/calculator-soundlevel.htm. Acedido em 31 de Março de 2011.
- [8] *O meu cantinho*. nandacadeireiromeucantinho.blogspot.com/2009/11/alcatifas.html. Acedido em 31 de Março de 2011.
- [9] *Matercaima*. <http://www.matercaima.pt/csm/produtos/celenit/index.shtml>. Acedido em 30 de Março de 2011.
- [10] *Tecnit*. www.tecnit.com.br. Acedido em 30 de Março de 2011.
- [11] *Queimcal*. www.queimcal.com.br. Acedido em 30 de Março de 2011.
- [12] *Spumacar*. spumacarautomotive.com/mercado.htm. Acedido em 31 de Março de 2011.
- [13] *Casa Cubaixo*. www.casacubaixo.pt/index.asp?p=1. Acedido em 31 de Março de 2011.
- [14] *Universidad Pública de Navarra*. www.unavarra.es. Acedido em 31 de Março de 2011.
- [15] *Audio List*. www.audiolist.org. Acedido em 30 de Março de 2011
- [16] *A disjointed history*. www.churchantiques.com/pews.html. Acedido em 21 de Fevereiro de 2011
- [17] *Dicionário da Língua Portuguesa – Tomo I*. Texto Editores, Lda.
- [18] John Coke Fowler, Esq. *Church Pews, Their origin and legal incidents, with some observations on the propriety of abolishing them, in three chapters*. Francis & John Rivington, Londres, 1844. http://anglicanhistory.org/misc/freechurch/fowler_pews1844.html. Acedido em 21 de Fevereiro de 2011.
- [19] Neale, John Mason. *The history of pews*. Cambridge Camden Society. 1841
- [20] DanKimball. *What are these strange things called “pews”?* 2006. www.dankimball.com. Acedido em 21 de Junho de 2011.
- [21] Seomul Evans. *Church Pews: History and Spirituality*. 2008. www.articlesbase.com/spirituality-articles/church-pews-history-and-spirituality-514757.html. Acedido em 1 de Junho de 2011.
- [22] History World International. *The Reformation, Europe’s Search for Stability*. <http://history-world.org/reformation.htm>. Acedido em 1 de Junho de 2011

- [23] Seomul Evans. *Church Pews a Historical Perspective*. 2008. <http://www.articlesbase.com/spirituality-articles/church-pews-a-historical-perspective-518991.html#ixzz1O1cn7nNb>. Acedido em 1 de Junho de 2011.
- [24] Pascha. *A Call for Liturgical Renewal The Liturgical Effectiveness of Pews*. DOXA, 1995, St. Michael's Skete (OCA). www.sv-luka.org/misionar/n3_call.htm. Acedido em 1 de Junho de 2011.
- [25] *Center Methodist Episcopal Church, South*. <http://jimandmarilyn.com/church.htm>. Acedido em 31 de Maio 2011.
- [26] *Walking Away from Church*. <http://glenscorgie.com/2010/11/28/walking-away-from-church/>. Acedido em 31 de Maio de 2011.
- [27] *St. Paul Fabricating & Decorating Co*. <http://www.stpaulfab.com/church-seating/pews/>. Acedido em 31 de Maio de 2011.
- [28] *Mexico99*. http://www.mexico99.com/Jalisco/PuertoVallarta/Puerto_Vallarta_Cathedral.html. Acedido em 1 de Junho de 2011.
- [29] *Antiquites en France*. <http://www.antiquites-en-france.com/item/29649/banc-d-039-eglise-en-chene>. Acedido em 1 de Junho de 2011.
- [30] *Wikimedia Commons*. http://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Church_benches_in_Baden-W%C3%BCrtemberg. Acedido em 1 de Junho de 2011.
- [31] *Panfletos de loja em bancos de igreja*. <http://www.douradosagora.com.br/noticias/dourados/panfletos-de-loja-em-bancos-de-igreja>. Acedido em 1 de Junho de 2011.
- [32] *OLX*. <http://cataguases.olx.com.br/bancos-para-igrejas-iid-101518097>. Acedido em 1 de Junho de 2011.
- [33] *The End of the Pew*. <http://www.religiousintelligence.org/churchnewspaper/eos/the-end-of-the-pew/>. Acedido em 31 de Maio de 2011.
- [34] *Can Stock Photo*. <http://www.canstockphoto.com.br/bancos-igreja-0207623.html>. Acedido em 1 de Junho de 2011.
- [35] *Helping You Enhance Your Place of Worship!* <http://churchoutlet.com/>. Acedido em 31 de Maio de 2011.
- [36] *Sagle Community of Christ*. <http://saglecofchrist.wordpress.com/the-sagle-blog/>. Acedido em 31 de Maio de 2011.
- [37] *Why young adults are leaving church*. <http://jrenseyblog.wordpress.com/2011/02/01/february-2011/>. Acedido em 31 de Maio de 2011.
- [38] *Wikimedia Commons*. http://commons.wikimedia.org/wiki/Pews#Box_pews. Acedido em 1 de Junho de 2011.
- [39] *Internacional Christian Missions*. <http://icmissions.org/>. Acedido em 31 de Maio de 2011.
- [40] *Hellopro*. <http://www.hellopro.fr/bancs-d-eglise-saint-luc-2007327-171380-produit.html>. Acedido em 1 de Junho de 2011.
- [41] *Burgspiele Hainburg*. <http://www.burgspiele-hainburg.at/Joseph%20Haydn%20in%20Hainburg/Joseph%20Haydn%20Schuljahre%20in%20Hainburg.htm>. Acedido em 1 de Junho de 2011.
- [42] *Kanada 2006*. <http://www.free-blog.in/Kanada/>. Acedido em 1 de Junho de 2011.

- [43] *Horeca Meubel Outlet*. http://www.euroseat.nl/Gebruikt_Meubilair/Banken/8013/Kerkbank_370. Acedido em 1 de Junho de 2011.
- [44] *Flickr*. <http://www.flickr.com/photos/hen-magonza/4849743796/>. Acedido em 1 de Junho de 2011.
- [45] *Wikimedia Commons*. http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Toenning_laurentius_kirchenbank.JPG. Acedido em 1 de Junho de 2011.
- [46] NP EN ISO 140-1 – *Acústica. Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção. Parte 1: Medição, em laboratório do isolamento sonoro de condução aérea*. 1997.
- [47] NP EN ISO 354:2007 – *Acústica. Medição da Absorção Sonora em Câmara Reverberante*.
- [48] ISO 9613-1 – *Acoustics. Attenuation of sound during propagation outdoors. Part 1: Calculation of the absorption of sound by atmosphere*. 1993.
- [49] EN ISO 266 – *Acoustics. Preferred frequencies*. 1997.
- [50] Beranek, Leo Leroy. *Concert and opera halls: how they sound*. Acoustical Society of America, Estados Unidos da América, 1996.
- [51] Riedel, Scott R. *Acoustics in the Worship Space*. CPH, Estados Unidos da América, 1986.
- [52] Egan, M. David. *Architectural Acoustics*. McGraw-Hill Publishing Company, 1988.
- [53] Kuttruff, H. *Room Acoustics*. 4ª Edição. Spon Press. 2000.
- [54] Wleken, Wleppen, Torres. *Worship Space Acoustics*. J. Ross Publishing, 2010.

Anexo I

REGISTO FOTOGRÁFICO

Com este anexo pretende-se apresentar parte do registo fotográfico realizado durante os ensaios na câmara reverberante da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade do Porto decorridos nos dias 28 e 29 de Março de 2011. A realização dos ensaios não seria possível sem participação dos alunos que se disponibilizaram para cooperar nas medições realizadas na câmara reverberante. Na figura I.1 apresenta-se alguns dos alunos que cooperaram nos ensaios. Para além dos alunos da figura I.1, também cooperaram Luís Brito, Engenheiro António Eduardo Costa, Engenheiro Paulo Renato, Engenheiro Pedro Oliveira e Engenheira Dóris Queirós.



Fig. I.1 – Grupo de alunos que cooperaram na realização dos ensaios e autora do presente trabalho (Alexandra Almeida, Ana Sara Freitas, Angela Pinto, António Monteiro, Cristina Pereira, Eduarda Silva, Filipe Torres, Francisca Cavaleiro, Joana Pino, Lino Sousa, Marlene Cruz, Rui Jesus, Telmo Cardoso, Tiago Caramelo e Vítor Barros) [foto de A. Costa]



Fig. I.2 – Fonte sonora, microfones e difusores [foto da autora]



Fig. I.3 – Equipamento utilizado na realização dos ensaios [foto da autora]



Fig. I.4 – Transporte dos bancos [foto do António E. Costa]



Fig. I.5 – Banco do tipo F antes dos ensaios [foto da autora]



Fig. I.6 – Preparação do banco do tipo F para o ensaio com almofadas [foto do António E. Costa]



Fig. I.7 – Banco do tipo A antes dos ensaios [foto da autora]



Fig. I.8 – Banco do tipo N antes dos ensaios [foto da autora]



Fig. I.9 – Banco do tipo N ocupado no interior da câmara reverberante [foto do António E. Costa]

Anexo II

TABELAS DE CÁLCULO

Quadro II.1 – Coeficiente de atenuação atmosférica, α_a , em dB/km, em função da humidade relativa e da temperatura [adoptado de 48]

Temperatura (°C)	Frequência (Hz)	HR (%)				
		60	68,8	70	77,5	80
15	100	0,285	0,255	0,251	0,231	0,224
	125	0,426	0,386	0,381	0,353	0,343
	160	0,621	0,572	0,565	0,528	0,516
	200	0,874	0,822	0,815	0,772	0,757
	250	1,160	1,134	1,130	1,085	1,070
	315	1,530	1,512	1,510	1,480	1,470
	400	1,910	1,919	1,920	1,913	1,910
	500	2,310	2,354	2,360	2,390	2,400
	630	2,750	2,830	2,840	2,893	2,910
	800	3,310	3,372	3,380	3,455	3,480
	1000	4,060	4,078	4,080	4,133	4,150
	1250	5,170	5,064	5,050	5,050	5,050
	1600	6,860	6,551	6,510	6,390	6,350
	2000	9,500	8,838	8,750	8,420	8,310
	2500	13,600	12,363	12,200	11,600	11,400
	3150	20,100	17,980	17,700	16,500	16,100
	4000	30,300	26,855	26,400	24,375	23,700
5000	46,200	40,635	39,900	36,600	35,500	

Quadro II.2 – Coeficiente de atenuação atmosférica, α_a , em dB/km, em função da humidade relativa e da temperatura [adoptado de 48]

Temperatura (°C)	Frequência (Hz)	HR (%)				
		60	68,8	70	77,5	80
20	100	0,252	0,224	0,220	0,201	0,194
	125	0,386	4,000	0,339	0,311	0,302
	160	0,582	0,525	0,518	0,478	0,465
	200	0,658	0,762	0,776	0,723	0,705
	250	1,230	1,142	1,130	1,063	1,040
	315	1,680	1,609	1,600	1,525	1,500
	400	2,210	2,166	2,160	2,100	2,080
	500	2,790	2,887	2,900	2,803	2,770
	630	3,400	3,453	3,460	3,505	3,520
	800	4,050	4,174	4,190	4,280	4,310
	1000	4,800	4,959	4,980	5,108	5,150
	1250	5,780	5,904	5,920	6,055	6,100
	1600	7,170	7,179	7,180	7,278	7,310
	2000	9,250	9,047	9,020	8,990	8,980
	2500	12,500	11,882	11,800	11,575	11,500
	3150	17,500	16,263	16,100	15,500	15,300
	4000	25,400	23,192	22,900	21,700	21,300
5000	37,900	34,102	33,600	31,350	30,600	

Quadro II.3 – Coeficiente de atenuação atmosférica (α_a), em dB/km, e coeficiente de atenuação devido à presença do ar (m), em m^{-1} para temperatura igual a 17°C e humidade relativa de 68,8% e 77,5% (os índices 1 e 2 dizem respeito às condições no primeiro e segundo dia de ensaios) [adoptado de 48]

Frequência (Hz)	α_{a1}	α_{a2}	m_1	m_2
100	0,244	0,220	0,011	0,010
125	0,371	0,338	0,016	0,015
160	0,555	0,510	0,024	0,022
200	0,800	0,754	0,035	0,033
250	1,136	1,077	0,049	0,047
315	1,547	1,496	0,067	0,065
400	2,008	1,980	0,087	0,086
500	2,546	2,539	0,111	0,110
630	3,054	3,113	0,133	0,135
800	3,660	3,752	0,159	0,163
1000	4,395	4,484	0,191	0,195
1250	5,366	5,412	0,233	0,235
1600	6,777	6,710	0,294	0,291
2000	8,913	8,625	0,387	0,375
2500	12,190	11,591	0,529	0,503
3150	17,362	16,140	0,754	0,701
4000	25,536	23,412	1,109	1,017
5000	38,283	34,710	1,663	1,507

Quadro II.4 – Valores de A_1 (área de absorção sonora equivalente em m^2)

Frequência (Hz)	Banco F			Banco A		
	Desocupado	Ocupado	Com Almofadas	Desocupado	Ocupado	Com Almofadas
100	2,62	2,84	4,14	2,67	4,09	3,16
125	3,04	4,24	4,94	2,89	5,05	4,06
160	3,82	4,90	5,25	3,46	5,73	5,19
200	4,88	6,82	6,95	4,05	6,75	6,87
250	5,02	7,31	7,65	4,67	7,04	7,87
315	5,13	7,90	9,11	4,77	10,23	8,09
400	4,85	8,01	10,15	4,64	11,18	8,42
500	4,69	8,41	11,22	4,63	12,67	9,35
630	5,04	8,56	11,85	5,05	13,89	9,65
800	5,17	8,39	12,30	5,25	14,43	9,40
1000	5,22	7,94	12,73	5,35	15,20	8,99
1250	5,45	8,10	13,18	5,46	15,41	9,09
1600	5,74	8,20	13,64	5,88	16,08	9,10
2000	6,17	8,52	14,08	6,37	16,75	9,38
2500	6,75	9,11	14,62	6,90	17,21	9,98
3150	8,37	10,69	16,00	8,42	18,49	11,63
4000	9,79	11,96	16,84	9,80	19,96	12,90
5000	13,05	15,36	20,36	13,18	23,14	16,24

Quadro II.5 – Valores de A_1 (área de absorção sonora equivalente em m^2)

Frequência (Hz)	Banco N		
	Desocupado	Ocupado	Com Almofadas
100	2,76	4,41	3,13
125	3,27	4,94	4,14
160	4,01	5,44	4,97
200	4,78	7,05	6,75
250	5,35	8,16	7,84
315	4,95	10,09	8,31
400	5,01	10,52	8,75
500	5,03	12,56	9,83
630	5,33	13,54	9,75
800	5,58	14,14	9,65
1000	5,95	15,15	9,38
1250	6,15	15,59	9,43
1600	6,39	16,12	9,31
2000	6,78	16,64	9,60
2500	7,22	17,10	10,13
3150	8,68	18,39	11,50
4000	9,73	19,44	12,57
5000	12,88	22,40	15,79

Quadro II.6 – Valores de A_T para os bancos do tipo F e A (área de absorção sonora equivalente em m^2)

Frequência (Hz)	Banco F			Banco A		
	Desocupado	Ocupado	Com Almofadas	Desocupado	Ocupado	Com Almofadas
100	0,17	1,69	0,38	0,22	1,65	0,71
125	0,16	2,06	1,36	0,02	2,18	1,19
160	0,71	2,13	1,79	0,35	2,62	2,09
200	0,84	2,91	2,78	0,02	2,71	2,83
250	0,47	3,10	2,76	0,12	2,50	3,32
315	0,62	4,61	3,40	0,27	5,73	3,60
400	0,53	5,83	3,69	0,32	6,87	4,11
500	0,59	7,12	4,32	0,54	8,58	5,26
630	0,55	7,36	4,07	0,56	9,41	5,17
800	0,50	7,63	3,73	0,59	9,77	4,74
1000	0,55	8,06	3,27	0,68	10,54	4,32
1250	0,58	8,31	3,24	0,60	10,55	4,23
1600	0,52	8,42	2,98	0,67	10,86	3,88
2000	0,47	8,37	2,81	0,67	11,05	3,68
2500	0,56	8,43	2,92	0,71	11,03	3,80
3150	0,66	8,29	2,98	0,72	10,79	3,93
4000	0,84	7,89	3,02	0,86	11,01	3,96
5000	0,81	8,11	3,12	0,94	10,90	4,00

Quadro II.7 – Valores de A_T para os bancos do tipo N (área de absorção sonora equivalente em m^2)

Frequência (Hz)	Banco N		
	Desocupado	Ocupado	Com Almofadas
100	0,31	1,96	0,68
125	0,40	2,07	1,27
160	0,90	2,34	1,87
200	0,75	3,01	2,72
250	0,80	3,62	3,29
315	0,45	5,60	3,81
400	0,70	6,20	4,44
500	0,94	8,47	5,74
630	0,84	9,05	5,26
800	0,92	9,48	4,99
1000	1,29	10,49	4,72
1250	1,29	10,73	4,57
1600	1,18	10,90	4,10
2000	1,08	10,94	3,90
2500	1,04	10,92	3,94
3150	0,98	10,69	3,80
4000	0,78	10,50	3,63
5000	0,64	10,16	3,55

