

DESENVOLVIMENTO DE “TINTA” COM PÓ DE CORTIÇA COM DESEMPENHO ACÚSTICO OPTIMIZADO

DANIELA JACINTA DOLGNER MAIO

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

Orientador: Professor Doutor António Pedro Oliveira de Carvalho

JULHO DE 2010

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2009/2010

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 - 2009/2010 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2010.*

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 Mãe

Se, a princípio, a ideia não é absurda, então não há esperança para ela.

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

Desejo expressar o meu agradecimento a todas as pessoas envolvidas durante a elaboração desta dissertação, em particular:

Ao meu orientador, Prof. Doutor António Pedro Oliveira de Carvalho, pela sua inigualável disponibilidade, sentido crítico e motivação que sempre mostrou perante as dificuldades. Foi sem dúvida um orgulho poder trabalhar sobre a sua orientação.

Ao Professor Xavier de Carvalho, que sempre investiu neste projecto, acompanhando de perto todos os desenvolvimentos, motivando e aconselhando sempre que necessário e sem qual este estudo não teria sido possível. Pelo companheirismo e cumplicidade, o meu muito obrigado.

Gostaria ainda de agradecer ao Prof. Adélio Mendes, pelo acompanhamento a nível químico deste trabalho, que apesar de ter inúmeros projectos em mãos se disponibilizou para me auxiliar a levar a bom porto este projecto.

Não poderia também deixar de agradecer ao grupo CIN, Corporação Industrial do Norte, nomeadamente à Dr.^a Etelvina Veludo pelo seu incansável apoio no desenvolvimento deste novo produto assim como ao Eng.^o Machado que sempre contribuiu para melhorar as hipóteses de tintas a ensaiar. Ainda dentro da CIN, desejo agradecer à Eng.^a Fernanda Oliveira pelo acompanhamento e formação nos primeiros passos dados dentro da empresa e à técnica analista Conceição Dias pela disponibilidade na realização dos testes necessários e preparação das tintas.

Devo também agradecer ao Eng.^o Luís Carlos Matos, do Departamento de Engenharia Química pelo auxílio na realização dos ensaios de granulometria assim como a disponibilidade para o esclarecimento de qualquer dúvida sobre o mesmo.

Ao Eng.^o Paulo Renato Marques por todo o apoio prestado durante os ensaios realizados na câmara reverberante, assim como a motivação e conselhos que muito contribuíram para este trabalho.

À minha mãe por me ter ensinado a viver, por me ter proporcionado a minha educação oferecendo-me toda a liberdade e oportunidades, sem a qual seria impossível chegar até aqui.

Ao meu irmão que sempre me acompanhou e me protegeu como bom irmão mais velho que é, e que disponibilizou parte do seu tempo livre para realizar tarefas pesadas necessárias à conclusão desta dissertação.

Ao meu namorado, Fernando Torres, pela espantosa pessoa que é, que sempre me apoiou, motivou e incentivou desde que o conheci.

E a todos com quem tenha cruzado, pois parte das experiências com eles vividas me transformaram na pessoa que hoje sou.

Obrigada.

RESUMO

Na Acústica de Edifícios a Correção Acústica, que é a actividade que pretende corrigir um compartimento para o som nele emitido, é conseguida através do adequado dimensionamento e escolha dos volumes, formas e dos materiais de revestimento. Assim, é necessário conhecer a absorção sonora de um material que se define como sendo a propriedade que os materiais possuem de poderem transformar parte da energia sonora que sobre eles incide noutra forma de energia.

É objectivo deste estudo o desenvolvimento e análise de um novo produto “tinta”, com incorporação de pó de cortiça, que apresente um desempenho acústico otimizado. Esta ideia surgiu da constatação da enorme quantidade de pó de cortiça, que é um subproduto (resíduo) da indústria da cortiça, no seu processamento.

Desta forma, pretendeu-se testar qual a variação na absorção sonora de tintas se forem introduzidas diferentes quantidades deste pó. Para tal, foram testadas as seguintes hipóteses em câmara reverberante da FEUP:

Utilizaram-se duas subcamadas distintas (madeira e metal) sobre as quais foi colocada a nova “tinta” sendo testadas várias combinações:

- Subcamada sem nada;
- Subcamada com pintura de “tinta” normal;
- Subcamada com pintura da nova “tinta” com acréscimo de pó de cortiça na maior quantidade possível de adição;
- Subcamada com pintura da nova “tinta” com pó de cortiça com uma densidade muito inferior à anterior.

Foi ainda testada sobre a subcamada de madeira, as hipóteses de novas “tintas” com duas demãos, e foi ainda realizado o ensaio a uma tinta já comercializada em Portugal que reclama possuir “características acústicas”.

Os ensaios permitiram obter os valores do coeficiente de absorção sonora, por bandas de terço de oitava (dos 100 Hz aos 5000 Hz), e foi efectuada uma análise comparativa entre as diversas hipóteses testadas.

São apresentados os diversos resultados obtidos e subsequente análise onde pode-se concluir que o uso deste novo material aumento o coeficiente de absorção sonora mas não em valores significativos para um uso eficaz.

PALAVRAS-CHAVE: Pó de Cortiça, Acústica, Tinta, Absorção Sonora.

ABSTRACT

In building acoustics, acoustics correction, is the activity that aims to correct the sound emitted within a compartment, and is achieved through proper dimensioning and choice of volumes, shapes and coating materials. Therefore, it is necessary to know the sound absorption of a material, which can be defined as the property that materials have to transform part of the sound energy that focuses on them in another form of energy.

The aim of this study is the development and testing of a new product "paint" with the incorporation of powdered cork, thus optimizing acoustic performance. This idea arose after finding enormous amounts of cork powder unutilized; being that is a byproduct (waste) in the cork industry, when it is processed.

The variation in sound absorption of this "paint" was tested, when introduced different amounts of cork powder. The following hypotheses were conducted in a reverberation chamber at FEUP:

Two distinct sublayers (wood and metal) were used, on which was placed the new "paint", being tested various combinations:

- Sublayer with nothing;
- Sublayer painted with the normal "paint";
- Sublayer painted with the new "paint", with the addition of cork dust in the largest possible amount;
- Sublayer painted with the new "paint", with an inferior density of cork dust, when compared with the previous one.

The sublayer of wood was also tested by the use of the new "paint" with two layer coating, as well as a trial with a paint already marketed in Portugal, which claims to possess "acoustical characteristics".

The tests performed led to sound absorption coefficient values for third octave bands (from 100 Hz to 5000 Hz), allowing for a comparative analysis between the different hypothesis to be made.

The diversity of results and subsequent analysis are presented, leading to the conclusion that the use of this new material does increase the sound absorption coefficient, though not in significant values for effective use.

KEYWORDS: Powder Cork, Acoustics, Paint, Sound absorption.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO E OBJECTIVOS	1
1.2. ESTRUTURA	2
2. NOÇÕES BASE DE ACÚSTICA	3
2.1. NOÇÕES GERAIS	3
2.1.1. ELEMENTOS BÁSICOS	3
2.1.2. ABSORÇÃO SONORA	6
2.1.2.1. Coeficiente de absorção sonora	6
2.1.2.2. Parâmetros de descrição	7
2.1.2.3. Determinação do coeficiente de absorção sonora	8
2.1.3. TEMPO DE REVERBERAÇÃO	10
2.1.3.1. Conceito e Definição	10
2.1.3.2. Fórmulas de Previsão	11
2.2. CORRECÇÃO ACÚSTICA	12
2.2.1. CONCEITO E DEFENIÇÃO	12
2.2.2. MATERIAIS POROSOS E FIBROSOS	13
2.2.3. RESSOADORES	18
2.2.4. MEMBRANAS	21
3. NOÇÕES BASE DE TINTAS	23
3.1. INTRODUÇÃO HISTÓRICA ÀS TINTAS	23
3.2. GENERALIDADES E DEFINIÇÕES	24
3.3. CONSTITUINTES DE UMA TINTA	25
3.3.1. PIGMENTOS	25
3.3.2. CARGAS	26
3.3.3. VEÍCULO FIXO	27

3.3.3.1. Definição.....	27
3.3.3.2. Óleos	27
3.3.3.3. Resinas.....	27
3.3.4. VEÍCULO VOLÁTIL	28
3.3.5. ADITIVOS	29
3.4. PROCESSO PRODUTIVO E PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DE UMA TINTA.....	29
3.4.1. FASES DO PROCESSO	29
3.4.2. PROPRIEDADES	30
3.4.3. CLASSIFICAÇÃO DAS TINTAS.....	32
4. A CORTIÇA	33
4.1. PRODUÇÃO DE CORTIÇA.....	33
4.1.1. SOBREIRO	33
4.1.2. CORTIÇA	34
4.1.3. DESCORTIÇAMENTO	35
4.1.4. PROCESSO DE TRANSFORMAÇÃO DA CORTIÇA	37
4.2. ESTRUTURA E A COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA CORTIÇA	38
4.2.1. A ESTRUTURA DA CORTIÇA.....	38
4.2.1.1. Conceito.....	38
4.2.1.2. Estrutura Macroscópica	39
4.2.1.3. Estrutura Microscópica	40
4.2.2. A COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA CORTIÇA	42
4.3. A QUALIDADE E PROPRIEDADES DA CORTIÇA.....	43
4.3.1. QUALIDADE DA CORTIÇA	43
4.3.1.1. Conceito.....	43
4.3.1.2. Porosidade.....	43
4.3.1.3. Bofe	44
4.3.1.4. Verde	45
4.3.1.5. Enguiado.....	46
4.3.2. PROPRIEDADES DA CORTIÇA	46
4.3.2.1. Densidade.....	46
4.3.2.2. Molhabilidade.....	47
4.3.2.3. Propriedades Térmicas	48
4.3.2.4. Propriedades Acústicas	48

5. “TINTA” COM DESEMPENHO ACÚSTICO OPTIMIZADO	51
5.1. TINTAS COM CARACTERÍSTICAS ACÚSTICAS	51
5.1.1. BREVE INTRODUÇÃO	51
5.1.2. ACOUSTIC COAT	51
5.1.3. TINTA ACÚSTICA KAR	51
5.1.4. PATENTE NACIONAL	52
5.2. PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE TINTA COM PÓ DE CORTIÇA INCORPORADO	52
6. ENSAIOS E RESULTADOS	57
6.1. MÉTODO	57
6.1.1. NORMALIZAÇÃO	57
6.1.2. METODOLOGIA UTILIZADA	63
6.2. RESULTADOS	67
6.2.1. ANÁLISE DE RESULTADOS	67
6.2.1.1. Apresentação dos resultados de todas as amostras ensaiadas	67
6.2.1.2. Resultados obtidos nos materiais base utilizados como subcamadas	73
6.2.2. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS	75
6.2.2.1. Introdução	75
6.2.2.2. Influência do material utilizado como subcamada	75
6.2.2.3. Influência do tipo de tinta	77
6.2.2.4. Influência da percentagem de incorporação de pó	80
6.2.2.5. Influência do número de demãos	82
6.2.2.6. Absorção sonora do pó de cortiça	84
7. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	89
7.1. CONCLUSÕES	89
7.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	93
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95
ANEXO A RESUMO DE RESULTADOS	97
ANEXO B REGISTO FOTOGRÁFICO	111

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura.1.1 – Sobreiro	1
Figura 1.2 – Montado de Sobro	1
Figura 2.1 – Alterações na Pressão Sonora	3
Figura 2.2 - Pressão e correspondentes níveis de pressão sonora	5
Figura 2.3 – Ajuste da curva do material ensaiado à curva de referência para cálculo de α_w	8
Figura 2.4 - Esquema de funcionamento do tubo de ondas estacionárias	9
Figura 2.5 – Definição de Tempo de Reverberação	10
Figura 2.6 - Zona e eficácia de absorção dos principais tipos de sistemas absorventes	13
Figura 2.7 – Valores do coeficiente de absorção sonora de Alcatifa de lã com 6 e 9,5 cm	15
Figura 2.8 - Influência do Franzido de cortinados na Absorção Sonora	15
Figura 2.9 – Valores do coeficiente de absorção sonora de uma massa porosa com espessuras nominais de 13 mm e 25 mm	16
Figura 2.10 - Lã mineral de espessura variável. Linha a cheio – 30 mm; Linha cruz – 40 mm; tracejado – 80 mm	16
Figura 2.11 – Influência da massa volúmica da lã de rocha no coeficiente de absorção sonora	17
Figura 2.12 - Valores do coeficiente de absorção sonora do aglomerado negro e aglomerado composto de cortiça	18
Figura 2.13 - Ressonador de Helmholtz: Esquema real à esquerda e de funcionamento à direita	19
Figura 2.14 – Esquema de variação dos coeficientes de absorção sonora para ressoadores agrupados onde se verifica o efeito da percentagem de furação	20
Figura 2.15 - Ábaco para determinação da frequência de ressonância de membranas de madeira (ou derivados)	22
Figura 2.16 - Esquema de previsão da eficácia do sistema de membrana de madeira (ou derivados)	22
Figura 3.1 e 3.2 – Pinturas, Arte Rupestre	23
Figura 3.3 - Pigmentos	26
Figura 4.1 – Sobreiro	33
Figura 4.2 - Representatividade de Portugal na área de distribuição mundial do sobreiro (gráfico 1), na produção mundial de cortiça (gráfico 3) e distribuição geográfica nacional da produção de cortiça em Portugal, dados de 2006/2007	34
Figura 4.3 – Esquemas do crescimento da cortiça	35
Figura 4.4 - Abrir	36
Figura 4.5 – Separar	36
Figura 4.6 - Separar	36

Figura 4.7 – Extrair	37
Figura 4.8 - Remover	37
Figura 4.9 – Marcar a árvore	37
Figura 4.10 - Processo de transformação da cortiça	38
Figura 4.11 – Estrutura macroscópica da cortiça	40
Figura 4.12 - Estrutura microscópica da cortiça	41
Figura 4.13 - Canais lenticulares na cortiça	44
Figura 4.14 – Cortiça com diferentes coeficientes de porosidade	44
Figura 4.15 - Exemplo de bofe na cortiça	45
Figura 4.16 - Exemplos de verde na cortiça; (a) antes e (b) após secagem	45
Figura 4.17 - Exemplos de enguiado na cortiça; (a) Fendas na cortiça virgem; (b) Secção transversal de um bocado de cortiça amadia onde é possível observar fendas bastante pronunciadas; (c) Enguiado na raspa da cortiça	46
Figura 4.18 – Ângulo de contacto de uma gota de líquido quando sobreposta a uma superfície sólida	47
Figura 4.19 - Diferentes graus de molhabilidade que um sólido pode apresentar quando lhe é sobreposto um líquido dependendo das suas características	47
Figura 4.20 - Coeficiente de absorção sonora de aglomerado negro de cortiça com duas espessuras em função da frequência: (a) $e= 15$ mm; (b) $e= 25$ mm	49
Figura 5.1 e 5.2 – Amostras com 5% e 10% de Pó de Cortiça	53
Figura 5.3 – Análise à granulometria do pó de cortiça em volume	54
Figura 5.4 - Análise à granulometria do pó de cortiça em número	54
Figura 5.5 – Morfologia do Pó de Cortiça de 222 μ m de diâmetro médio ampliado de 50 vezes	55
Figura 5.6 - Morfologia do Pó de Cortiça de 222 μ m de diâmetro médio ampliado de 500 vezes	55
Figura 6.1 – Áreas de absorção sonora equivalente, em m^2 , máximas e medidas (dias 22 de Abril a 10 de Maio) durante os ensaios na câmara reverberante R1 da FEUP	59
Figura 6.2 - Corte transversal esquemático das Câmaras Reverberantes	63
Figura 6.3 – Planta esquemática da Câmara Reverberante R1 do Laboratório de Acústica da FEUP	63
Figura 6.4 e 6.5 - Entrada e aspecto interior da câmara reverberante R1 da FEUP	64
Figura 6.6 - Planta esquemática, sem escala, das posições relativas dos microfones e fonte sonora com a câmara vazia durante os ensaios	64
Figura 6.7 – Planta esquemática, sem escala, das posições relativas dos microfones e fonte sonora com a câmara com a amostra durante os ensaios	65
Figura 6.8 - Aspecto da curva de decaimento ideal no cálculo do tempo de reverberação em câmara reverberante	66
Figura 6.9 – Curva característica do decaimento do tempo de reverberação em câmara reverberante nas altas frequências	66

Figura 6.10 - Representação dos tempos de reverberação médios obtidos numa das amostras ensaiadas	67
Figura 6.11 – Coeficientes de absorção sonora, α , de cada amostra ensaiada em câmara reverberante	70
Figura 6.12 – Coeficientes de absorção sonora, α , de cada amostra ensaiada em câmara reverberante numa escala de 0 a 0,20	71
Figura 6.13 - Coeficientes de absorção sonora, α , a partir da frequência 1000 Hz de cada amostra ensaiada em câmara reverberante	73
Figura 6.14 - - Coeficiente de absorção sonora, α , por banda de frequência, obtido em câmara reverberante, da amostra de chapa	74
Figura 6.15 – Coeficiente de absorção sonora, α , por banda de frequência, obtido em câmara reverberante, da amostra de madeira	75
Figura 6.16 - Coeficientes de absorção sonora, α , para a amostra de chapa, amostra de chapa com aplicação de tinta <i>Contrato</i> com 2 % de pó de cortiça, amostra de madeira e amostra de madeira com aplicação de tinta <i>Contrato</i> com 2 % de pó de cortiça	76
Figura 6.17 - Diferenças de coeficiente de absorção sonora, $\Delta\alpha$, entre a amostra de chapa com aplicação de tinta <i>Contrato</i> com 2 % de incorporação de pó de cortiça e a amostra de chapa, assim como as diferenças de $\Delta\alpha$ entre a amostra de madeira com aplicação de tinta <i>Contrato</i> com 2 % de incorporação de pó de cortiça e a amostra de madeira	77
Figura 6.18 - Coeficientes de absorção sonora, α , para a amostra de chapa, amostra de chapa com aplicação de tinta <i>Contrato</i> , amostra de madeira e amostra de madeira com aplicação de tinta <i>Vinylsilk</i>	78
Figura 6.19 – Diferenças de coeficiente de absorção sonora, $\Delta\alpha$, entre a amostra de chapa com aplicação de tinta <i>Contrato</i> e a amostra de chapa, assim como as diferenças de $\Delta\alpha$ entre a amostra de madeira com aplicação de tinta <i>Vinylsilk</i> e a amostra de madeira	78
Figura 6.20 - Coeficientes de absorção sonora, α , para a amostra de madeira, amostra de madeira com aplicação de tinta <i>Contrato</i> com 2 % de pó de cortiça e amostra de madeira com aplicação de tinta <i>Vinylsilk</i> com 3 % de pó de cortiça	79
Figura 6.21 - Diferenças de coeficiente de absorção sonora, $\Delta\alpha$, entre a amostra de madeira com aplicação de tinta <i>Contrato</i> com 2 % de incorporação de pó de cortiça e a amostra de madeira, assim como as diferenças de $\Delta\alpha$ entre a amostra de madeira com aplicação de tinta <i>Vinylsilk</i> com 3 % de incorporação de pó de cortiça e a amostra de madeira	79
Figura 6.22 - Coeficientes de absorção sonora, α , para a amostra de madeira , amostra de madeira com aplicação de uma demão de tinta <i>Vinylsilk</i> , amostra de madeira com aplicação de uma demão de tinta <i>Vinylsilk</i> com 3 % de incorporação de pó de cortiça, amostra de madeira com aplicação de duas demãos de tinta <i>Vinylsilk</i> com 3 % de incorporação de pó de cortiça e amostra de madeira com aplicação de uma “tinta/massa” <i>Vinylsilk</i> com 5 % de incorporação de pó de cortiça.....	80
Figura 6.23 - Diferenças de coeficiente de absorção sonora, $\Delta\alpha$, entre a amostra de madeira com aplicação de uma demão de tinta <i>Vinylsilk</i> , a amostra de madeira com aplicação de uma demão de tinta <i>Vinylsilk</i> com 3 % de incorporação de pó de cortiça, a amostra de madeira com aplicação de duas demãos de tinta <i>Vinylsilk</i> com 3 % de incorporação de pó de cortiça, a amostra de madeira com	

aplicação de uma “tinta/massa” <i>Vinylsilk</i> com 5 % de incorporação de pó de cortiça e a amostra de madeira.....	81
Figura 6.24 - Diferenças de coeficiente de absorção sonora, $\Delta\alpha$, entre a amostra de madeira com aplicação de uma demão de tinta <i>Vinylsilk</i> com 3 % de incorporação de pó de cortiça, a amostra de madeira com aplicação de duas demãos de tinta <i>Vinylsilk</i> com 3 % de incorporação de pó de cortiça, a amostra de madeira com aplicação de uma “tinta/massa” <i>Vinylsilk</i> com 5 % de incorporação de pó de cortiça e a amostra de madeira com aplicação de uma demão de tinta <i>Vinylsilk</i>	82
Figura 6.25 - Coeficientes de absorção sonora, α , para a amostra de madeira com aplicação de uma demão de tinta <i>Vinylsilk</i> com 3 % de incorporação de pó de cortiça, amostra de madeira com aplicação de duas demãos de tinta <i>Vinylsilk</i> com 3 % de incorporação de pó de cortiça, amostra de madeira com aplicação de uma demão de tinta <i>KAR</i> e amostra de madeira com aplicação de duas demãos de tinta <i>KAR</i>	83
Figura 6.26 - Diferenças de coeficiente de absorção sonora, $\Delta\alpha$, entre a amostra de madeira com aplicação de uma demão de tinta <i>Vinylsilk</i> com 3 % de incorporação de pó de cortiça, amostra de madeira com aplicação de duas demãos de tinta <i>Vinylsilk</i> com 3 % de incorporação de pó de cortiça, amostra de madeira com aplicação de uma demão de tinta <i>KAR</i> , amostra de madeira com aplicação de duas demãos de tinta <i>KAR</i> e a amostra de madeira	84
Figura 6.27 - Coeficientes de absorção sonora, α , para a amostra de madeira e amostra de madeira com pó de cortiça em emulsão	85
Figura 6.28 - Coeficientes de absorção sonora, α , por banda de 1/1 oitava para o aglomerado de cortiça com 3 mm de espessura, da amostra de madeira com pó de cortiça e o incremento da amostra de madeira com pó de cortiça em relação à amostra de madeira.....	86
Figura 6.29 - Coeficientes de absorção sonora, α , para a amostra de madeira, amostra de madeira com pó de cortiça em emulsão, amostra de madeira com aplicação de duas demãos de tinta <i>Vinylsilk</i> com 3 % de pó de cortiça e amostra de madeira com aplicação de uma “tinta/massa” <i>Vinylsilk</i> com 5 % de incorporação de pó de cortiça.....	87
Figura A.1 - Coeficiente de absorção sonora, α , por banda de frequência, obtido em câmara reverberante, da amostra de chapa	99
Figura A.2 - Coeficiente de absorção sonora, α , por banda de frequência, obtido em câmara reverberante, da amostra de chapa com aplicação de uma demão de tinta <i>Contrato</i>	100
Figura A.3 - Coeficiente de absorção sonora, α , por banda de frequência, obtido em câmara reverberante, da amostra de chapa com aplicação de uma demão de tinta <i>Contrato</i> com 2% de pó de cortiça	101
Figura A.4 - Coeficiente de absorção sonora, α , por banda de frequência, obtido em câmara reverberante, da amostra de madeira	102
Figura A.5 - Coeficiente de absorção sonora, α , por banda de frequência, obtido em câmara reverberante, da amostra de madeira com aplicação de uma de demão de tinta <i>Contrato</i> com 2 % de incorporação de pó de cortiça	103
Figura A.6 - Coeficiente de absorção sonora, α , por banda de frequência, obtido em câmara reverberante, da amostra de madeira com pó de cortiça em emulsão.....	104
Figura A.7 - Coeficiente de absorção sonora, α , por banda de frequência, obtido em câmara reverberante, da amostra de madeira com aplicação de uma demão de tinta <i>KAR</i>	105

Figura A.8 - Coeficiente de absorção sonora, α , por banda de frequência, obtido em câmara reverberante, da amostra de madeira com aplicação de duas demãos de tinta <i>KAR</i>	106
Figura A.9 - Coeficiente de absorção sonora, α , por banda de frequência, obtido em câmara reverberante, da amostra de madeira com aplicação de uma massa com 5% de pó de cortiça	107
Figura A.10 - Coeficiente de absorção sonora, α , por banda de frequência, obtido em câmara reverberante, da amostra de madeira com aplicação de uma demão de tinta <i>Vinylsilk</i>	108
Figura A.11 - Coeficiente de absorção sonora, α , por banda de frequência, obtido em câmara reverberante, da amostra de madeira com aplicação de uma demão de tinta <i>Vinylsilk</i> com 3 % de incorporação de pó de cortiça	109
Figura A.12 - Coeficiente de absorção sonora, α , por banda de frequência, obtido em câmara reverberante, da amostra de madeira com aplicação de duas demãos de tinta <i>Vinylsilk</i> com 3 % de incorporação de pó de cortiça	110
Figura B.1 - Fotografia do Termo – Higrómetro utilizado durante os ensaios	113
Figura B.2 - Pormenor do Termo – Higrómetro utilizado durante os ensaios	113
Figura B.3 -Pormenor de um dos microfones <i>Brüel & Kjaer</i> tipo 4190 utilizados durante os ensaios	114
Figura B.4 - Pormenor do Calibrador <i>Brüel & Kjaer</i> – tipo 4226 utilizado nos ensaios	114
Figura B.5 - Fotografia de uma posição relativa da fonte sonora durante os ensaios com a câmara vazia	115
Figura B.6 - Fotografia de uma posição relativa da fonte sonora durante o ensaio da amostra de madeira	115
Figura B.7 - Fotografia de uma posição relativa da fonte sonora durante o ensaio da amostra de madeira com aplicação de uma “tinta/massa” <i>Vinylsilk</i> com 5% de pó de cortiça.....	116
Figura B.8 - Fotografia de posição relativa da fonte sonora durante o ensaio da amostra de madeira com aplicação de duas demãos de tinta <i>Vinylsilk</i> com 3% de incorporação de pó de cortiça	116
Figura B.9 - Fotografia de uma posição relativa da fonte sonora durante o ensaio da amostra de chapa com aplicação de uma demão de tinta <i>Contrato</i>	117
Figura B.10 - Fotografia de uma posição relativa da fonte sonora durante o ensaio da amostra com Pó de Cortiça em emulsão.....	117

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Frequências nominais utilizadas em Acústica	6
Quadro 2.2 – Classes de classificação do coeficiente de absorção sonora ponderado, α_w	8
Quadro 4.1 – Composição química média da cortiça virgem e da cortiça amadia (entre parêntesis o desvio – padrão).....	42
Quadro 4.2 – Propriedades térmicas da cortiça	48
Quadro 5.1 – Resultados Granulométricos do Pó de Cortiça.....	54
Quadro 6.1 – Área máxima de absorção sonora equivalente para câmaras com um volume $V= 200 \text{ m}^3$	58
Quadro 6.2 - Valores medidos durante os ensaios de 22 de Abril a 10 de Maio de temperatura e humidade relativa	60
Quadro 6.3 - Absorção sonora do ar, em m^{-1} , em função da humidade relativa	61
Quadro 6.4 - Quadro síntese dos coeficientes de absorção sonora, α , por banda de frequência obtido em câmara reverberante	68
Quadro 6.5 - Quadro resumo com os valores do coeficiente de absorção sonora, α , da amostra de chapa de madeira por frequência	74
Quadro 6.6 - Coeficientes de absorção sonora, α , por banda de 1/1 oitava para o aglomerado de cortiça com 3 mm de espessura, da amostra de madeira com pó de cortiça e o incremento da amostra de madeira com pó de cortiça em relação à amostra de madeira	86
Quadro 7.1 - Quadro resumo das variações do coeficiente de absorção sonora, $\Delta\alpha$, por frequência e em percentagem.....	91
Quadro A.1 - Quadro resumo com o valor dos tempos de reverberação da câmara vazia (T_1) e com amostra (T_2) assim como o valor do coeficiente de absorção sonora, α , da amostra de chapa	99
Quadro A.2 - Quadro resumo com o valor dos tempos de reverberação da câmara vazia (T_1) e com amostra (T_2) assim como o valor do coeficiente de absorção sonora, α , da amostra de chapa com aplicação de uma demão de tinta <i>Contrato</i>	100
Quadro A.3 - Quadro resumo com o valor dos tempos de reverberação da câmara vazia (T_1) e com amostra (T_2) assim como o valor do coeficiente de absorção sonora, α , da amostra de chapa com aplicação de uma demão de tinta <i>Contrato</i> com 2% de pó de cortiça.....	101
Quadro A.4 - Quadro resumo com o valor dos tempos de reverberação da câmara vazia (T_1) e com amostra (T_2) assim como o valor do coeficiente de absorção sonora, α , da amostra de madeira.....	102
Quadro A.5 - Quadro resumo com o valor dos tempos de reverberação da câmara vazia (T_1) e com amostra (T_2) assim como o valor do coeficiente de absorção sonora, α , da amostra de madeira com aplicação de uma de demão de tinta <i>Contrato</i> com 2 % de incorporação de pó de cortiça	103
Quadro A.6 - Quadro resumo com o valor dos tempos de reverberação da câmara vazia (T_1) e com amostra (T_2) assim como o valor do coeficiente de absorção sonora, α , da amostra de madeira com pó de cortiça em emulsão	104

Quadro A.7 - Quadro resumo com o valor dos tempos de reverberação da câmara vazia (T_1) e com amostra (T_2) assim como o valor do coeficiente de absorção sonora, α , da amostra de madeira com aplicação de uma demão de tinta <i>KAR</i>	105
Quadro A.8 - Quadro resumo com o valor dos tempos de reverberação da câmara vazia (T_1) e com amostra (T_2) assim como o valor do coeficiente de absorção sonora, α , da amostra de madeira com aplicação de duas demãos de tinta <i>KAR</i>	106
Quadro A.9 - Quadro resumo com o valor dos tempos de reverberação da câmara vazia (T_1) e com amostra (T_2) assim como o valor do coeficiente de absorção sonora, α , da amostra de madeira com aplicação de uma massa com 5 % de pó de cortiça	107
Quadro A.10 - Quadro resumo com o valor dos tempos de reverberação da câmara vazia (T_1) e com amostra (T_2) assim como o valor do coeficiente de absorção sonora, α , da amostra de madeira com aplicação de uma demão de tinta <i>Vinylsilk</i>	108
Quadro A.11 - Quadro resumo com o valor dos tempos de reverberação da câmara vazia (T_1) e com amostra (T_2) assim como o valor do coeficiente de absorção sonora, α , da amostra de madeira com aplicação de uma demão de tinta <i>Vinylsilk</i> com 3 % de incorporação de pó de cortiça.....	109
Quadro A.12 - Quadro resumo com o valor dos tempos de reverberação da câmara vazia (T_1) e com amostra (T_2) assim como o valor do coeficiente de absorção sonora, α , da amostra de madeira com aplicação de duas demãos de tinta <i>Vinylsilk</i> com 3 % de incorporação de pó de cortiça	110

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

- α – Coeficiente de absorção sonora teórico
- α_s – Coeficiente de absorção sonora medido
- α_w – Coeficiente de absorção sonora ponderado
- α_d – Coeficiente de absorção sonora para incidência difusa
- α_n – Coeficiente de absorção sonora para incidência normal
- Δf – Amplitude de frequências [Hz]
- ΔL – Variação do nível de pressão sonora [dB]
- λ – Comprimento de onda [m]
- ρ – Massa volúmica [kg/m^3]
- ρ_0 – Massa volúmica do meio [kg/m^3]
- A – Área de absorção sonora equivalente [m^2]
- A_0 – Área de absorção sonora equivalente antes do tratamento acústico do local [m^2]
- A_1 – Área de absorção sonora equivalente após tratamento acústico do local [m^2]
- A_j – Absorção sonora localizada j [m^2]
- A_T – Área de absorção sonora equivalente total [m^2]
- c – Celeridade [m/s]
- d – Espessura de caixa de ar [m]
- f – Frequência [Hz]
- f_0 – Frequência central de banda [Hz]
- f_1 – Frequência limite inferior de banda [Hz]
- f_2 – Frequência limite superior de banda [Hz]
- I – Intensidade sonora [W/m^2]
- I_0 – Intensidade sonora de referência [Pa]
- K – Constante que toma o valor de 1 ou 1/3 consoante a banda de frequência ser 1 ou 1/3
- l – Comprimento [m]
- L_I – Nível de intensidade sonora [dB]
- L_P – Nível de pressão sonora [dB]
- $L_{P(t)}$ – Nível de pressão sonora médio no instante t [dB]
- L_W – Nível de potência sonora [dB]
- m – Massa Superficial [kg/m^2]
- m – Absorção sonora do ar [m^{-1}]

p – Pressão sonora [Pa]

P – Percentagem de furação [%]

p_0 – Pressão sonora de referência [Pa]

r – Raio [m]

S – Secção [m²]

T – Tempo de reverberação [s]

T_1 – Tempo de reverberação, medido em câmara reverberante vazia [s]

T_2 – Tempo de reverberação, medido após a colocação de um provete na câmara reverberante [s]

v – Velocidade [m/s]

V – Volume [m³]

W – Potência sonora [W]

W_0 – Potência sonora de referência [Pa]

CIN - Corporação Industrial do Norte

FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

INETI – Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação

NRC – *Noise Reduction Coefficient*

PIDS – Polarization intensive differential scattering

PVC – Concentração Volumétrica de Pigmento

SI – Sistema Internacional

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO E OBJECTIVOS

A cortiça é um material de origem vegetal extraído da casca do sobreiro (*Quercus Suber*), uma árvore nobre com características muito especiais e que cresce nas regiões mediterrânicas como Espanha, Itália, França, Marrocos, Argélia e, sobretudo, Portugal, onde existem mais de 720 mil hectares de montado de sobreiro, bem como uma indústria corticeira de grande importância económica. É uma árvore de grande longevidade e com uma enorme capacidade de regeneração vivendo em média 250 a 300 anos, embora se considere que a idade limite para a produção de cortiça seja de 150 a 200 anos, nos quais está sujeita a cerca de 16 descortiçamentos intercalados por períodos de nove anos [1].



Figura 1.1 - Sobreiro [1].



Figura 1.2 - Montado de Sobreiro [1].

Este tecido vegetal encerra qualidades únicas sendo as mais exploradas a sua leveza, a sua capacidade impermeável a líquidos e a gases, ser elástica e compressível, possuir capacidades isolantes quer térmicas quer acústicas, ser de combustão lenta e ainda muito resistente ao atrito. O “segredo” das suas propriedades encontra-se na sua estrutura celular. O interior da cortiça é formado por uma “colmeia” de pequenas células de suberina (45%), ácido complexo responsável pela elasticidade da cortiça. É ainda formada por lenhina (27%) que dota a cortiça das suas propriedades isolantes, pelos polissacáridos (12%) que ajudam a definir a textura da cortiça, pelos taninos (6%) responsável pela cor e ainda pelos ceróides (5%) que asseguram a impermeabilidade da cortiça [2].

Há séculos que o maior “embaixador” da cortiça é a rolha natural, sendo um vedante de qualidade singular, eleito e requisitado pelos grandes produtores de vinho. No entanto a cortiça origina múltiplas outras aplicações que é possível encontrar em pavimentos e revestimentos, artigos decorativos para a

casa e escritório, solas e outras aplicações na indústria do calçado, juntas de automóveis, produtos para a indústria militar e de aviação, e muitos outros com *design* inovador [1].

Serve esta dissertação para acrescentar um maior valor a este produto, visando dar uma utilidade a um subproduto da indústria corticeira, designadamente o pó de cortiça. Hoje em dia este subproduto é utilizado nas próprias fábricas aproveitando o seu poder calorífico para a geração de energia.

No entanto, derivado do processo de transformação, a quantidade de pó de cortiça resultante traz o desafio de tentar criar novos usos e aplicações. Assim, sendo conhecidas as propriedades acústicas da cortiça, pretende-se desenvolver um novo produto, que consiste na incorporação de pó de cortiça a tintas em diversos substratos com diferentes propriedades e características de aplicação na construção civil de forma a analisar a melhoria de desempenho acústico.

Desta forma realizaram-se diversas amostras, para efectuar uma despistagem inicial e, com as amostras que se demonstraram serem favoráveis à aplicação deste novo produto, avançou-se para ensaios mais eficazes como o realizado pelo Método da Câmara Reverberante.

Após a realização dos ensaios, efectuou-se uma análise comparativa equiparando os diferentes substratos onde foi aplicado o novo produto, a influência do tipo de tinta utilizada, as diferentes percentagens de massa incorporada de pó de cortiça e a importância do número de demãos aplicadas.

1.2. ESTRUTURA

Esta dissertação organiza-se em sete capítulos, sendo o primeiro capítulo uma breve descrição da matéria-prima cortiça e dos objectivos deste trabalho, assim como a explicação de como este se desenvolve.

Quanto ao segundo capítulo, este pretende esclarecer os vários elementos e conceitos básicos acústicos, para uma melhor percepção do leitor, assim como explicar de forma detalhada a absorção sonora, o tempo de reverberação e a correcção acústica por se tratarem dos grandes componentes abordados nesta dissertação.

O capítulo três pretende abordar de forma breve as principais características e propriedades das tintas.

No capítulo quarto, e seguindo o mesmo espírito que no capítulo três, são abordadas as propriedades, definições e estrutura de produção da cortiça.

No capítulo quinto desenvolve-se a forma como esta dissertação foi elaborada, referindo a pesquisa efectuada na área das tintas acústicas e processo efectuado até atingir as tintas a serem efectivamente ensaiadas e testadas.

Quanto ao capítulo sexto surgem os ensaios e resultados, explicando a metodologia utilizada e apresentando os resultados das experiências efectuadas.

No sétimo capítulo, apresentam-se as conclusões que foram possíveis de determinar e os desenvolvimentos futuros.

2

NOÇÕES BASE DE ACÚSTICA

2.1.NOÇÕES GERAIS

2.1.1. ELEMENTOS BÁSICOS

A Acústica é o ramo da física que se dedica ao estudo e análise das ondas sonoras, sendo a sua preocupação mais antiga a análise filosófica da origem e propagação do som. Este propaga-se num meio, sendo que nesta dissertação se limita o estudo à análise no ar, sob a forma de ondas esféricas. O centro das esferas refere-se à fonte sonora e é neste ponto que se dá uma alteração de pressão. Esta mudança de pressão provoca uma vibração no meio, que uma vez estimulado propaga esse estímulo até ao ouvido. Caso essa variação encontre significado no cérebro, ou for agradável considera-se que se está na presença de Som, caso contrário, se não for encontrado significado, ou se for desagradável considera-se que se está na presença de Ruído [3].

A variação de pressões que se assiste na produção de ondas sonoras é referenciada para a pressão atmosférica normal do nosso planeta que tem o valor aproximado de 101 400 pascal (Pa), logo, só se sente que existe uma alteração na pressão sonora quando a pressão é superior a este valor, como pode ser observado na figura 2.1.

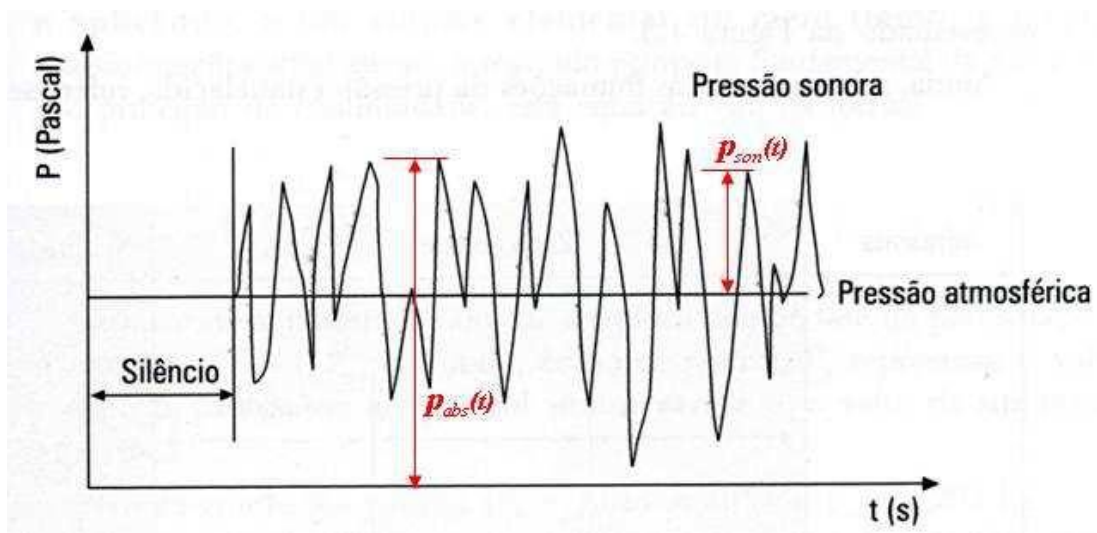


Figura 2.1 - Alterações na Pressão Sonora [4].

Utilizando a lei das transformações adiabáticas, o segundo princípio fundamental da mecânica juntamente com o princípio da continuidade, obtém-se a lei geral da propagação das ondas de pressão sonora (num meio homogéneo, isotrópico, sem viscosidade e em repouso), expressa da seguinte forma:

$$\nabla^2 p = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} \quad (2.1)$$

Em que p é a pressão em Pa, c representa a celeridade ou velocidade de propagação das ondas no meio, que varia com a temperatura de acordo com a seguinte expressão:

$$c(m/s) = 20,045\sqrt{T} \quad (2.2)$$

Em que:

$$T(K) = 273,15 + \theta (^{\circ}C) \quad (2.3)$$

Ou seja, admitindo uma temperatura de 20 °C, $c = 343$ m/s.

No entanto, a pressão não é a única grandeza importante para a análise da propagação sonora. A intensidade e a potência sonoras são conceitos importantes na definição da propagação do som.

A intensidade sonora (I) é, numa dada direção, a quantidade média de energia que atravessa por segundo uma área de 1 m^2 , normal a essa direção e quantifica-se em watt por metro quadrado (W/m^2) [3]. Ou seja, possibilita avaliar a componente vectorial do som.

A potência sonora (W) é uma característica da fonte e descreve-se como sendo a energia total que num segundo atravessa a esfera fictícia de raio qualquer centrada na fonte e quantifica-se em watt (W).

Estas três grandezas relacionam-se entre si da seguinte forma:

$$I = \frac{W}{4\pi r^2} = \frac{p^2}{\rho c} \quad (2.4)$$

Onde,

I = Intensidade sonora (W/m^2)

W = Potência sonora (W)

r = Distância (m)

p = Pressão sonora (Pa)

ρ = Massa volúmica (ar) $\approx 1,2 \text{ kg}/\text{m}^3$

c = Celeridade ≈ 340 m/s.

O valor mínimo da variação de pressão que um ser humano jovem de audição normal pode ouvir é de cerca 10^{-5} Pa, designado por limiar da audição. No outro extremo, o valor máximo que a partir do qual se passa de ruído a dor situa-se nos 100 Pa. Desta forma, a gama de audibilidade humana conduz a

valores muito díspares e de uso pouco prático. Assim, adoptou-se outra unidade, de forma a adaptar à sensibilidade humana, para estimar esta grandeza, o decibel (dB). Esta unidade pode ser adoptada sempre que se deseje estimar o nível de alguma quantidade face a um valor de referência. Desta forma, utiliza-se a seguinte expressão para converter pressões (p) para níveis de pressão sonora (L_p) [3]:

$$L_p = 20 \log \frac{p}{p_0} \quad (2.5)$$

Em que, p_0 é a pressão sonora de referência, 2×10^{-5} Pa.

Na figura 2.2 é possível comparar a pressão sonora com os níveis de pressão sonora.

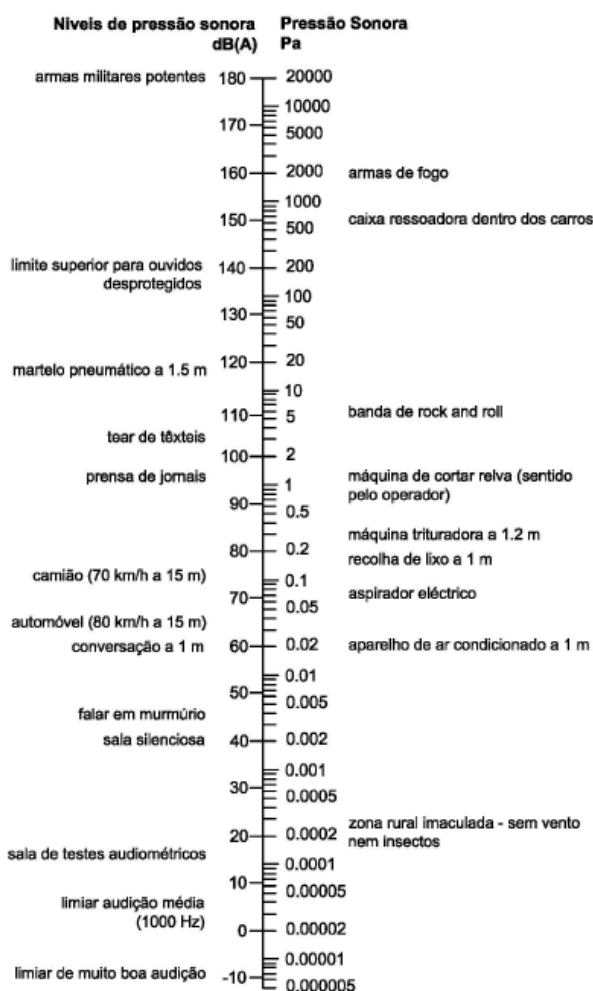


Figura 2.2 - Pressão e correspondentes níveis de pressão sonora [5]

A seguir à pressão sonora, a frequência é a segunda característica mais importante quando se pretende descrever um sinal sonoro [3]. Esta grandeza mede-se em hertz (Hz) e designa o número

de ciclos completos por segundo. Geralmente distingue-se três grandes zonas de frequências, que representam a gama de audição dos humanos:

Frequências graves: 20 a 355 Hz;

Frequências médias: 355 a 1 410 Hz;

Frequências agudas: 1 410 a 20 000 Hz.

Com isto percebe-se que a análise detalhada por frequência se apresenta muito abrangente. Por conseguinte, dividem-se os ruídos em grupos de frequências designados por bandas de frequência que correspondem a intervalos de certa dimensão normalizada.

Desta forma, uma banda é um agrupamento de frequências entre um limite inferior (f_1) e superior (f_2). Ao valor médio geométrico é atribuída a designação de frequência central ou nominal (f_0).

Existem bandas de frequências com diversas larguras (B), isto é, a largura representa a diferença entre o valor superior e inferior e assim pode-se encontrar bandas de 1/1 oitava, 1/3 de oitava, etc.

$$B = f_2 - f_1 = \frac{2^K - 1}{\sqrt{2^K}} f_0 \quad (2.6)$$

Sendo que K=1 ou 1/3 se for bandas de 1/1 oitava ou 1/3 de oitava, respectivamente. As frequências nominais utilizadas em acústica apresentam-se no quadro 2.1.

Quadro 2.1 - Frequências nominais utilizadas em Acústica [3].

Banda de Frequência	Frequência Nominal (Hz)														
	25	31	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630
1/3 de oitava	25	31	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630
1/1 oitava	31			63			125			250			500		
1/3 de oitava	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000	12500	16000	20000
1/1 oitava	1000			2000			4000			8000			16000		

2.1.2. ABSORÇÃO SONORA

2.1.2.1. Coeficiente de absorção sonora

A absorção sonora define-se como sendo a propriedade que os materiais possuem de poderem transformar parte da energia sonora que sobre eles incide noutra forma de energia, sendo a energia térmica a mais corrente, ou ainda, segundo a Norma Portuguesa NP 3225/1 [6] define-se absorção sonora de um meio como sendo a redução da potência sonora por dissipação resultante da propagação do som nesse meio [7]. Depende do tipo de superfícies, do ângulo de incidência, da frequência da onda e das condições de aplicação do sistema do qual o material é constituinte.

Denomina-se por coeficiente de absorção sonora e designa-se por α (alfa) a relação entre a quantidade de energia sonora que é dissipada ou absorvida por determinado material e aquela que sobre ele incide.

Esta relação é quantificada de 0 a 1, o que simboliza que um material que possua um coeficiente de absorção sonora de 0,5 absorve 50% da energia que sobre ele incide. Desta forma, os materiais podem ser classificados pelo valor do seu coeficiente de absorção sonora. Materiais com valores do coeficiente superiores a 0,5 são já considerados absorventes [3].

2.1.2.2. Parâmetros de descrição

A partir do coeficiente de absorção sonora é possível determinar outros parâmetros para classificar os materiais absorventes. Um deles é o *noise reduction coefficient*, NRC, que resulta da média aritmética dos coeficientes de absorção sonora nas frequências de 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz e 2 kHz, aproximado a múltiplos de 0,05.

A expressão 2.7 indica o modo de cálculo do NRC. Este parâmetro é assim uma medida da eficiência média de absorção e não uma medida da diferença entre níveis sonoros entre dois compartimentos tal como o nome poderia insinuar. Contudo este parâmetro acarreta algumas limitações, pois por se tratar de uma média aritmética numa estreita gama de frequências poderá dar-se a possibilidade de vários materiais terem o mesmo valor de NRC e possuírem características de absorção muito distintas. Além disso esta média não inclui as bandas de frequência de 125 Hz e 4 kHz, logo não deve ser usado para definir sistemas onde as baixas ou muito altas frequências são uma componente relevante. Este parâmetro é muito usado nos Estados Unidos da América e Canadá [3].

$$NRC = \frac{\alpha_{250} + \alpha_{500} + \alpha_{1k} + \alpha_{2k}}{4} \quad (2.7)$$

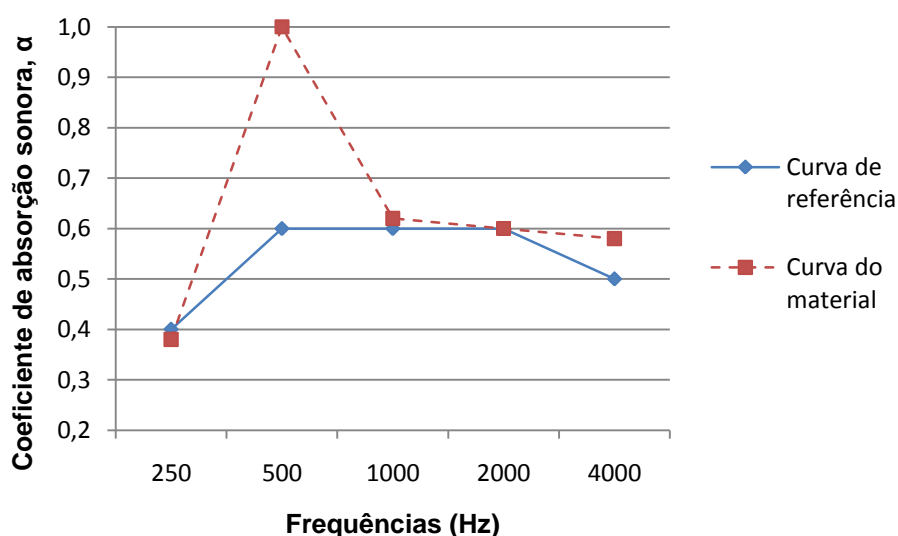
Outro parâmetro utilizado para definir materiais e sistemas de absorção sonora a partir do seu respectivo coeficiente é o coeficiente de absorção sonora ponderado, α_w . O coeficiente de absorção sonora ponderado é calculado de acordo com o procedimento indicado na norma EN ISO 11654:1997 [8].

A partir de uma curva de coeficiente de absorção sonora em bandas de 1/1 oitava dos 250 Hz aos 4 kHz, o coeficiente de absorção sonora é calculado a partir do ajuste de uma curva de referência para que a soma dos desvios inferiores à curva de referência seja inferior a 0,10. A curva de referência tem coordenadas relativas, dos 250 Hz aos 4 kHz, 0,70; 0,90; 0,90; 0,90; 0,80 e os ajustes são em múltiplos de 0,05. A figura 2.3 mostra, a cheio, uma curva de referência ajustada a uma curva do coeficiente de absorção sonora de um dado material. O coeficiente de absorção sonora ponderado é o valor da curva de referência, após o ajuste, na banda de frequência dos 500 Hz. Se uma curva é superior à curva de referência, numa dada frequência, em pelo menos 0,25 junta-se ao resultado do coeficiente de absorção sonora ponderado um indicador L, M ou H. Se a diferença positiva referida ocorrer nos 250 Hz então o indicador é L (*low*). Se, por outro lado, a diferença ocorrer nos 500 Hz ou 1 kHz então o indicador a usar é M (*medium*). Finalmente se a diferença ocorrer nos 2 kHz ou 4 kHz o indicador a usar é H (*high*). Associadas ao coeficiente de absorção sonora ponderado estão as classes de absorção sonora. Um elemento ou material tem uma dada classe de absorção consoante o valor de α_w : A: $\alpha_w \geq 0,9$; B: $0,80 \leq \alpha_w \leq 0,85$; C: $0,75 \leq \alpha_w \leq 0,60$; D: $0,30 \leq \alpha_w \leq 0,55$; E: $0,15 \leq \alpha_w \leq 0,25$ e *sem classificação*: $\alpha_w \leq 0,10$, como se pode consultar no quadro 2.2.

Retomando o exemplo da figura 2.3, em que a curva de um dado material aparece a tracejado. Note-se a diferença positiva de 0,25 nos 500 Hz após o ajuste da curva de referência. O coeficiente de absorção sonora ponderado, α_w é 0,6 (M) [3 e 7].

Quadro 2.2 – Classes de classificação do coeficiente de absorção sonora ponderado, α_w .

Classe	Intervalo de α_w
A	$\alpha_w \geq 0,90$
B	$0,80 \leq \alpha_w \leq 0,85$
C	$0,75 \leq \alpha_w \leq 0,60$
D	$0,30 \leq \alpha_w \leq 0,55$
E	$0,15 \leq \alpha_w \leq 0,25$
sem classificação	$\alpha_w \leq 0,10$

Figura 2.3 - Ajuste da curva do material ensaiado à curva de referência para cálculo de α_w [Adaptado de 7].

A absorção sonora pode ainda ser definida através de uma chamada área de absorção equivalente, que não é mais do que o produto do coeficiente de absorção sonora de um material com a área de superfície desse material. O valor obtido desse produto é expresso em m^2 .

2.1.2.3. Determinação do coeficiente de absorção sonora

Para efectuar a determinação do coeficiente de absorção sonora existem dois métodos: o método do tubo de ondas estacionárias e o método da câmara reverberante.

O primeiro, método do tubo de ondas estacionárias ou do tubo de impedância, permite a determinação do coeficiente de absorção sonora para uma incidência normal bem como a impedância superficial de um dado material. Dado que constitui um ambiente de teste facilmente controlável este método é muito usado para validar modelos de previsão para materiais absorventes. Tem ainda a vantagem de apenas necessitar de pequenas amostras o que facilita o desenvolvimento de materiais absorventes. O equipamento consiste num tubo de pequeno diâmetro (10 cm) em que numa extremidade é colocada uma amostra do material a ensaiar e na outra existe um altifalante. Devido à interacção da onda incidente com a reflectida criam-se ondas estacionárias, conforme pode ser observado na figura 2.4. Dependendo da técnica utilizada pode ou não haver uma vareta móvel no interior ligada a um microfone. Este método apresenta, no entanto, algumas limitações. A mais relevante é o facto que este

processo apenas determina o coeficiente de absorção sonora para uma incidência normal, isto é, perpendicular à amostra. Isto não é coerente com a realidade onde as incidências são aleatórias [9]. É, contudo, possível estimar o coeficiente de absorção sonora para uma incidência aleatória, α_d , a partir do mesmo para incidência normal, α_n , através da equação 2.8 [3].

$$\alpha_d = 1,9277 \times \alpha_n - 0,891 \times \alpha_n^2 \quad (2.8)$$

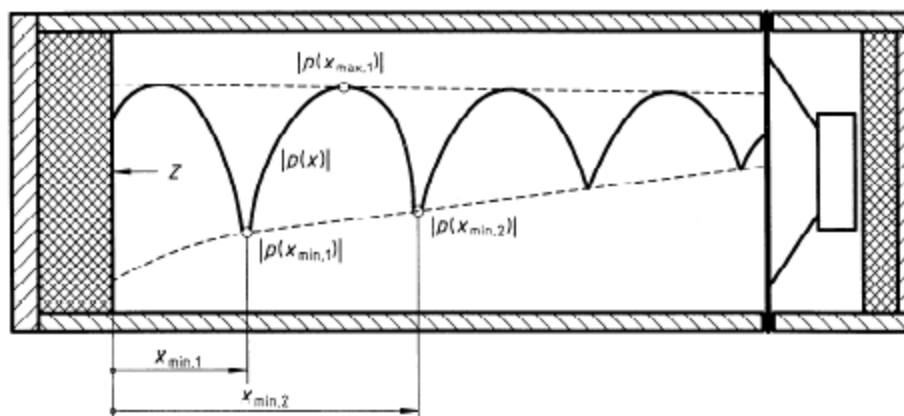


Figura 2.4 - Esquema de funcionamento do tubo de ondas estacionárias [10].

Por outro lado, o método da câmara reverberante é mais rigoroso e fiável. Este método permite a determinação directa do coeficiente de absorção sonora para uma incidência aleatória ou difusa. Como já referido anteriormente é este o método utilizado no presente trabalho. O método é descrito na norma NP EN ISO 354:2007 [11], pelo que neste momento apenas se descreverá o que são as câmaras reverberantes e o método em si, sendo que as condições técnicas do ensaio serão apresentadas adiante (capítulo 6.1).

O método baseia-se na determinação do coeficiente de absorção sonora da amostra através da diferença do tempo de reverberação calculado antes e depois da introdução da amostra na sala. Como tal, a câmara reverberante deve ser tão reflectora quanto possível para que a sua área de absorção equivalente seja muito próxima de zero.

As câmaras reverberantes incluem frequentemente difusores suspensos no seu interior tentando que as reflexões se distribuam o mais uniformemente possível. Além disso, para evitar que a sala apresente modos próprios de vibração, ou seja, que as ondas sonoras apresentem percursos coincidentes, as dimensões das salas não devem ter nenhuma relação lógica ou racional. As superfícies são desviadas do paralelismo com as opostas principalmente para evitar a existência de ecos repetidos, *flutter echoes*, ou seja a reflexão consecutiva das ondas em ambas as superfícies.

Outra característica das câmaras de reverberação é que devem ser completamente isoladas do exterior. O facto de a sala estar fisicamente desligada do edifício em que foi construída impede que ruídos exteriores penetrem na câmara por via da vibração de elementos estruturais. Para isso, as câmaras reverberantes apresentam frequentemente paredes duplas desligadas entre si e apoios vibráteis. A sala deve também ter um volume mínimo definido na norma NP EN ISO 354:2007 [3 e 11].

Apesar destas medidas para criar um campo verdadeiramente difuso, tal é extremamente difícil e, conseqüentemente o tempo de reverberação será dependente do ponto onde for medido. Para colmatar esse facto é comum medir-se o tempo de reverberação com várias posições de emissores e receptores e determinar-se a média de todas as medições. Ainda assim, dado que os modos de vibração são mais susceptíveis de ocorrer nas baixas frequências, os resultados obtidos nas mesmas são, geralmente, menos fiáveis que nas altas frequências.

Algumas medições na câmara reverberante apresentam coeficientes de absorção sonora superior a 1. O coeficiente de absorção sonora não pode, naturalmente, ser superior à unidade pois isso implicaria que aquele material absorvia e dissipava mais energia que aquela que lhe foi incidente. Isso representa uma impossibilidade física pelo que se trata de um erro do método. O que acontece na realidade é que as ondas podem difractor no material em estudo pelo que poderão existir zonas onde as ondas estão impossibilitadas de se propagar, não havendo reflexões provenientes desse local. O método assume que essas zonas fazem parte do material absorvente admitindo uma maior área de absorção do que aquela que realmente existe na câmara. O cálculo do coeficiente de absorção sonora entra, no entanto, com a área real de material absorvente existente na câmara pelo que se a área de absorção equivalente é constante e a área de superfície diminui então o coeficiente de absorção tem naturalmente de aumentar, provocando o referido erro [3].

2.1.3. TEMPO DE REVERBERAÇÃO

2.1.3.1. Conceito e Definição

Designa-se tempo de reverberação ao intervalo de tempo em segundos que um qualquer som demora a extinguir-se por completo após múltiplas reflexões. Por definição é o tempo que um nível de pressão sonora demora a decair 60 dB desde que a fonte sonora cessa de emitir [3] e segundo a Norma Portuguesa NP 3225/1 [6] define-se como tempo de reverberação o intervalo de tempo durante o qual num processo de reverberação, a energia por unidade de volume do campo sonoro se reduz a um milionésimo do seu valor inicial [7]. Embora apresentadas de forma distinta as duas definições são coincidentes uma vez que à redução de energia de 10^{-6} corresponde uma diminuição do nível de pressão sonora de 60 dB.

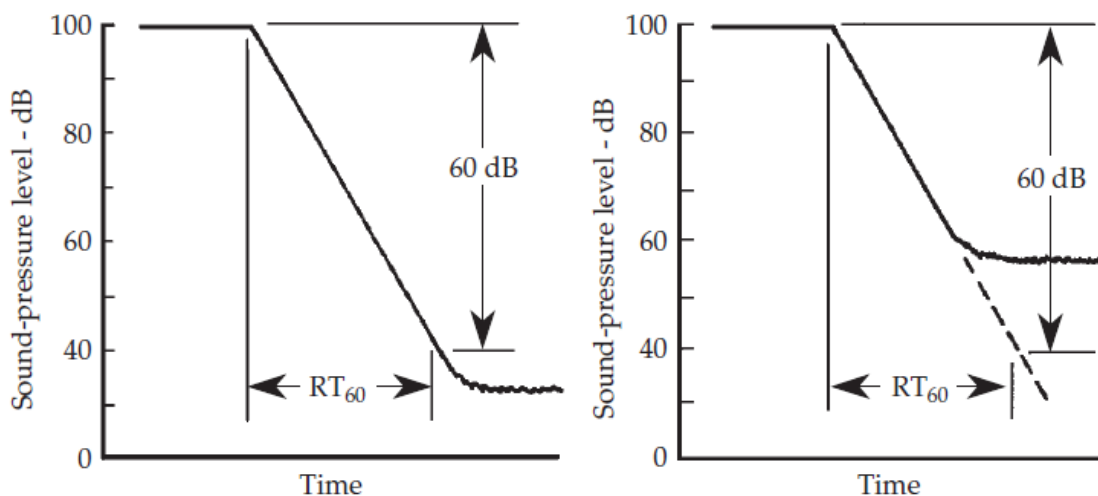


Figura 2.5 - Definição de Tempo de Reverberação [12].

Contudo, nem sempre é possível obter as condições práticas para medir um decaimento de 60 dB (TR60 ou T60) pois o ruído de fundo pode sobrepor-se antes da cessação do som emitido. Nestes casos, tenta-se obter um decaimento de 30 dB, ou até mesmo de 20 dB, e extrapola-se o decaimento assim obtido (declive da recta) para se obter o tempo de reverberação, como pode ser observado na figura 2.5. De forma a distinguir estas situações, os valores do tempo de reverberação apresentam a seguinte simbologia: T30 ou T20 [3].

O processo de medição do tempo de reverberação necessita do uso de uma fonte sonora potente e faz-se pela medição do decaimento do rasto sonoro no local após a cessação desse ruído de teste. As fontes sonoras utilizadas para excitar o campo sonoro de um compartimento têm de emitir uma energia suficientemente potente em todo o espectro de frequência de interesse de forma a assegurar um decaimento suficientemente forte acima do ruído de fundo, isto é, acima do ruído existente na ausência do ruído produzido pela fonte ou conjunto de fontes em causa. Habitualmente são utilizados os seguintes emissores:

- Altifalantes;
- Pistolas;
- Pequenos canhões;
- Balões;
- Faíscas eléctricas.

Naturalmente que não existe um tempo de reverberação ideal para cada espaço, considerando unicamente a sua forma geométrica. O tempo de reverberação tem influência em vários aspectos, entre os quais a percepção da palavra e o nível de pressão sonora naquele espaço.

Portanto, consoante a função de um determinado espaço, o respectivo tempo de reverberação deverá estar concordante. Em geral, para espaços em que a percepção da palavra é importante deverão ter tempos de reverberação mais baixos enquanto espaços destinados à música deverão ter tempos de reverberação mais elevados ainda que variáveis consoante os tipos de música [13].

2.1.3.2. Fórmulas de Previsão

W. C. Sabine foi o primeiro a desenvolver um modo de prever o tempo de reverberação de um dado espaço.

Empiricamente definiu o tempo de reverberação como visível na equação 2.9. Esta fórmula permite obter valores muito próximos da realidade em locais com campos sonoros difusos e cujo coeficiente de absorção sonora médio seja inferior a 0,20. Sabine, através de várias experiências, conseguiu relacionar a Absorção Sonora, o Volume e o Tempo de Reverberação, obtendo assim a seguinte expressão:

$$T = \frac{0,16 \times V}{A} \quad (2.9)$$

T representa o tempo de reverberação em s, V representa o volume do compartimento em m³ e A representa a absorção sonora equivalente em m².

A constante de 0,16 está relacionada com a temperatura no compartimento, sendo que para uma temperatura de cerca de 24 °C obtém-se este valor.

A absorção sonora equivalente de um compartimento é estimada em função dos coeficientes de absorção (sem unidades) dos materiais empregues no compartimento e a sua superfície real, S, em m² da seguinte forma:

$$A = \sum_{i=1}^n \alpha_i \times S_i \quad (2.10)$$

Eyring desenvolveu posteriormente uma fórmula de previsão que apresenta resultados bastante próximos da realidade quando os coeficientes de absorção sonora de todas as superfícies são semelhantes. A expressão 2.11 mostra a formulação apresentada por Eyring, em que $\alpha_{\text{médio}}$ é a média ponderada, pelas superfícies, dos coeficientes de absorção sonora [3].

$$T = \frac{0,16 \times V}{-S \times \ln(1 - \alpha_{\text{médio}})} \quad (2.11)$$

Existem ainda outras formulações para a definição teórica do tempo de reverberação, sendo as duas apresentadas as mais usadas. Falta, no entanto, referir que as equações 2.9 e 2.10 não contemplam a absorção sonora do ar, ainda que esta seja desprezável para frequências inferiores a 1 kHz. Não contemplam também absorções localizadas, ou seja, elementos discretos cuja presença adiciona ao espaço uma determinada área de absorção equivalente, em m². É o caso de, por exemplo, pessoas, mesas e cadeiras. Então a fórmula 2.9 pode ser adaptada para se ter em conta estes efeitos, obtendo-se uma formulação generalizada para o cálculo do tempo de reverberação, equação 2.12 [3].

$$T = \frac{0,16 \times V}{\sum(\alpha_i \times S_i) + \sum A_j + mV} \quad (2.12)$$

em que m é a absorção sonora do ar, em m⁻¹, e A_j é a absorção sonora localizada j , em m².

Como referido anteriormente, o tempo de reverberação influencia o nível de pressão sonora daquele espaço. Como a absorção sonora influencia o tempo de reverberação, então o nível de pressão sonora pode ser influenciado pela absorção desse local. Isto vem de encontro à experiência humana que desde há muito percebeu que adicionando materiais absorventes a um local contribuía para que a “intensidade” do som diminuísse.

Pode-se estimar a diminuição do nível de pressão sonora num determinado local através da equação 2.13. Sabendo qual a área de absorção sonora equivalente total de um local antes e depois de se efectuar algum tipo de correcção acústica determina-se a redução, em dB, do nível de pressão sonora no local [3]. Note-se, no entanto, que para se obter um ganho de 3 dB é necessário que a área de absorção sonora equivalente total aumente para o dobro.

$$\Delta L = 10 \times \log \frac{A_1}{A_0} \quad (2.13)$$

em que A_0 e A_1 são as áreas, em m², de absorção sonora equivalente total antes e depois da correcção acústica, respectivamente.

2.2. CORRECÇÃO ACÚSTICA

2.2.1. CONCEITO E DEFINIÇÃO

O campo sonoro de um determinado espaço, é condicionado por diversos factores, quer seja a concepção arquitectónica do espaço, do mobiliário ou equipamentos nele existente, quer sejam as pessoas nele inseridas e dos materiais que revestem as suas superfícies expostas.

Existem diversos indicadores que caracterizam um campo sonoro, sendo que o que mais se utiliza é o Tempo de Reverberação, já explicado anteriormente.

Sabendo que o projectista tem usualmente influência directa não só no volume e na forma mas também na escolha dos materiais de revestimento das superfícies do espaço, é importante conhecer os diferentes tipos de materiais absorventes existentes, isto é, aqueles que têm como função criar condições de adequabilidade acústica. Estes podem dividir-se em três grupos:

- Materiais Porosos e Fibrosos;
- Ressonadores;
- Membranas.

Duma maneira geral, os materiais porosos e fibrosos absorvem essencialmente a energia sonora nas altas frequências, as membranas nas baixas frequências enquanto os ressoadores absorvem uma gama reduzida de frequências, nomeadamente as frequências médias. A figura 2.6 representa as zonas de influência de cada tipo de material e sistema de funcionamento assim com a grandeza da sua eficácia. Do seu uso conjunto e conveniente aplicação poderá resultar a solução mais adequada a cada caso [7].

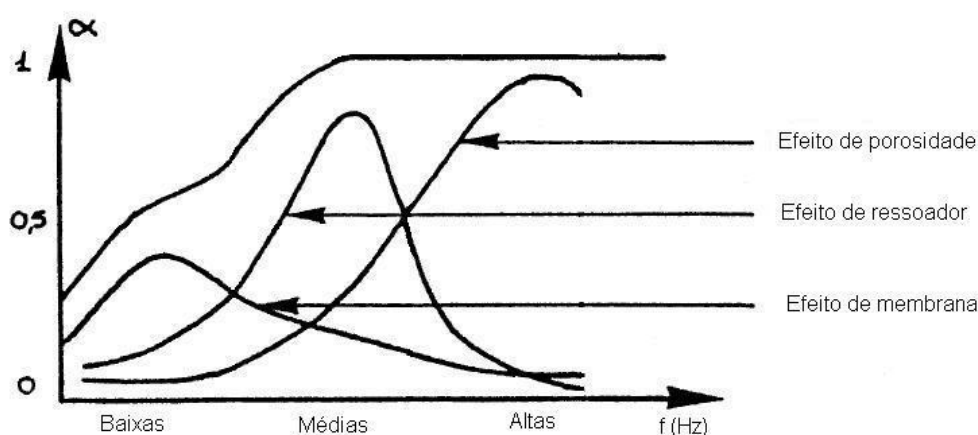


Figura 2.6 - Zonas e eficácia de absorção dos principais tipos de sistemas absorventes [14].

2.2.2. MATERIAIS POROSOS E FIBROSOS

Estes materiais têm como particularidade possuírem poros e pequenos interstícios que comunicam entre si, assegurando a permeabilidade das ondas sonoras de frequências altas. Quando estas incidem, o ar contido nos interstícios entra em movimento oscilatório, criando-se atrito sobre as paredes sólidas, havendo transformação da energia em calor, ocorrendo assim a absorção sonora. O tamanho dos poros é importante pois no caso dos espaços de ar serem muito grandes a vibração das fibras será menor, pelo que, conseqüentemente haverá uma diminuição da absorção sonora.

Contudo, há que ter em conta que, embora a eficácia destes materiais dependa essencialmente da espessura e da sua densidade, valores extremos não serão aceitáveis, isto é, fibras muito soltas e afastadas levam a uma menor transformação da energia em calor e fibras muito concentradas levam a que não ocorra penetração das ondas, sendo que o movimento oscilatório do ar não será suficiente para que se crie o atrito sobre as paredes sólidas [3].

Importa ainda realçar que, na medida em que a porosidade tem um papel preponderante na eficiência deste tipo de materiais, estes não devem ser pintados de uma forma em que todos os poros sejam colmatados.

Uma utilização excessiva deste tipo de materiais, pode provocar num local, uma predominância das ondas de baixas frequências, o que não será de todo desejável.

Este grupo de materiais, pode-se associar em diversos tipos em função das suas características físicas, a saber:

- Tecidos e alcatifas;
- Massas porosas para projecção;
- Aglomerados de fibras de madeira;
- Mantas ou painéis de fibras minerais (lã de rocha, lã de vidro, etc.);
- Aglomerados de cortiça;
- Materiais plásticos (EPS, PUR, XPS, etc.).

Consoante o tipo de utilização e o espaço em que são aplicados, diferentes soluções devem ser implementadas. Por exemplo, tecidos, alcatifas e massas porosas para projecção são usados frequentemente em salas de espectáculo pois, dado que se tratam de soluções que têm que estar à vista, são igualmente esteticamente adequadas. Por outro lado, as mantas de fibras minerais e materiais plásticos são frequentemente usados em elementos construtivos, paredes e tectos falsos, bem como em complemento de outros sistemas absorventes em que estes materiais já não se encontram à vista.

De seguida descreve-se, um pouco mais pormenorizadamente alguns destes materiais:

Alcatifas e Tecidos:

Consoante a espessura do pêlo e a sua textura, as características de absorção sonora de alcatifas podem variar significativamente, sendo que o aumento da sua espessura faz aumentar a sua eficácia nas altas frequências como pode ser observado na figura 2.7.

No caso de tecidos decorativos como as cortinas ou reposteiros, não só a textura do próprio tecido tem influência na absorção sonora, mas também a percentagem de franzido (número de pregas) com que cobrem a superfície e a distância a que se encontram da parede ou janela.

Quanto maior for o número de pregas, maior será a eficácia em toda a gama de frequências, como pode ser observado na figura 2.8 [3].

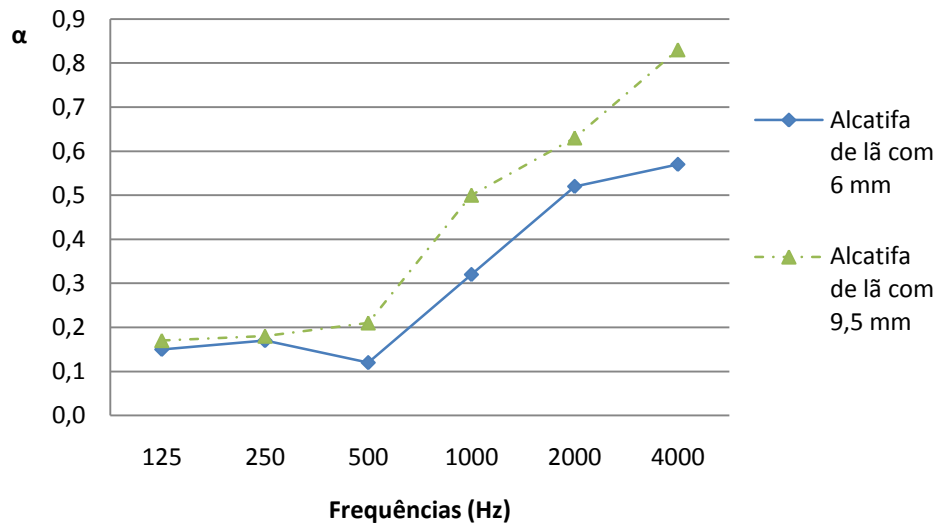


Figura 2.7 - Valores do coeficiente de absorção sonora de Alcatifa de lã com 6 e 9,5 mm [adaptado de 7].

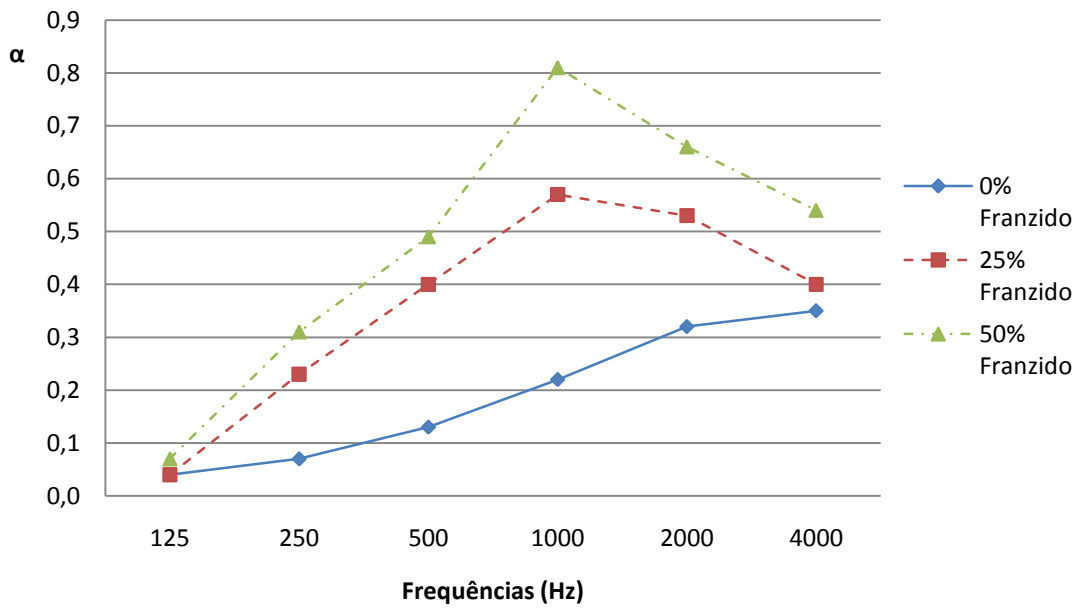


Figura 2.8 - Influência do Franzido de cortinados na Absorção Sonora [adaptado de 7].

Massas porosas:

Este tipo de materiais, normalmente com fibras ou granulados minerais e aglutinantes apropriados, aplicam-se, por norma, sobre os tocos das paredes e dos tectos, por projecção. A sua massa específica apresenta valores na ordem dos 150 (± 15) kg/m³, e tem um excelente comportamento acústico, figura 2.9 [3].

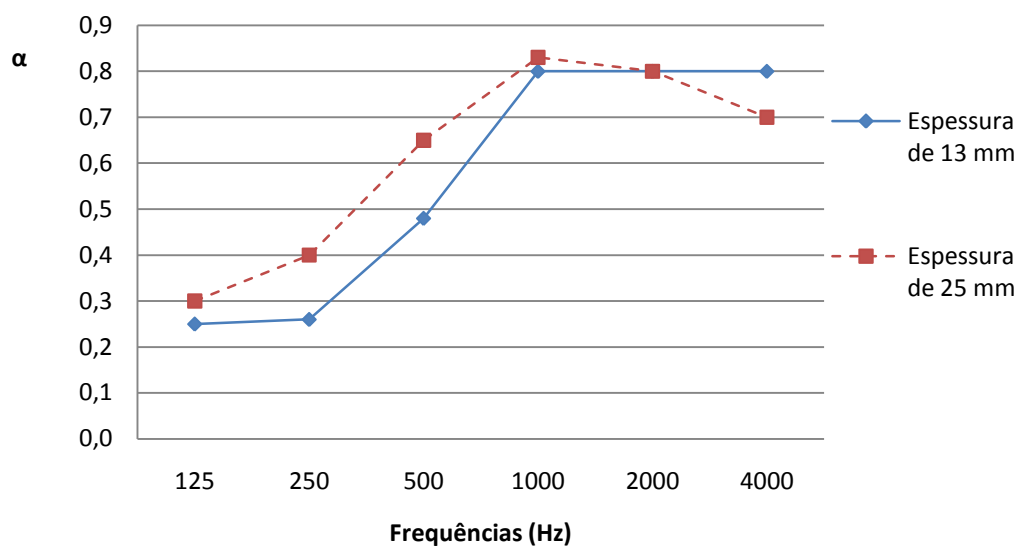


Figura 2.9 - Valores do coeficiente de absorção sonora de uma massa porosa com espessuras nominais de 13 mm e 25 mm [adaptado de 7]

Fibras minerais:

As fibras minerais, apresentam-se sob a forma de mantas ou placas (lã de rocha, lã de vidro, escórias de alto forno entre outros), consoante a sua flexibilidade e dimensões, e a absorção sonora destes materiais é conseguida, sobretudo, em função da sua espessura, densidade e largura de caixa-de-ar existente. A figura 2.10 mostra o comportamento de painéis de lã mineral em função da espessura. Verifica-se que o comportamento destes materiais é compatível com o aumento do coeficiente de absorção sonora com o aumento da frequência, até um dado valor. A partir desse valor o coeficiente de absorção sonora mantém-se mais ou menos constante com o aumento da frequência. Os coeficientes de absorção sonora em função da frequência são, então, máximos para as altas frequências, razão pela qual são utilizados em ambientes onde o ruído principal é proveniente da palavra. Com o aumento da espessura, o referido patamar estabelece-se mais cedo, isto é, para frequências mais baixas, aumentando a absorção sonora nas médias e baixas frequências [14].

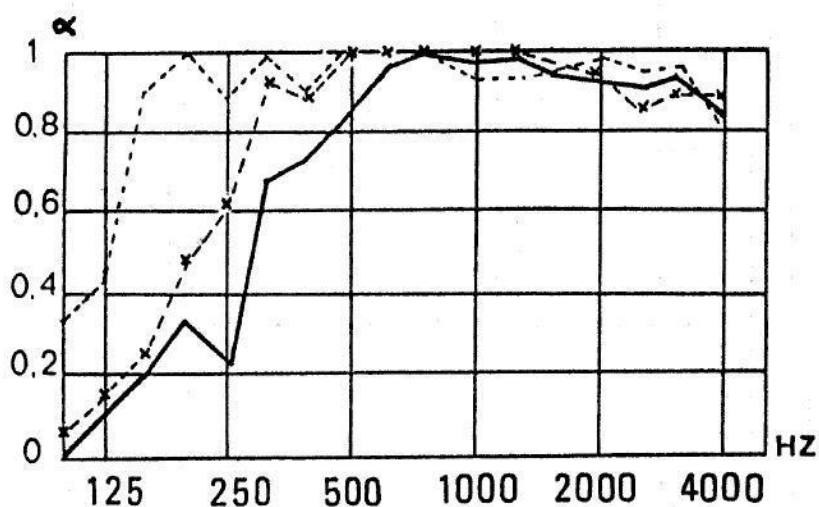


Figura 2.10 - Lã mineral de espessura variável. Linha a cheio – 30 mm; Linha cruz – 40 mm; tracejado – 80 mm [14].

Dado que o espaço de ar nos materiais influencia a sua capacidade absorvente, então a sua massa volúmica, ou seja, a sua densidade influenciará igualmente a capacidade absorvente destes materiais. Para densidades menores que a óptima para cada material, a capacidade absorvente estará diminuída devido ao grande espaço entre as fibras. Por outro lado, para densidades superiores à óptima o espaço dos interstícios será demasiado pequeno pelo que a vibração das fibras será diminuta. Para as fibras minerais o aumento da massa volúmica até cerca de 30 kg/m^3 implica igualmente o aumento do coeficiente de absorção sonora ao longo de todo o espectro. A figura 2.11 mostra a variação da absorção sonora com a massa volúmica em painéis de 50 mm de espessura. Pela análise da figura não existe uma relação clara entre a absorção sonora e a variação da massa volúmica. Verifica-se, porém, que densidades superiores não implicam necessariamente aumentos de absorção sonora nas altas frequências, se bem que se verificam alguns acréscimos de absorção nas baixas frequências [7].

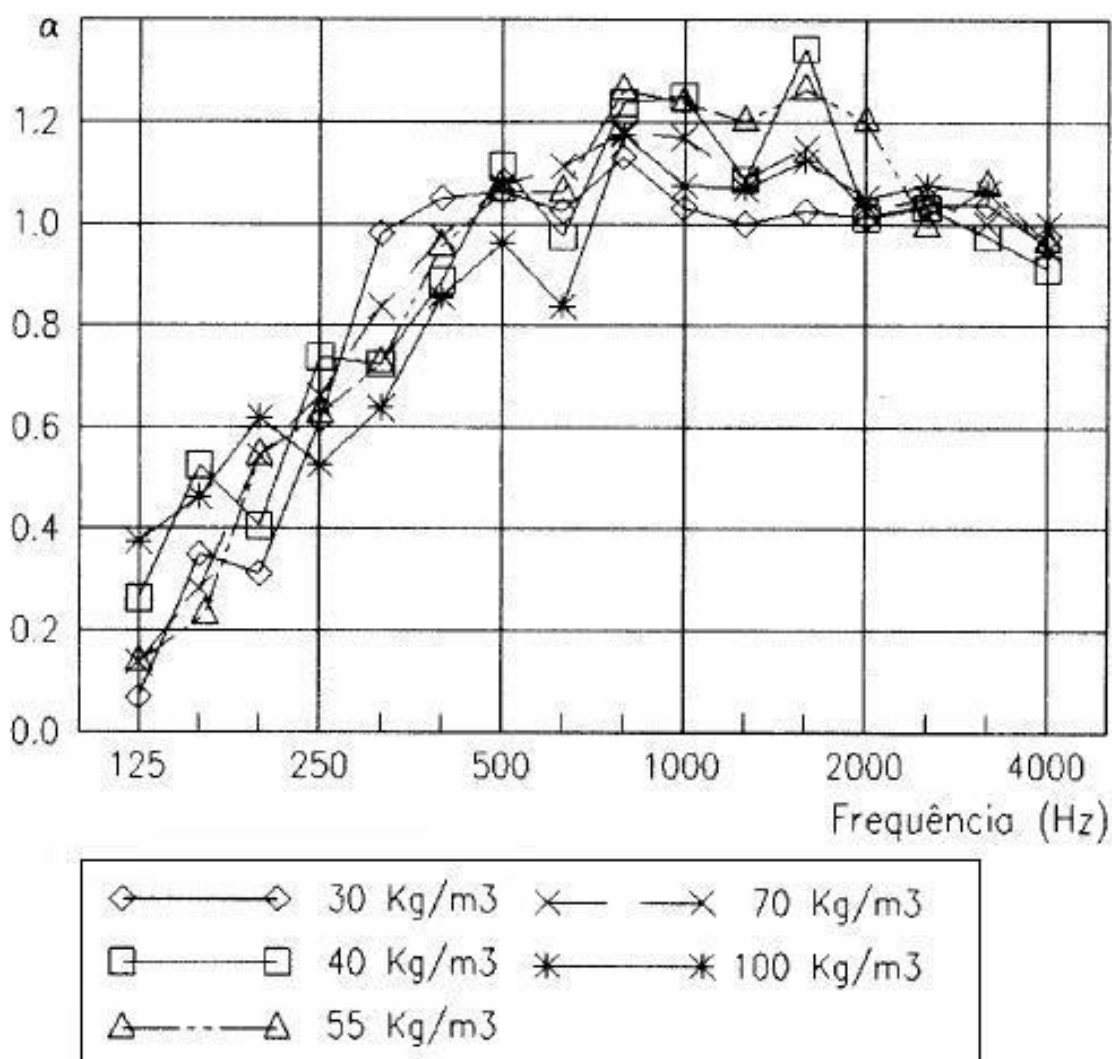


Figura 2.11 - Influência da massa volúmica da lã de rocha no coeficiente de absorção sonora [7].

O comportamento destes materiais nas baixas frequências pode ainda ser melhorado ao afastá-lo da superfície na qual estará apoiado. Isto cria um espaço de ar por trás do material absorvente e é uma metodologia económica, ainda que limitada, de melhorar o desempenho destes materiais [12].

No que diz respeito à flexibilidade, que está directamente relacionada com a massa volúmica, são utilizadas as seguintes designações [3]:

- Semi-rígidos – placas com massa volúmica inferior a 55 kg/m^3 ;
- Rígidos – placas com massa volúmica igual ou superior a 55 kg/m^3 .

Aglomerados de cortiça:

Dos dois tipos de aglomerados de cortiça que existem, aglomerados negros de cortiça e aglomerados compostos de cortiça, apenas os primeiros, são considerados bons absorventes sonoros, como se pode comprovar pela observação da figura 2.12 [3].

A diferença da absorção entre estes dois tipos de materiais deve-se ao seu fabrico: no aglomerado negro de cortiça, os seus grânulos são expandidos em autoclave, sendo aglomerados sob pressão e temperatura, enquanto no aglomerado composto de cortiça, os seus grânulos são prensados e aglomerados com resina sintética [3].

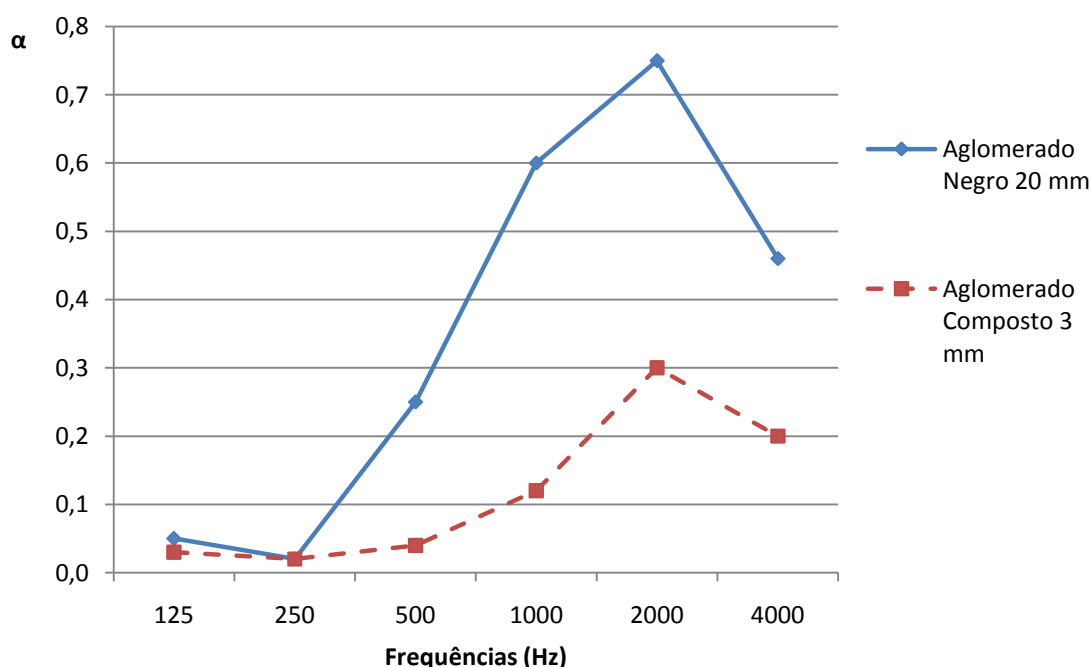


Figura 2.12 - Valores do coeficiente de absorção sonora do aglomerado negro nas espessuras mais típicas do seu uso e aglomerado composto de cortiça [adaptado de 7].

2.2.3.RESSOADORES

Os ressoadores, também conhecidos como ressoadores de cavidade ou de *Helmholtz*, são elementos versáteis para a absorção de médias frequências. A forma mais básica de um ressoador de *Helmholtz* não é mais que uma cavidade, de paredes rígidas, com uma única abertura. O modo de funcionamento destes sistemas resume-se a um sistema vibratório do tipo massa/mola, em que o ar no gargalo é a massa e o ar na cavidade funciona como a mola, conforme o disposto na figura 2.13. Ocorrendo dissipação de energia ocorrerá, naturalmente, absorção sonora. Este tipo de sistemas pode ser concebido para uma determinada frequência variando a rigidez da mola e/ou o valor da massa [15].

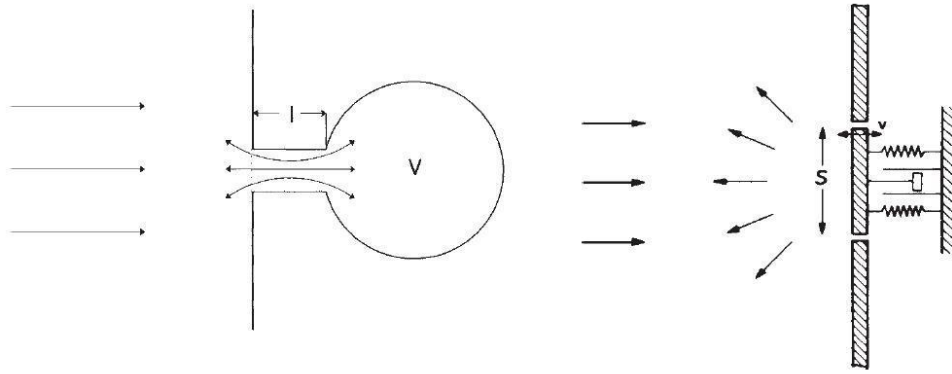


Figura 2.13 - Ressorador de Helmholtz: Esquema real à esquerda e de funcionamento à direita [15].

Os ressoadores podem ser classificados como isolados, quando existe apenas uma abertura associada a um volume confinado, ou agrupados, quando existem várias aberturas associadas a um único espaço de ar. A forma mais comum do primeiro é uma garrafa vazia, sendo que este tipo de ressoadores foi utilizado em anfiteatros no Império Romano e em igrejas ao longo da Idade Média [3].

Os ressoadores agrupados, por outro lado, surgem frequentemente na forma de painéis perfurados. A absorção sonora é máxima na frequência de ressonância do sistema pelo que esta diminui rapidamente nas frequências junto da ressonância. A amplitude de frequências em que ocorre absorção pode ser aumentada, à custa da absorção máxima, com a introdução de materiais absorventes na caixa-de-ar.

A frequência de ressonância de ressoadores isolados pode ser estimada através da equação 2.14 [3].

$$f = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{V(l+1,6r)}} \quad (2.14)$$

em que c é a celeridade em m/s, S é a secção da abertura, em m^2 , V é o volume da cavidade, em m^3 e l é o comprimento efectivo do gargalo, em m.

Analogamente, para os ressoadores agrupados, a frequência de ressonância pode ser estimada através da equação 2.15 [3].

$$f = \frac{10 \times c}{2\pi} \sqrt{\frac{P}{(e+1,6r)d}} \quad (2.15)$$

em que,

c – velocidade de propagação do som no ar (m/s);

e – espessura da placa perfurada (cm);

P – percentagem de área perfurada (%);

r – raio de cada perfuração (cm);

d – largura da caixa de ar (cm).

Esta expressão tem que cumprir a seguinte condição:

$$f \times d < 3400 \text{ Hz. cm} \quad (2.16)$$

Verifica-se então que os ressoadores se podem conceber para uma determinada gama de frequências a partir da variação do tamanho das perfurações, profundidade da caixa-de-ar, espessura do painel e taxa de perfuração.

Pela análise da equação 2.15, verifica-se que o aumento da taxa de perfuração conduz ao aumento da frequência de ressonância. Por outro lado, o aumento da espessura do painel, do raio das perfurações e da profundidade da caixa-de-ar contribuirá para a diminuição da frequência de ressonância.

A taxa de perfuração não só interfere na frequência de ressonância como também no coeficiente de absorção sonora decorrente deste tipo de sistemas. Com efeito, pode-se afirmar que, para sistemas incluindo materiais porosos no interior da caixa-de-ar, o aumento da taxa de perfuração até cerca de 25% implica simultaneamente um incremento da absorção sonora nas frequências superiores à de ressonância. Isto pode ser verificado na figura 2.14. Refere-se ainda que para taxas de perfuração superiores a 25%, o ganho de absorção sonora não é significativo pois a partir daquele valor, o processo de absorção passa a ser controlado pelo material poroso no interior da caixa-de-ar [3].

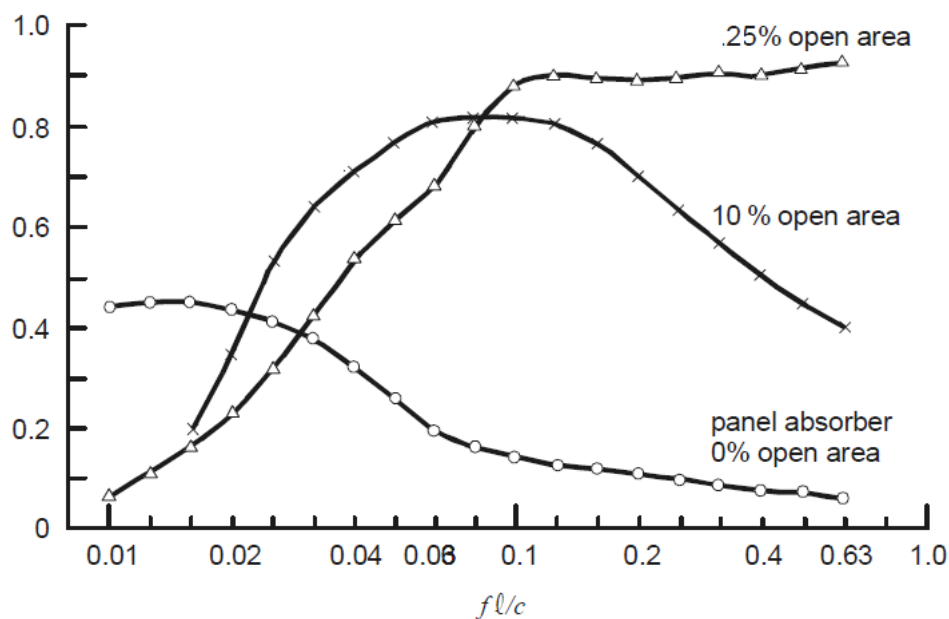


Figura 2.14 – Esquema de variação dos coeficientes de absorção sonora para ressoadores agrupados onde se verifica o efeito da percentagem de furação [5].

Naturalmente que as perfurações não necessitam de ser constantes ao longo de uma dada superfície, nem ter sequer a mesma forma. Como tal, resultados diferentes surgirão com a inclusão de diferentes formas e raios de perfuração, especialmente porque o sistema passa a ter várias frequências de ressonância alargando-se o espectro de absorção.

2.2.4.MEMBRANAS

As membranas, também designadas por membranas ressonantes ou painéis vibrantes, são sistemas absorventes sonoros com maior utilidade em baixas frequências. Este tipo de materiais absorve a energia das ondas sonoras através da vibração de toda a estrutura constituída por grandes painéis de pequena espessura, sendo uma parte da energia sonora transformada em energia mecânica, transformando-se a outra parte em energia térmica, devido ao atrito interno de deformação [3].

Estes sistemas consistem em placas ou painéis de algum tipo de material, rigidamente fixados a uma determinada distância de um paramento, constituindo-se portando um volume confinado entre a membrana e o paramento. Graficamente, o comportamento de absorção destes sistemas corresponde a um pico de absorção em torno da frequência de ressonância do sistema. Consequentemente, o pico de absorção é máximo na frequência de ressonância.

A frequência, f , para o qual o sistema tem um coeficiente máximo de absorção sonora pode ser calculada através da seguinte expressão:

$$f = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{\rho}{m \times d}} \approx \frac{60}{\sqrt{m \times d}} \quad (2.17)$$

Em que:

c – velocidade de propagação do som no ar, em m/s;

ρ – massa volúmica do ar, em kg/m³;

m – massa superficial do painel, em kg/m²;

d – espessura da caixa de ar, em m.

Este tipo de sistemas pode ser concebido para uma determinada frequência pelo que as membranas ressonantes podem ser dimensionadas para colmatar as necessidades de um determinado espaço. Como se pode verificar, o tipo de material bem como a espessura da caixa-de-ar são os parâmetros que influenciam a frequência de ressonância deste tipo de sistemas. O parâmetro massa superficial pode ser controlado de duas maneiras, reduzindo a espessura de um dado material ou a massa volúmica do mesmo, o que contribuirá para diminuição da massa superficial e, conseqüentemente, para o aumento da frequência de ressonância do sistema. Por outro lado, a diminuição da espessura da caixa-de-ar causará igualmente um aumento da frequência de ressonância [3].

Assim, apresenta-se nas figuras 2.15 e 2.16 um método expedito para dimensionamento de membranas bem como uma estimativa do coeficiente de absorção sonora máxima possível de se obter para uma dada configuração de parâmetros. Admitem-se, no entanto, algumas limitações no método. O método assume a existência de painéis de material absorvente com 25 mm de espessura, pelo que espessuras diferentes conduzirão a resultados diferentes. A partir do gráfico da figura 2.15, com base na espessura da caixa-de-ar e na massa superficial do sistema pode-se estimar a frequência de ressonância bem como a capacidade máxima de absorção de A a J . Essa capacidade de absorção pode, seguidamente, ser interpretada na figura 2.16 em que f_0 é a frequência de ressonância [3].

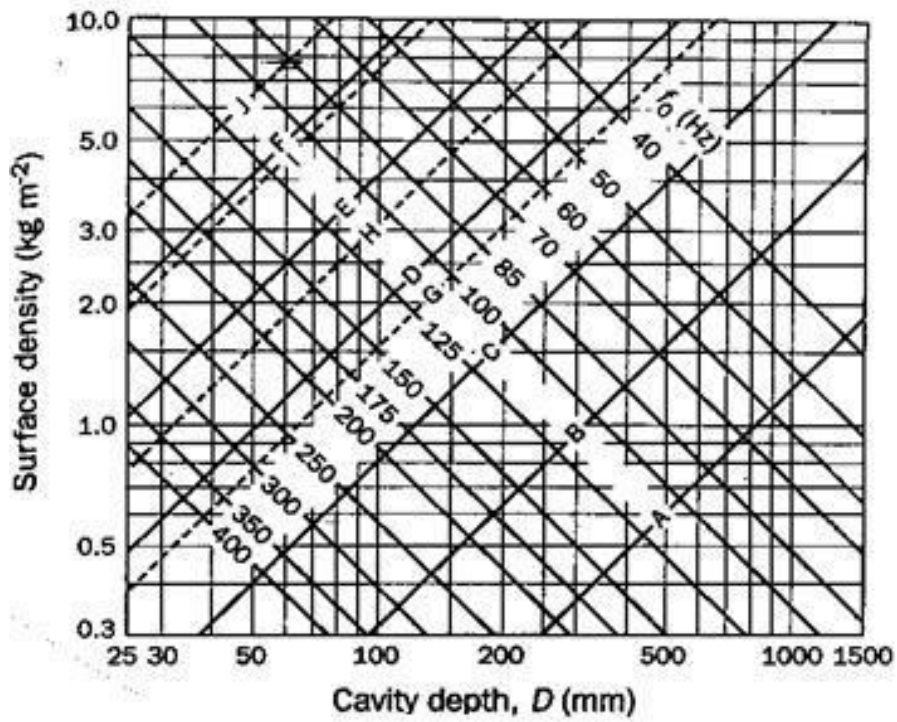


Figura 2.15 - Ábaco para determinação da frequência de ressonância de membranas de madeira (ou derivados) [3].

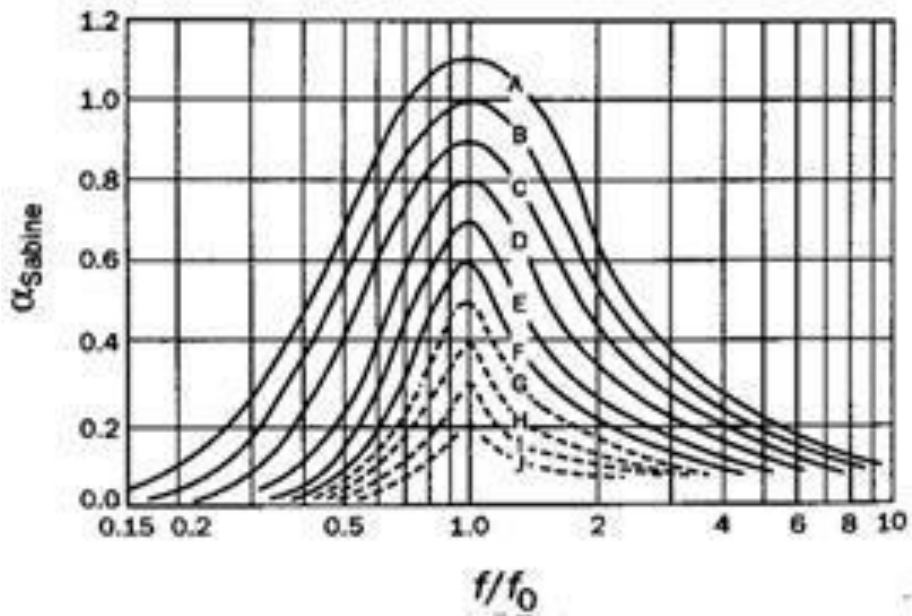


Figura 2.16 - Esquema de previsão da eficácia do sistema de membrana de madeira (ou derivados) [3].

3

NOÇÕES BASE DE TINTAS

3.1. INTRODUÇÃO HISTÓRICA

A História das tintas remonta ao Paleolítico em que o Homem as utilizava de forma a representar figuras de animais e cenas de caça nas suas cavernas, denominadas genericamente por Arte Rupestre, ver figuras 3.1 e 3.2.



Figuras 3.1 e 3.2 – Pinturas, Arte Rupestre [16] e [17].

Para criar estas imagens, serviu-se inicialmente do carvão e do giz e só mais tarde da mistura de terras coloridas que iam do amarelo ocre ao vermelho amassadas com água. No entanto, como essa mistura se decompunha com facilidade, devido à humidade, começou a aplicar outros produtos naturais, como gorduras de animais, resinas ou cera de abelhas. Desta forma, a massa assim obtida fixava-se melhor às superfícies onde era aplicada [18].

A evolução das tintas e vernizes acompanhou o evoluir dos tempos principalmente para satisfazer as necessidades artísticas do ser humano [19].

As primeiras fábricas de tintas e vernizes, embora equipadas muito rudimentarmente, surgem na Europa nos finais do séc. XVIII e princípios do séc. XIX. Mas é apenas no séc. XX, ao sentir-se a necessidade de utilizar as tintas não só para fins artísticos mas também, e principalmente, para proteger os materiais, que se dá o grande incremento da indústria de tintas e vernizes. Actualmente, a tinta é uma composição líquida pigmentada que, quando aplicada sobre uma superfície, se torna numa película protectora e decorativa, entre outras propriedades [19].

Para a expansão desta indústria muito contribuiu o desenvolvimento da química e tecnologia dos polímeros que permitiu a preparação de substâncias particularmente adequadas para a formação de

películas assim como o desenvolvimento da química dos pigmentos. Com efeito, até à 2ª Guerra Mundial usava-se ainda óleos fervidos por vezes combinados com resinas naturais. As tintas com este tipo de ligantes designavam-se por tintas óleo resinosas.

A partir de 1930, com o desenvolvimento das resinas fenólicas, acetinitrocelulósicas e das alquídicas, simples ou modificadas, com óleos de longa e média cadeia, surgem novas formulações de tintas. São estas formulações que permitem obter tintas brilhantes e duráveis designadas por tintas de esmalte utilizadas na pintura de exteriores e interiores de edifícios, assim como em veículos de transporte e diversos equipamentos. O desenvolvimento de novas resinas sintéticas, como as vinílicas, as acrílicas, as poliamidas e outras, permitiu a diversificação dos tipos de tintas e vernizes produzidos industrialmente [18].

A partir da década de 1950 aparecem as primeiras tintas cujas resinas sintéticas, até aí dissolvidas em solventes orgânicos, se encontram dispersas ou emulsionadas em água designadas por tintas de dispersão ou emulsão ou mais vulgarmente denominadas por tintas plásticas. Esta descoberta teve vasto interesse por diversos motivos, nomeadamente de economia, toxicidade, segurança e de limpeza após a sua aplicação [19].

Hoje em dia, procura-se substituir os solventes orgânicos pela água, produzir tintas em pó de forma a proteger quem as aplica dos efeitos tóxicos assim com produzir tintas com um elevado teor em sólidos a fim de reduzir a utilização de produtos tóxicos.

Com o desenvolvimento contínuo do fabrico das tintas e vernizes observam-se grandes modificações nos métodos de aplicação destes produtos que evoluem desde as aplicações a pincel, trincha e rolo, até às aplicações por imersão, por centrifugação, ou por pistolas pneumáticas, sem ar ou electrostáticas [18].

Actualmente é já uma condição adquirida que o papel da tinta não se pode limitar a aspectos decorativos, carregando sempre uma finalidade simultânea de protecção.

3.2. GENERALIDADES E DEFINIÇÕES

A palavra *tinta*, em sentido lato, abrange uma gama muito vasta de produtos utilizados para os mais diversos fins, que vão desde a decoração e protecção da superfície, à impressão nas indústrias gráficas e ao simples acto de escrever [19].

Tintas são misturas constituídas essencialmente por pigmentos, cargas, veículos (fixos e voláteis) e aditivos e que, aplicadas em camada fina, formam películas sólidas, coloridas e opacas, quando secas.

As proporções dos constituintes dependem da respectiva natureza, das qualidades pretendidas na película (protecção e/ou decoração), de finalidades específicas a que se destine a tinta (isolantes, antiderrapantes, etc.) e ainda de factores económicos relativos aos mercados desses constituintes [19].

Na protecção e decoração de superfícies podem-se também aplicar vernizes.

Um verniz é uma mistura constituída por veículos e aditivos e que, aplicada em camada fina e depois de seca, forma uma película sólida, transparente ou translúcida, corada ou incolor. Distingue-se de uma tinta pelo facto de não ser pigmentado e quando aplicado em camada fina converte-se numa película seca transparente e não opaca. Um verniz pode ser corado, mas a cor é, neste caso, comunicada por corantes que são solúveis no verniz e não por pigmentos que são insolúveis [18].

Para melhor compreensão do papel que desempenham os diversos constituintes das tintas, apresentam-se as seguintes definições, correspondendo à terminologia da Norma Portuguesa NP 41 – Tintas e Vernizes [20].

Tinta – composição pigmentada líquida, pastosa ou sólida que, quando aplicada em camada fina sobre uma superfície apropriada, no estado em que é fornecida ou após diluição ou dispersão em produtos voláteis, é convertível ao fim de certo tempo numa película sólida, contínua, corada e opaca.

Pigmento – substância sólida, em geral finamente dividida e praticamente insolúvel no veículo, usada na preparação de tintas com o fim de lhes conferir opacidade e cor ou certas características especiais.

Carga – substância inorgânica sob a forma de partículas mais ou menos finas, de fraco poder de cobertura, insolúveis no veículo, empregue como constituinte das tintas, com o fim de lhes modificar determinadas propriedades.

Veículo – conjunto de veículo fixo e de veículo volátil ou apenas veículo fixo no caso de o segundo não existir.

- *Veículo Fixo* – conjunto de componentes da tinta ou verniz que permitem a formação da película sólida;
- *Veículo Volátil* – componente da tinta ou verniz que se evapora durante o processo de secagem.

Aditivo – substância, eventualmente incorporada em pequena percentagem nas tintas, vernizes e produtos similares, com o fim de lhes alterar acentuadamente determinadas características.

Verniz – composição não pigmentada, líquida, pastosa ou sólida que, quando aplicada em camada fina sobre uma superfície apropriada no estado em que é fornecida ou após diluição, é convertível ao fim de certo tempo, numa película sólida, contínua, transparente ou translúcida e mais ou menos dura.

3.3. CONSTITUINTES DE UMA TINTA

3.3.1. PIGMENTOS

Entende-se por pigmento uma substância sólida, finamente dividida, branca ou corada, praticamente insolúvel no veículo, usada na preparação das tintas com a função de lhes conferir cor e opacidade (Figura 3.3).

A natureza e o teor de pigmento existente na tinta são de fundamental importância, por ser o único constituinte que lhe confere opacidade, ou seja, que torna opaca a película seca, de modo a cobrir completamente a base ou suporte de aplicação. Esta aptidão está geralmente relacionada com o respectivo índice de refração (uma relação entre a velocidade da luz num determinado meio e a luz no vácuo). O índice de refração difere consoante a cor pois a velocidade de propagação da luz no ar depende da frequência da luz. Como as cores têm diferentes frequências, sendo por ordem crescente o vermelho, laranja, amarelo, verde, azul, índigo e violeta, os diferentes pigmentos obtêm índices distintos pois a velocidade de propagação da luz no ar diminui com o aumento da frequência. A opacidade da tinta é tanto maior quanto maior for a diferença entre o índice de refração do pigmento e o do veículo [19].

As principais propriedades que um pigmento deve possuir, são [18]:

- Cor;
- Opacidade;
- Poder corante;

- Dispersibilidade;
- Estabilidade à luz;
- Propriedades anti-corrosivas;
- Poder de absorção de óleo.

O pigmento, pode ainda mas com menor importância, ser responsável por propriedades mecânicas, de brilho, de resistência aos produtos químicos e ao envelhecimento do revestimento por pintura [19].

No entanto, um pigmento não apresenta todas estas características com o mesmo grau de intensidade, ficando o formulador da tinta responsável por fazer um criterioso equilíbrio entre o teor de pigmento e os restantes constituintes para que o produto final corresponda aos requisitos pretendidos [18].

Os pigmentos podem-se classificar-se quanto à natureza química e quanto ao processo de obtenção.

Quanto à natureza química classificam-se em pigmentos orgânicos ou pigmentos inorgânicos.

Em relação ao processo de obtenção, classificam-se em pigmentos naturais ou pigmentos sintéticos, consoante sejam obtidos a partir de produtos naturais ou preparados por reacção química a partir de compostos orgânicos e/ou inorgânicos, respectivamente.



Figura 3.3 – Pigmentos [21].

3.3.2. CARGAS

As cargas em geral não conferem opacidade às tintas e o seu poder corante é em geral muito fraco. São utilizados por razões de ordem técnica (por exemplo, conferir efeito mate, textura, permeabilidade e anti-derrapantes) e/ou económica para dar “corpo” à tinta.

É em função da sua granulometria, da superfície específica e das suas características inerentes que facilitam o fabrico e aplicação, melhoram a qualidade e durabilidade, aumentam a impermeabilidade e elasticidade, conferem propriedades isolante e possibilitam a conservação das tintas [18].

Consoante a sua origem as cargas classificam-se como [18]:

- Cargas Naturais (barita, calcite, dolomite, caulino, limonite, mica, amianto, talco, diatomite e sílica);

- Cargas Artificiais (sílicas artificiais, sulfato de bário, etc.).

3.3.3. VEÍCULO FIXO

3.3.3.1. Definição

Veículo fixo, ligante ou aglutinante é um conjunto de componentes das tintas, vernizes ou produtos similares que permitem a formação da película sólida [20]. Além de fixar e manter ligadas as partículas de pigmento no filme de tinta seca, é responsável pela adesão e secagem, durabilidade e resistência química e mecânica da pintura [18].

Como veículos fixos podem-se considerar [19]:

- Óleos secativos, por vezes modificados com resinas;
- Resinas naturais, artificiais e sintéticas;
- Silicatos;
- Resinas de silicone.

Os ligantes mais utilizados são os óleos e as resinas pelo que segue uma breve descrição destes dois ligantes.

3.3.3.2. Óleos

Define-se *óleo* como uma substância líquida e de aspecto viscoso à temperatura ordinária, de origem vegetal, animal ou mineral, podendo apresentar estruturas químicas muito diversas [20].

No fabrico das tintas não se utilizam os óleos crus tal como são extraídos dos produtos vegetais ou animais onde existem, mas, são em geral fervidos, refinados, soprados, ou desidratados. Estas operações aumentam a massa molecular e a capacidade de polimerização e de reticulação essenciais à formação da película [19].

As propriedades a observar num óleo são [18]:

- Cor;
- Fluidez;
- Odor;
- Massa específica;
- Índice de refração;
- Índice de iodo;
- Índice de ácido.

Os óleos secativos mais utilizados são o óleo de linhaça, o de madeira da China ou "Tung", o de rícino desidratado, o de soja e o "Óleo de Tall" [18].

3.3.3.3. Resinas

Entende-se por *resina*, a substância orgânica sólida, semi-sólida ou líquida, amorfa, termoplástica ou termo-endurecível, má condutora de electricidade, em geral insolúvel em água, mas solúvel em certos solventes orgânicos [20].

As resinas utilizadas como veículo fixo classificam-se quanto à origem em naturais, artificiais e sintéticas.

- Resinas Naturais

Materiais resinosos, exsudados por plantas cuja constituição está relacionada com os terpenos e com os óleos essenciais, são solúveis em solventes orgânicos e óleos, mas insolúveis em água [19].

Dentro dos grupos de resinas naturais, cita-se [18]:

- Colofónia;
- Os copais do Congo;
- Laca da China;
- Resina de Damar.

- Resinas Artificiais

Produtos de elevada massa molecular resultantes da alteração química de produtos naturais tais como resinas naturais, ácidos gordos ou resinas sintéticas quando o agente modificador possui resinas naturais. Nestas podem-se incluir [18]:

- Oleoresinosas;
- Celulósicas;
- Borracha clorada;
- Resinas alquídicas modificadas com óleos de curta, média e longa cadeia.

- Resinas sintéticas

Polímeros de alta massa molecular resultantes da reacção química controlada entre substâncias de baixa massa molecular com dois ou mais grupos reactivos ou ligações duplas, em que não intervêm constituintes naturais [19].

As principais resinas sintéticas usadas no fabrico da maior parte dos modernos tipos de tintas, incluem [18]:

- Estirenos-butadienos;
- Poliestirenos;
- Resinas aminoplastos;
- Resinas acrílicas;
- Resinas alquídicas sem óleos;
- Resinas vinílicas;
- Poliuretanos;
- Resinas epoxídicas;
- Resinas fenólicas;
- Poliésteres.

3.3.4. VEÍCULO VOLÁTIL

O *veículo volátil* de uma tinta é também designado por *matéria volátil*, e é composto por uma mistura de solventes que dissolvem o veículo fixo. O termo solvente deve ser usado para indicar a porção volátil de veículo capaz de dissolver o ligante. Diluente, em rigor, é uma parte volátil do veículo que uma solução do ligante no solvente pode tolerar, sem precipitação ou perda de homogeneidade.

Contudo, na prática, designa-se por diluente a todo o material volátil, qualquer que seja a sua natureza ou composição, apropriado para adicionar a uma tinta com o fim de diminuir a sua viscosidade [22].

A escolha dos diluentes é geralmente feita com base no seu poder de ebulição, poder solvente, poder de inflamação, velocidade de evaporação, estabilidade química, toxicidade e odor [18] e afectam a consistência, lacagem, secagem e a adesão e durabilidade dos produtos de pintura [22].

Entre os veículos voláteis mais utilizados encontram-se [19, 22]:

- Água;
- Terpenos;
- Solventes oxigenados;
- Solventes clorados;
- Diluentes alifáticos;
- Diluentes aromáticos;
- Diluentes celulósicos;
- Diluentes vínilicos.

3.3.5. ADITIVOS

Os *aditivos* são produtos líquidos, viscosos ou sólidos pulverulentos solúveis nos veículos, destinados a melhorar e desenvolver as condições de aplicação das tintas e as propriedades da película seca. Distinguem-se das cargas pelo facto do seu teor ser geralmente inferior a 5% em massa da tinta.

Os aditivos são por vezes designados pelo nome da função específica que desempenham na tinta e não de acordo com a composição química. Encontram-se assim diversos aditivos, como [20]:

- Molhante;
- Dispersante;
- Antipele;
- Espessante;
- Corrector de defeitos de superfície;
- Plastificante;
- Insecticida (conferem à película uma toxicidade suficiente para assegurar a destruição dos insectos que venham ao seu contacto; ex: DDT (dicloro-difenil-tricloro etano));
- Fungicida (reduzem o ataque da película pelos fungos; ex: pentaclorofenol).

3.4. PROCESSO PRODUTIVO E PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DE UMA TINTA

3.4.1. FASES DO PROCESSO

O fabrico de uma tinta processa-se em várias fases, designadamente, pesagem ou dosagem das matérias-primas, pré-mistura, dispersão ou moagem, acabamento, filtração e enchimento:

1. Pesagem / Dosagem

Nesta fase, todas as matérias-primas constituintes de uma determinada tinta são quantificadas.

2. Pré-mistura / Dispersão e/ou Moagem

De forma a serem transformados, os pigmentos e as cargas em pó são dispersados na solução. Este processo é um método físico que consiste na separação das partículas dos pigmentos, os quais se encontram agrupados em aglomerados e cuja superfície é revestida pelas resinas constituintes da

solução. A resina, além de estabilizar a dispersão do pigmento, evita a agregação das partículas constituintes do pigmento e cargas. Para realizar esta operação utilizam-se equipamentos de dispersão, como os Moinhos de bolas, Moinhos de rolos, Moinhos contínuos ou Agitadores a alta velocidade [18].

3. Acabamento

Após a fase de dispersão dos pigmentos são adicionados à mistura os restantes solventes e aditivos que dão origem à tinta.

Nesta fase é ainda realizado o controlo de qualidade em que são testados o PH, a viscosidade, a cor e a força corante, entre outros.

4. Filtração

Realiza-se esta etapa de forma a remover todos os elementos estranhos ao produto que possam ter sido depositados indevidamente.

5. Enchimento

Após a verificação da qualidade e os acertos devidos, para que o produto cumpra todas as suas especificações, é enviado para o enchimento.

3.4.2. PROPRIEDADES

As propriedades mais relevantes de uma tinta são:

- Viscosidade

Resistência interna ao escoamento, característica de um fluido. Variável com a temperatura, com a força de agitação e com a velocidade [20].

- Opacidade

Capacidade que a tinta tem, depois de aplicada e seca, de cobrir a cor ou diferença de cor da superfície em que se aplica. Expressa-se em percentagem e não se comercializa tintas com opacidades inferiores a 50%. Esta característica tem uma elevada importância económica, uma vez que ao aplicar uma tinta com elevada opacidade permite reduzir o número de camadas a aplicar e a mão-de-obra [18, 20, 22].

- Poder de Cobertura

Quando aplicada numa determinada superfície, o poder de cobertura é determinado pelo peso e área que a tinta pode cobrir [18, 22].

- Acabamento

A impressão visual que uma pintura provoca, em conjunto com outras propriedades ópticas determina o acabamento. Essa percepção pode decompor-se em várias características que contêm outras propriedades, como lacagem, brilho, uniformidade e limpeza [18, 20, 22].

Assim tem-se que:

- Lacagem - capacidade de uma tinta recém-aplicada de eliminar as deformações das superfícies, ou seja, uma superfície lacada é uma superfície inteiramente lisa onde não se consegue distinguir algum defeito resultante da maneira como foi aplicada;
- Brilho - capacidade que possui uma pintura de reflectir os raios luminosos que sobre ela incidem;

- Uniformidade - regularidade existente sob o ponto de vista da cor, planeza e brilho das superfícies;
- Limpeza - ausência de partículas ou elementos estranhos que podem ser desagradáveis ao observador.

- Cor

Sob o ponto de vista físico, a cor é caracterizada por:

- Tom - determina a posição da cor em relação ao espectro solar;
- Pureza - indica ou não a presença de radiações complementares da cor principal;
- Claridade - quantidade de luz branca emitida em conjunto com radiações coradas.

Sob o ponto de vista técnico, a cor de um acabamento deve manter-se inalterada [18, 20 e 22].

- Adesão

Capacidade que, depois de seca, a pintura tem de se manter ligada à superfície onde foi aplicada [18, 22].

- Espessura

Consoante as condições de serviço, é necessário que as pinturas possuam determinada espessura mínima para que se possa garantir a protecção necessária e resistência à acção do ambiente [18, 20, 22].

- Aplicabilidade

A aplicabilidade de uma tinta é definida pelo maior ou menor esforço físico que é preciso executar para a aplicar em condições correctas [18, 22].

- Secagem

A secagem de uma pintura é a capacidade de, quando aplicada em camada fina, se transformar ao fim de um certo tempo numa película mais ou menos sólida.

A secagem pode surgir por simples evaporação de solventes e diluentes, por condensação química, ou por oxidação e polimerização, isto é, através de reacções químicas em que intervém a acção do ar.

É possível distinguir três fases:

- Secagem ao tacto, momento em que se inicia a solidificação; ao tocar ligeiramente com o dedo a face exterior, esta ainda se deixa marcar mas não suja;
- Secagem superficial, corresponde à fase em que a superfície solidificou, e que suporta a fricção moderada dos dedos;
- Secagem em profundidade, quando a pintura se solidifica de tal forma que a pressão do dedo não produz qualquer efeito na pintura.

A secagem realiza-se melhor a altas temperaturas, em atmosferas secas e limpas [18, 20, 22].

- Elasticidade e Dureza

A elasticidade de uma pintura está directamente ligada ao seu comportamento e à sua durabilidade. Se a elasticidade diminuir, a película pode rachar e a tinta fica sujeita a deformações que aumentam os esforços de tensão. Para que o acabamento de uma pintura possa suportar a fixação de poeiras e resistir a lavagens, deve ser dotada de alguma dureza que poderá variar conforme o tipo e função [18, 20, 22].

- Durabilidade e Deterioração

Ao aplicar um sistema de pintura adequado numa base preparada convenientemente, o envelhecimento da pintura dependerá de factores do meio ambiente e do seu tempo de duração [18, 22].

- Concentração Volumétrica de Pigmento, *PVC*

Quociente entre o volume total de pigmentos e cargas de uma determinada quantidade de tinta e o seu correspondente extracto seco em volume [20].

3.4.3. CLASSIFICAÇÃO DAS TINTAS

A classificação das tintas é subjectiva, uma vez que uma determinada tinta pode-se classificar em mais do que um grupo ou poderão surgir casos em que seja difícil inclui-la em qualquer dos grupos.

No entanto, dos vários critérios existentes para estabelecer uma classificação, os mais credíveis são os que se baseiam na fórmula global de constituição da tinta [18]:

- Natureza do veículo volátil:
 - Tintas em que o veículo volátil é a água, obtendo a designação de tinta aquosa;
 - Tintas em que o veículo volátil não é a água.

- Natureza do veículo fixo:
 - Tintas alquídicas;
 - Tintas epoxídicas;
 - Tintas acrílicas;
 - Tintas betuminosas;
 - Tintas vinílicas;
 - Tintas de silicatos;
 - Tintas nitro celulósicas;
 - Tintas de silicões.

- Quanto ao fim a que se destinam:
 - Tintas plásticas para a construção civil;
 - Tintas para estruturas metálicas;
 - Tintas antiácidas;
 - Tintas antibásicas;
 - Tintas antiderrapantes;
 - Tintas decorativas;
 - Tintas de acabamento.

4

A CORTIÇA

4.1. PRODUÇÃO DE CORTIÇA

4.1.1. SOBREIRO

O sobreiro é uma quercínea de folha persistente, ver figura 4.1, membro da ordem *Fagales* e da família *Fagaceae*. Esta espécie distingue-se dos carvalhos especialmente devido à casca volumosa de tecido suberoso, na qual reside actualmente o principal interesse económico da sua exploração [23].

É uma espécie bem adaptada ao clima mediterrâneo, caracterizado por períodos de seca estival e Invernos amenos. Quanto à sua origem pensa-se que o sobreiro seja do período oligocénico-miocénico, relativamente novo dentro dos carvalhos, tendo o início da sua distribuição começado a partir de uma zona actualmente situada no mar Tirreno e estendendo-se para o Atlântico, pelo sul da Europa e pelo Norte de África.



Figura 4.1 - Sobreiro [24].

O sobreiro é uma árvore de crescimento lento e de grande longevidade, que pode atingir 250 a 300 anos, embora se considere que a idade limite para a produção de cortiça seja de 150 a 200 anos. A árvore adulta tem um porte natural de cerca de 10 a 15 metros de altura, caracterizado por um tronco curto e grosso que se bifurca a pequena altura do solo [23].

É normalmente dominante nos sistemas agro-silvipastoris, designados por *montados*, com forte intervenção humana, onde simultaneamente com a produção de cortiça, se faz pastoreio e culturas agrícolas.

O sobreiro é, actualmente, uma espécie típica na região Mediterrânica Ocidental, ocorrendo de forma espontânea em Portugal e Espanha, mas, também, em Marrocos, no Norte da Argélia e na Tunísia. Existe, ainda, em áreas mais restritas do Sul de França e da costa ocidental de Itália incluindo a Sicília, a Córsega e a Sardenha. A área total que ocupa actualmente é de cerca de 1,43 milhões de hectares na Europa e 0,85 milhões de hectares no Norte de África. Mais de metade desta área encontra-se na Península Ibérica como pode ser observado na Figura 4.2 [25].

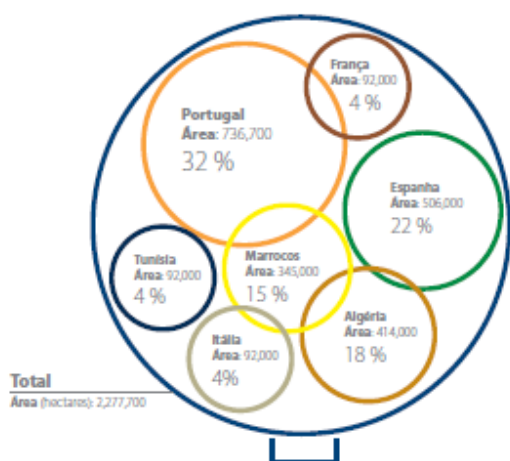


Gráfico 1 – Área de distribuição mundial do sobreiro

Fonte: Direcção Geral dos Recursos Florestais (DGRF), Ano: 2006 e APCOR

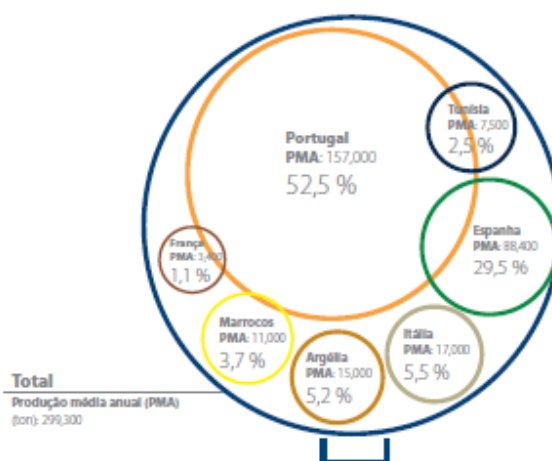


Gráfico 3 – Produção mundial de cortiça

Fonte: APCOR, Ano: 2007

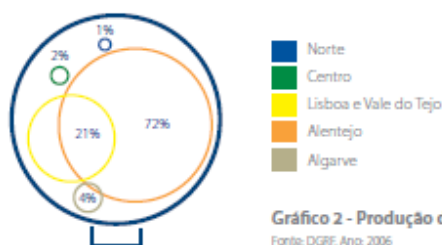


Gráfico 2 - Produção da cortiça em Portugal por região (%)

Fonte: DGRF, Ano: 2006

Figura 4.2 – Representatividade de Portugal na área de distribuição mundial do sobreiro (gráfico 1), na produção mundial de cortiça (gráfico 3) e distribuição geográfica nacional da produção de cortiça em Portugal, dados de 2006/2007 [25].

No montado, as árvores são submetidas a intervenções culturais, principalmente a desbastes e a podas de formação, no sentido de favorecer o desenvolvimento de um tronco mais alto e bifurcado a maior altura de solo, com menor ângulo de inserção de pernas principais e menor desenvolvimento da copa, de forma a obter-se uma maior produção de cortiça e, consecutivamente maiores rendimentos [23].

4.1.2. CORTIÇA

A *cortiça virgem* é a primeira cortiça produzida pelo sobreiro e é extraída quando a árvore atinge dimensões consideradas pela prática florestal como adequadas para o primeiro descortiçamento, o que ocorre para idades entre os 20 a 30 anos. A cortiça virgem apresenta sulcos e fendas verticais importantes, resultantes das fracturas que ocorreram devido às fortes tensões tangenciais originadas pelo crescimento radial do tronco da árvore. Na operação de extracção da cortiça virgem, a camada geradora da cortiça, o felogénio, é destruída; no entanto, regenera-se uma nova camada geradora de cortiça nos tecidos interiores, no *entrecasco*, a alguma distância da superfície exterior da árvore, constituindo um novo felogénio, que começa a reproduzir células de cortiça. É esta capacidade de regeneração do felogénio após a extracção da cortiça que permite a exploração do sobreiro de uma forma sustentada, ao longo da vida da árvore, através de sucessivas extracções de cortiça, ver figura 4.3 [23].

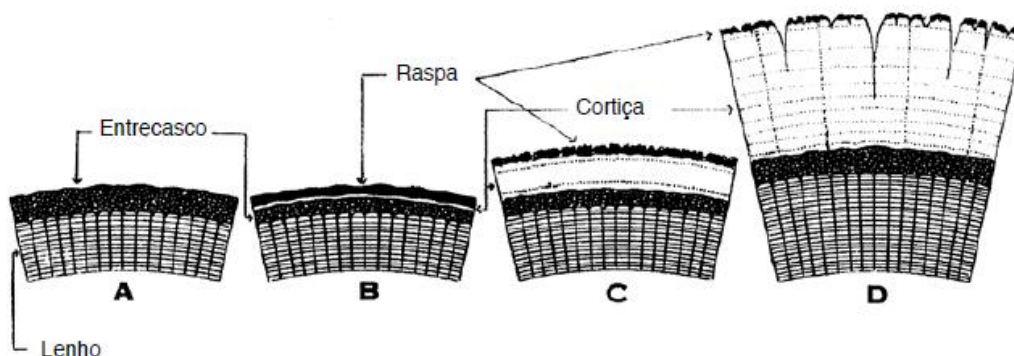


Figura 4.3 – Esquemas do crescimento da cortiça [26].

A segunda camada de cortiça produzida pela árvore, gerada pelo felogénio formado após o descortiçamento, tem a designação de *cortiça segundeira*. Como as tensões resultantes do crescimento radial são ainda apreciáveis, pois a árvore ainda está numa fase jovem, verificando-se um forte engrossamento do tronco. Ou seja, a cortiça segundeira ainda não é utilizada para a fabricação de rolhas destinando-se à trituração e produção de aglomerados.

A remoção da cortiça segundeira provoca uma resposta fisiológica da árvore semelhante à que ocorreu após o primeiro descortiçamento, isto é, o felogénio destruído é substituído por um outro que se forma no entrecasco e retoma a produção da cortiça. Esta cortiça, designada por *cortiça amadia*, apresenta-se agora com uma camada de espessura uniforme, com poucas fracturas e de pequena profundidade. Como o crescimento radial da árvore é menor, as tensões resultantes do engrossamento do tronco não são em geral, suficientes para provocar a rotura do tecido [23].

Na sua parte exterior, a cortiça de reprodução possui restos dos tecidos lenhosos do entrecasco que ficaram para o lado exterior do felogénio quando se deu a sua regeneração. Estes tecidos possuem uma cor escura, cinzento-acastanhada, e são designados por *raspa da cortiça*. Por oposição, o lado interior da cortiça, onde se dá a separação do tronco da árvore no descortiçamento é designado por *barriga da cortiça*. A espessura da raspa das pranchas de cortiça depende da profundidade a que se regenera o felogénio, e é bastante variável, desde menos de 2 mm a mais de 4 mm.

A extracção da cortiça pode então ser feita em períodos regulares, repetindo-se o processo de formação de sucessivos felogénios. O período entre extracções, que corresponde ao número de anos em que um felogénio está activo e a produzir cortiça, deve ser tal que permita obter uma camada com espessura adequada para o processamento industrial.

Actualmente, o principal objectivo é produzir rolhas, o que exige que as pranchas de cortiça amadia possuam uma espessura mínima de cerca de 27 mm. Nas condições climáticas de Portugal, o período de crescimento da cortiça necessário para atingir esta espessura corresponde, em geral, a nove anos [23].

4.1.3 DESCORTIÇAMENTO

O ciclo de vida da cortiça enquanto matéria-prima começa com a extracção da casca aos sobreiros, o chamado *descortiçamento* e que se realiza durante a fase mais activa do crescimento da cortiça, entre meados de Maio ou princípios de Junho até ao fim de Agosto.

Neste primeiro descortiçamento, a chamada *desbóia*, obtém-se uma cortiça de estrutura muito irregular e com uma dureza que se torna difícil de trabalhar. É a chamada cortiça virgem que será utilizada em outras aplicações que não as rolhas (pavimentos, isolamentos etc), pois está longe de apresentar a qualidade necessária para esse fim [26].

Nove anos depois, no segundo descortiçamento, obtém-se um material com uma estrutura regular, menos duro, mas ainda impróprio para o fabrico de rolhas e que se designa por *cortiça secundária*.

É só no terceiro descortiçamento e nos seguintes, que se obtém a cortiça com as propriedades adequadas para a produção de rolhas de qualidade, uma vez que já apresenta uma estrutura regular com costas e barriga lisas. A partir desta altura, o sobreiro fornecerá, de nove em nove anos, cortiça com boa qualidade durante cerca de século e meio, produzindo, em média, 15 a 16 descortiçamentos durante toda a sua vida.

O descortiçamento do sobreiro é um processo ancestral que só pode ser feito por especialistas, os descortidores, pois para não maltratar a árvore, há que ter habilidade manual e muita experiência. É executado em cinco etapas [1]:

- **Abrir:** Golpeia-se a cortiça no sentido vertical, escolhendo a fenda mais profunda do enguiado (as ranhuras da casca). Ao mesmo tempo, torce-se o gume do machado para separar a prancha do entrecasco. É possível calcular o grau de dificuldade de cada extracção pelo "toque" do machado. Ao aplicar-se o gume do machado sobre a prancha, e se a cortiça estiver a "dar bem", ouve-se um som oco característico do rasgamento. Quando está a "dar mal", o machado emite um som curto, firme e seco, figura 4.4;
- **Separar:** Em seguida, separa-se a prancha com a introdução do gume do machado entre a barriga da prancha e o entrecasco. Depois, executa-se um movimento de torção do machado entre o tronco e a cortiça que se pretende separar, figura 4.5 e 4.6;
- **Traçar:** Com um corte horizontal delimita-se o tamanho da prancha de cortiça a sair e aquela que fica na árvore. Durante a traçagem, são frequentes as sequelas deixadas no entrecasco e, por vezes, estas mutilações acabam por alterar a geometria do tronco.



Figura 4.4. – Abrir [1].



Figura 4.5 - Separar [1].



Figura 4.6 – Separar [1].

- **Extrair:** A prancha é cuidadosamente retirada da árvore para não se partir. Quanto maiores forem as pranchas extraídas, maior será o seu valor comercial. É a destreza e a habilidade dos descortidores que permite a obtenção das pranchas por inteiro. Retirada primeira prancha, repetem-se estas operações para libertar todo o tronco, figura 4.7;

- Descalçar: Após a extracção das pranchas, mantém-se aderentes alguns fragmentos de cortiça junto à base do tronco. Para retirar os possíveis parasitas que existam nos calços do sobreiro, o descortizador dá algumas pancadas com o olho do machado, figura 4.8.

Finalmente, marca-se a árvore, usando o último algarismo do ano em que foi realizada a extracção, figura 4.9.



Figura 4.7 – Extrair [1].



Figura 4.8 – Remover [1].



Figura 4.9 - Marcar a árvore [1].

Por fim é iniciado o período de repouso. Após o descortçamento, as pranchas de cortiça são empilhadas ou na floresta, ou em estaleiros dentro das instalações de uma fábrica. Aí permanecem expostas ao ar livre, ao sol e à chuva. No entanto, todas as pilhas são formadas tendo em conta regras próprias e muito restritas, de forma a permitir a estabilização da cortiça. Devem ser empilhadas sobre materiais que não contaminem a cortiça e que evitem o contacto desta com o solo. Durante este período de repouso dá-se a maturação da matéria-prima e a cortiça estabiliza-se. O tempo de repouso das pranchas nunca deve ser inferior a seis meses.

4.1.4. PROCESSO DE TRANSFORMAÇÃO DA CORTIÇA

O processo de produção e transformação da cortiça depende do fim a que se destina. Na indústria portuguesa pode-se encontrar as seguintes aplicações:

- Produção de Rolhas;
- Granulados;
- Aglomerados Compostos;
- Linóleos;
- Aglomerados de Cortiça com Borracha;
- Aglomerados Expandidos.

De uma forma simplificada pode-se perceber a origem de cada uma destas aplicações na figura.4.10 que apresenta o processo de transformação da cortiça.

Esta figura pretende demonstrar que através dos diversos processos, quer seja no fabrico de rolhas ou aglomerados, ao longo do seu processamento industrial se recolhe o pó de cortiça que se retrata nesta dissertação.

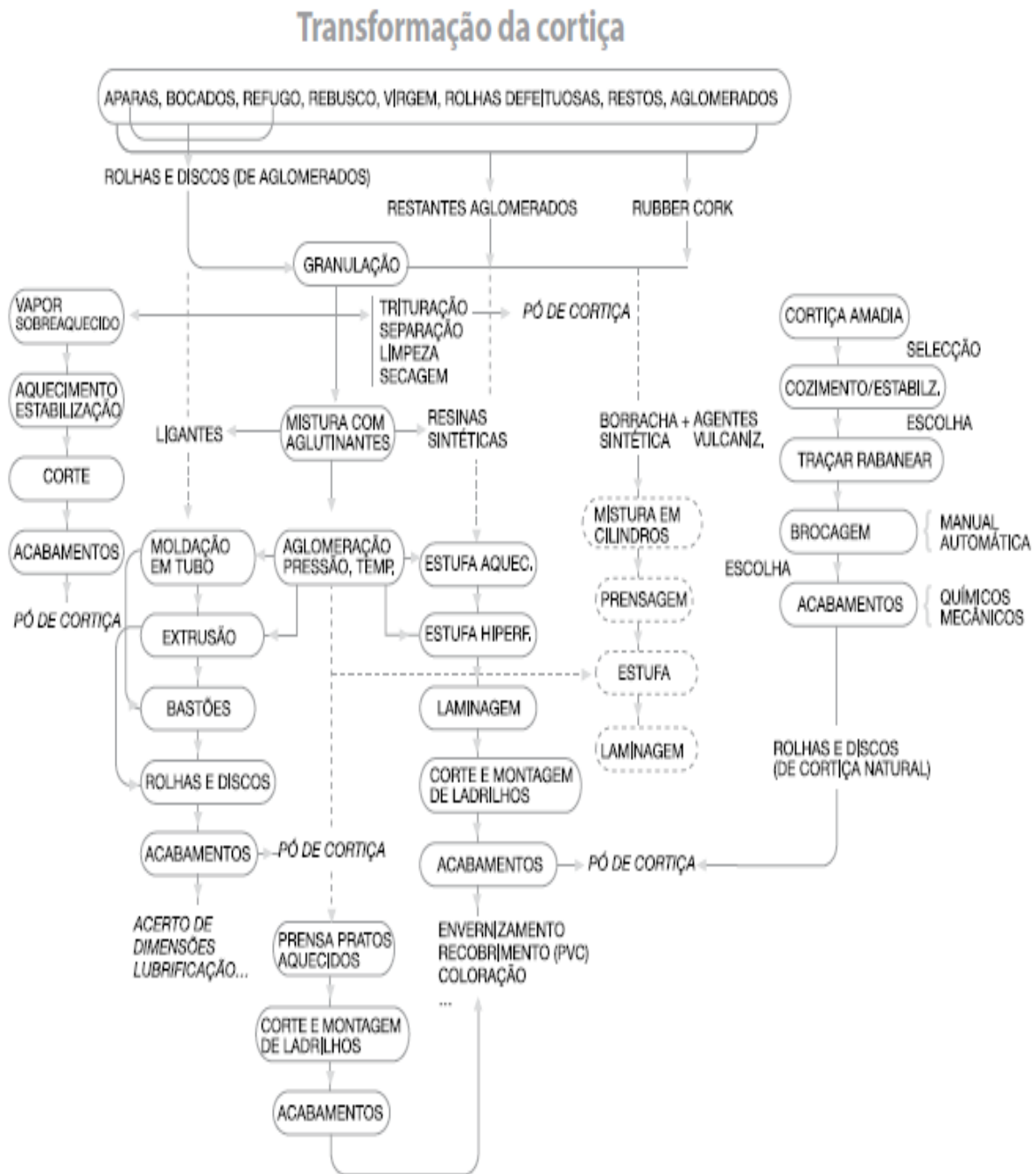


Figura 4.10 – Processo de transformação da cortiça [26].

4.2. ESTRUTURA E A COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA CORTIÇA

4.2.1. A ESTRUTURA DA CORTIÇA

4.2.1.1. Conceito

As propriedades dos materiais estão intimamente ligadas com a sua estrutura. Em última análise, a estrutura tem a ver com o modo como os átomos e as moléculas constituintes de um material estão

distribuídos e ligados entre si. A estrutura pode ser descrita a vários níveis ou escalas, desde a escala atômica até à macroscópica [23].

4.2.1.2. Estrutura Macroscópica

Quando a cortiça é extraída da árvore, fica exposta a parte exterior do entrecasco, que é “empurrada” pelas sucessivas camadas de novas células que se vão formando no interior, originando-se a “raspa”, que é o principal constituinte da parte externa da cortiça, que seca, contrai e endurece, fendilhando devido ao crescimento. Analogamente, a parte interna do tecido suberoso, que corresponde à última camada de crescimento anual, é designada por “barriga” ou “ventre”. Tem menor elasticidade do que as outras camadas e apresenta orifícios dos canais lenticulares (poros). A porosidade está estreitamente ligada à qualidade da cortiça [26].

Ao longo da espessura da cortiça são observáveis os anéis de crescimento, distinguíveis por serem constituídos por células formadas com diferentes dimensões e com diferentes espessuras das suas paredes celulares, formadas na Primavera/Verão ou no Outono/Inverno. Há alguns aspectos exteriores que costumam ser considerados como indicadores da qualidade da cortiça: a cor clara da cortiça virgem e a lisura, macieza e pequena espessura da raspa, na cortiça amadia. Dentro das descontinuidades existem os canais lenticulares que atravessam radialmente a cortiça, e que transversalmente dão origem aos poros. O tipo de poros, a sua dimensão, quantidade e distribuição, (porosidade) são um factor determinante na qualidade da cortiça. Existe uma série de defeitos estruturais e outros da cortiça (por exemplo, mancha amarela, verde, insecto etc.) que são importantes para as aplicações rolheiras mas não exclui o seu aproveitamento para a construção civil.

A estrutura da cortiça é anisotrópica. As três principais direcções definidas para a cortiça são a radial (paralela aos raios da árvore), a axial (direcção vertical na árvore) e tangencial (perpendicular às outras duas, tangente à circunferência da secção da árvore) como pode ser observado na figura 4.11. As secções perpendiculares a estas três direcções são respectivamente designadas por tangencial, transversal e radial. No entanto a anisotropia deixa de ser sentida quando temos um aglomerado de cortiça, dada a orientação aleatória dos grânulos, o que é o caso dos produtos de cortiça para a construção civil [26].

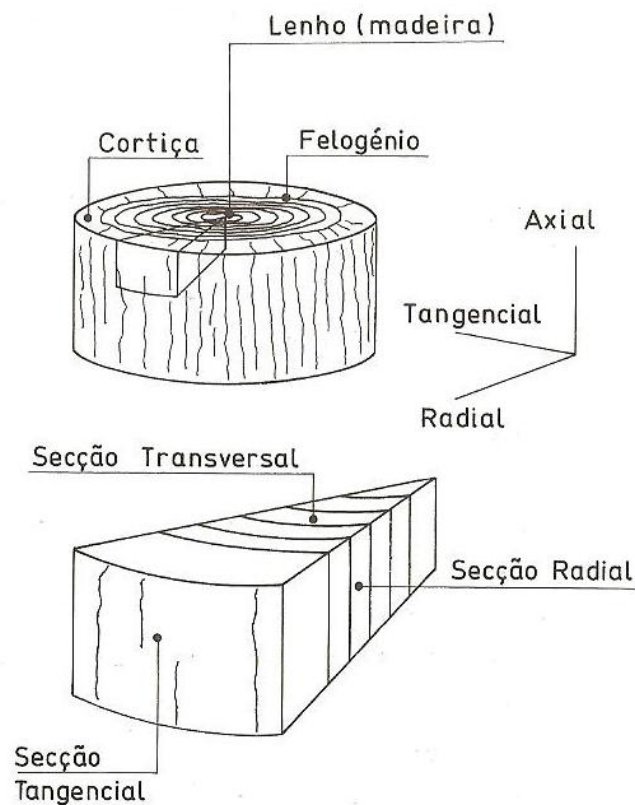


Figura 4.11 – Estrutura macroscópica da cortiça [23].

4.2.1.3. Estrutura Microscópica

A cortiça é um tecido constituído por células, dispostas de modo compacto, sem espaços livres, de uma forma regular, cujo conteúdo desapareceu durante o crescimento, e sofreu um posterior processo de suberificação (impermeabilização) das membranas celulares. Não é apenas a estrutura do tecido que confere à cortiça as suas características, pois muitas das suas propriedades devem-se também à natureza das membranas celulares. As células comunicam entre si por microcanais que atravessam a parede celular (plasmodesmos) [26].

O volume das paredes das células é de cerca de 10-15% do volume total, ou seja, existe um espaço vazio é de cerca de 85-90%, o que confere a este material as suas propriedades de isolamento e resiliência.

As paredes celulares são constituídas por uma base estrutural de lenhina e celulose com suberina e polifenóis e ainda com ceras extractáveis. A parede celular das células de cortiça apresenta cinco camadas: duas de natureza celulósica que formam as cavidades celulares; duas mais interiores suberificadas (com suberina e ceras; conferem impermeabilidade) e uma camada média lenhificada (que confere rigidez e estrutura), ver figura 4.12.

As membranas celulares possuem uma espessura mais fina nas células geradas na Primavera/Verão (1 a 1,25 μm) e maior nas células de Outono/Inverno (2 a 2,5 μm). Este facto, associado à maior ou menor dimensão das células, interfere também nas propriedades físico-mecânicas da cortiça.

Pode-se dizer que uma célula média de cortiça pode ser representada por um prisma de secção hexagonal, variando o contorno poligonal, usualmente, entre quatro e nove lados mas, preferencialmente, entre 5 e 7. As suas dimensões médias são entre 30 e 40 μm de largura (podendo ir de 10 μm a 50 μm) e 35-45 μm de altura com limites entre 10 e 70 μm . Um cm^3 de cortiça possui em média entre 30 a 42 milhões de células. Cada anel anual compreende normalmente de 50 a 200 camadas de células de largura (1 a 6 mm), sendo esta variação a principal responsável pelas diferentes espessuras nos crescimentos anuais da cortiça. As diferenças no tamanho das células e na espessura da sua parede, permitem delimitar os anéis de cortiça formados anualmente, uma vez que as células formadas no Outono (mais pequenas e mais espessas) apresentam uma tonalidade mais escura.

As características de isolamento da cortiça devem-se ao facto de existirem estes minúsculos compartimentos (células) cheios de ar. As células de cortiça são muito mais pequenas do que as dos materiais celulares ordinários, o que contribui para justificar as singulares propriedades de isolamento deste material. A transferência de calor por condução depende apenas da quantidade de material sólido da estrutura das células, que é menor para a cortiça expandida termicamente (daí a utilização do aglomerado expandido de cortiça para este fim). A convecção depende do tamanho das células e para células pequenas (caso da cortiça) não contribui significativamente. A radiação depende também do tamanho das células: quanto menores (como é o caso da cortiça), mais vezes o calor tem que ser absorvido e re-irradiado [26].

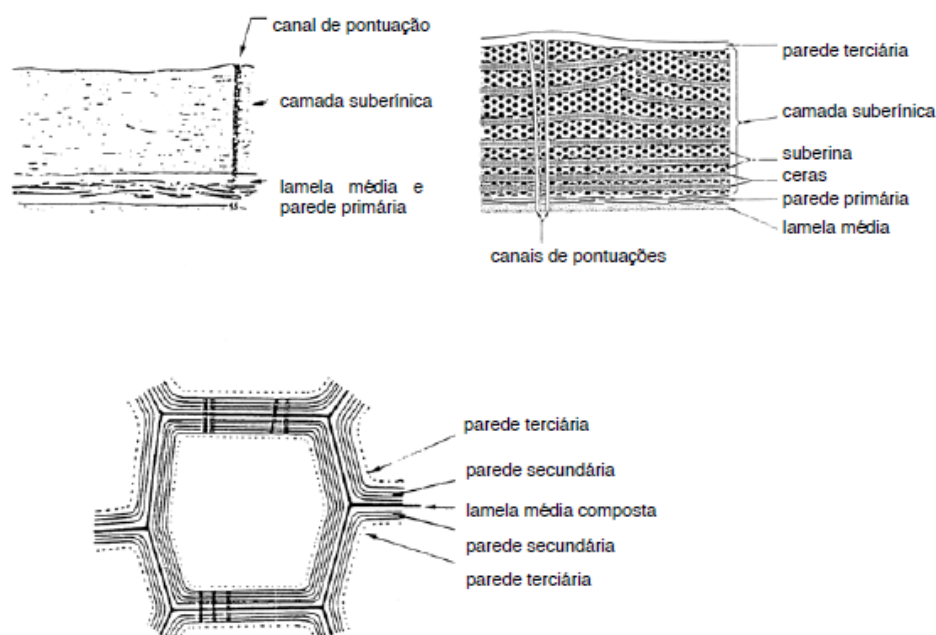


Figura 4.12 – Estrutura microscópica da cortiça [26].

4.2.2. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA CORTIÇA

As propriedades específicas da cortiça resultam, em grande medida, da sua constituição química, que é substancialmente diferente da de outros tecidos vegetais. No entanto, à semelhança do que se passa nas células de outros tecidos, também a constituição química das paredes celulares da cortiça pode ser dividida em dois tipos de componentes: os *componentes estruturais* e os *não-estruturais*.

Os componentes estruturais das paredes celulares são macromoléculas, de natureza polimérica, insolúveis, que conferem às células a sua forma e grande parte das suas características físicas e químicas. Na cortiça, os componentes estruturais são a *suberina*, a *lenhina* e os polissacáridos *celulose* e *hermiceluloses*.

Os componentes não-estruturais classificam-se em extractivos e componentes inorgânicos. Os extractivos são compostos de massa molecular pequena, que são solúveis e podem ser retirados das células por solubilização com solventes de polaridade adequada, sem afectar de modo sensível as suas propriedades mecânicas. Na cortiça, os extractivos são classificados em dois grupos de compostos: as *ceras* e os *taninos*.

Os componentes inorgânicos são englobados no que geralmente se designa por cinzas, ou seja o resíduo da combustão completa do material [23].

No quadro 4.1 apresenta-se a composição química da cortiça, como valor médio de determinações efectuadas em cortiça virgem e em cortiça amadia.

Quadro 4.1 – Composição química média da cortiça virgem e da cortiça amadia
(entre parêntesis o desvio – padrão) [23].

Componente	% em peso seco	
	Cortiça Virgem	Cortiça Amadia
Cinzas	0,9 (0,2)	1,1 (0,2)
Extractivos	16,9 (2,5)	14,2 (1,1)
Suberina	35,2 (3,1)	39,4 (1,7)
Lenhina	22,4 (1,1)	24,0 (0,8)
Polissacáridos	21,3 (2,4)	19,9 (2,6)

O principal composto da parede celular é a *suberina*, um bipolímero de carácter lipídico, responsável pela muito baixa permeabilidade da cortiça, e dadas as suas funções estruturais, não é possível removê-las sem destruir de forma irreversível a estrutura celular e a organização das paredes.

O termo *suberina* mantém-se ainda algo indefinido, e para diferentes investigadores pode representar entidades macromoleculares com características diversas, nomeadamente no que respeita à sua relação com os outros componentes estruturais da parede. No entanto, estão de acordo em que a *suberina* é uma estrutura lipídica do tipo poliéster, e as diferenças entre os diversos autores têm a ver essencialmente com o papel atribuído aos componentes fenólicos nesta estrutura [23].

Quanto à *lenhina*, esta é um polímero de carácter aromático que constitui o segundo componente estrutural mais importante das paredes celulares da cortiça. A *lenhina* possui funções de suporte para

os outros componentes estruturais na parede celular e se se retirar a lenhina, as paredes celulares colapsam [23].

Em relação aos *polissacáridos*, estes são constituídos por celulose e hemicelulose. As moléculas de celulose dispõem-se ao lado umas das outras, de forma compactada e organizada o que, como resultado torna a celulose fortemente anisotrópica. As características de maior resistência à tracção nas fibras de celulose, e a maior flexibilidade e deformabilidade que os materiais celulósicos apresentam nas direcções perpendiculares a esta, são manifestação desta anisotropia.

As hemiceluloses diferenciam-se da celulose por possuírem um menor grau de polimerização e uma estrutura linear ramificada [23].

Os *extractivos*, que são os componentes orgânicos não-estruturais da parede celular, ocorrem em percentagens elevadas nas cascas das plantas e são responsáveis pela cor da cortiça [2].

Por fim, a determinação dos compostos inorgânicos dos tecidos vegetais é feita normalmente por pesagem do resíduo de *cinzas* após combustão completa da matéria orgânica [23].

4.3. QUALIDADE E PROPRIEDADES DA CORTIÇA

4.3.1. QUALIDADE DA CORTIÇA

4.3.1.1. Conceito

Na indústria, as pranchas de cortiça amadia são classificadas atendendo ao seu calibre, isto é, à espessura da prancha, e à sua qualidade, que tem a ver com a homogeneidade e continuidade do tecido suberoso. Do mesmo modo como acontece em qualquer outro material, os critérios de qualidade a que a cortiça deve obedecer dependem dos produtos que se pretende fabricar, assim como dos fins a que se destinam, podendo variar ao longo do tempo devido a alterações que ocorram na utilização dos produtos ou nos processos de fabrico [23].

Actualmente, a classificação da qualidade da cortiça tem a ver com a aptidão tecnológica das pranchas para a produção de rolhas de cortiça e com o respectivo rendimento, tanto em quantidade como em qualidade das rolhas produzidas.

A avaliação da qualidade da cortiça é feita tendo em consideração diversas características como a porosidade, o bofe, o verde e o enguiado da raspa.

4.3.1.2. Porosidade

A porosidade de uma cortiça é definida pela fracção em volume ocupada pelos canais lenticulares, que constituem o principal factor para a definição da qualidade de uma prancha de cortiça. Como todas as cortiças contêm canais lenticulares, que atravessam a prancha na direcção radial desde a raspa até à barriga, pelo que, em rigor, os canais lenticulares não podem ser considerados defeitos da cortiça.

Na figura.4.13 apresenta-se uma fotografia da secção transversal de uma cortiça amadia, onde é possível observar a orientação radial dos canais lenticulares que são, portanto, perpendiculares aos anéis de crescimento anual.

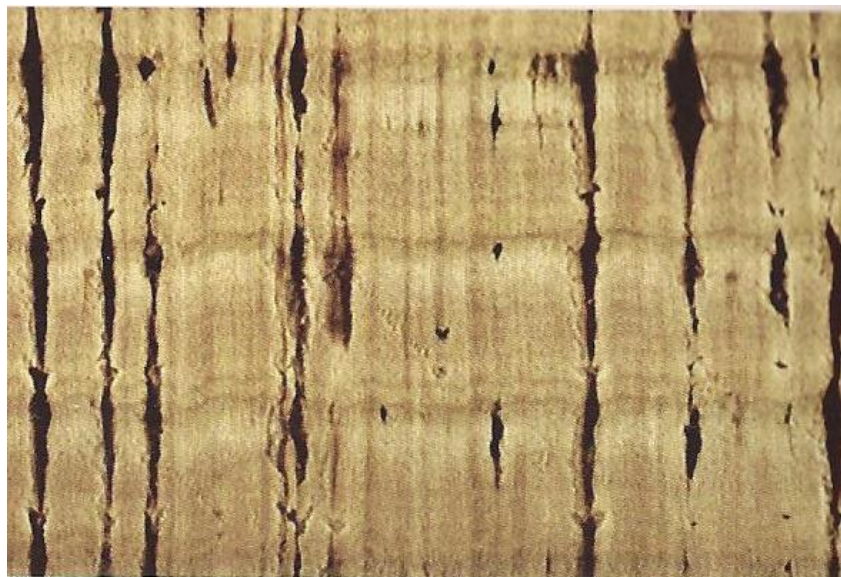


Figura 4.13 – Canais lenticulares na cortiça [23].

A porosidade de uma cortiça é avaliada através da fracção de área ocupada pelos poros em amostras representativas de secções das pranchas de cortiça e pode ser expressa como um coeficiente de porosidade, definido como a área de poros em percentagem da área total analisada, ver figura 4.14. As técnicas de análise de imagem permitem quantificar e caracterizar dimensionalmente os poros, que se diferenciam da massa de cortiça envolvente devido à sua cor mais escura.



Figura 4.14 – Cortiça com diferentes coeficientes de porosidade [23].

Em geral, para uma mesma cortiça, a porosidade medida nas secções transversal e radial é ligeiramente maior que na secção tangencial, mas os limites de variação da porosidade medidos em cortiças de diferentes qualidades são semelhantes [23].

4.3.1.3. Bofe

A porosidade muito elevada, em resultado da existência de canais com diâmetros grandes, é designada correntemente por *bofe*. Trata-se de uma descontinuidade do tecido suberoso que apresenta uma forma característica, evidenciando a zona de células de fim de estação no limite dos anéis de crescimento, o que resulta do facto de haver uma contracção do tecido no interior do anel de crescimento, com colapso das células de início de estação, ver figura 4.15.

O bofe deve corresponder a uma fractura do tecido suberoso, originada por uma disfunção pontual do felogénio de que resulta uma menor resistência local das células às tensões tangenciais de crescimento.

Este é um defeito associado principalmente a cortiças de crescimento rápido e a cortiça com bofe é utilizada apenas no fabrico de aglomerados.

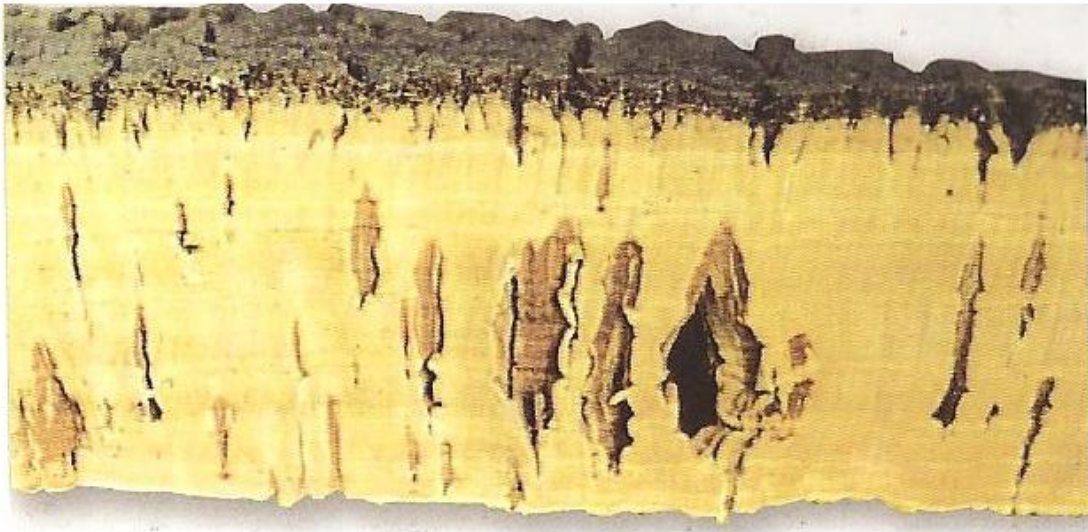


Figura 4.15 – Exemplo de bofe na cortiça [23].

4.3.1.4. Verde

De entre os defeitos da cortiça, um dos que tem maiores implicações na posterior utilização do material é o *verde*. O termo verde é aplicado à cortiça que contém áreas com elevado teor de humidade (400 a 500 %) rodeadas por cortiça com teor de humidade normal (cerca de 6 a 8 % quando seca ao ar). O verde surge quer em cortiças virgem quer em cortiças amadias, qualquer que seja a sua qualidade, ver figura 4.16. A origem do verde é, ainda, desconhecida.

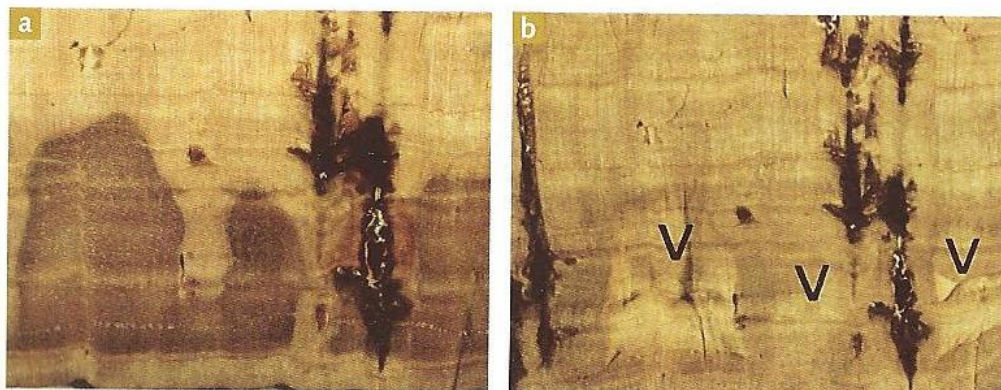


Figura 4.16 – Exemplos de verde na cortiça; (a) antes e (b) após secagem [23].

4.3.1.5. Enguiado

O *enguiado* é um defeito das pranchas de cortiça que pode ter implicações económicas na sua utilização industrial. Este defeito consiste na existência de fendas pronunciadas e dirigidas axialmente, na raspa das pranchas, que podem estender-se até às primeiras camadas de cortiça subjacentes.

Este defeito é devido às tensões de tracção na direcção tangencial originadas durante o crescimento da cortiça. A parte do entrecasco exterior ao local de regeneração do felogénio, que constitui a raspa da prancha e é formada por células pouco elásticas, quebra-se levando ao aparecimento de fendas. Quando a razão entre os perímetros das circunferências correspondentes ao exterior do tronco (com a cortiça) e ao entrecasco é grande, pode ocorrer a quebra das paredes das células de cortiça mais exteriores, levando ao aparecimento de fendas profundas, ver figura 4.17.

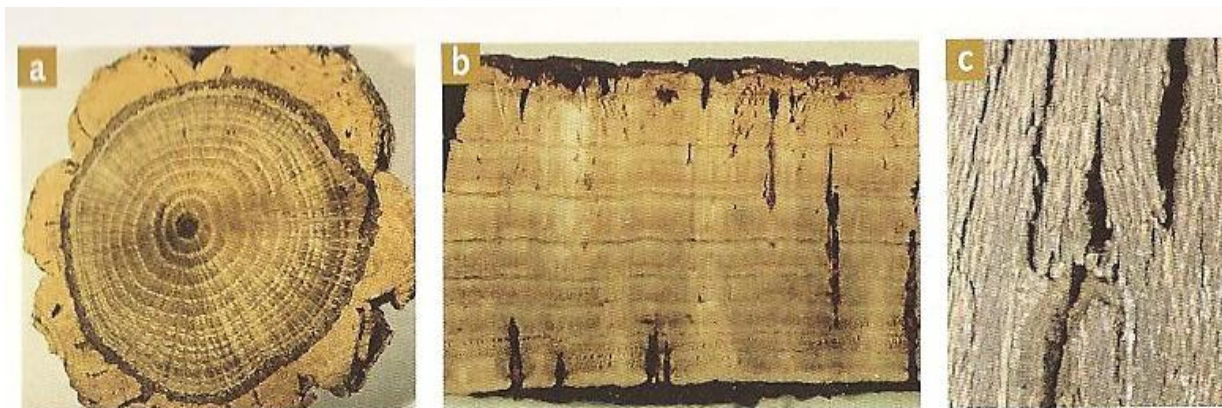


Figura 4.17 – Exemplos de enguiado na cortiça; (a) Fendas na cortiça virgem; (b) Secção transversal de um bocado de cortiça amadia onde é possível observar fendas bastante pronunciadas; (c) Enguiado na raspa da cortiça [23].

4.3.2. PROPRIEDADES DA CORTIÇA

4.3.2.1. Densidade

A cortiça é um material celular que apresenta uma densidade muito variável. A densidade depende do tipo de cortiça (amadia ou virgem), mas há variações apreciáveis dentro de um mesmo tipo de cortiça. Alguns tratamentos, nomeadamente a cozedura a que a cortiça é submetida antes de ser processada industrialmente, também provocam alterações de densidade. Em geral são referidos valores de densidade da cortiça amadia cozida de 200 a 250 kg/m³.

A densidade global, ρ , de um material celular está relacionada com a densidade do sólido constituinte das paredes celulares, ρ_s , e com a geometria das células. Se for f a fracção em volume ocupada pelas paredes celulares:

$$\frac{\rho}{\rho_s} = 1 - f \quad (4.1)$$

A composição química não varia apreciavelmente com o tipo de cortiça, nem é alterada durante a operação de cozedura, pelo que a densidade do material constituinte das paredes celulares, ρ_s , deverá ser aproximadamente a mesma em todas as cortiças. Esta densidade nunca foi medida experimentalmente, indicando-se habitualmente o valor de 1150 kg/m³, que é típico dos materiais poliméricos e foi estimado a partir da densidade dos diferentes componentes químicos da cortiça.

4.3.2.2. Molhabilidade

No fabrico dos aglomerados composto, o granulado de cortiça é misturado com um aglutinante, que vai promover a ligação entre os grânulos. Algumas das propriedades do aglomerado composto, nomeadamente as propriedades mecânicas, irão depender da adesão do aglutinante à cortiça, que por sua vez, depende, da *molhabilidade* da cortiça pelo aglutinante.

Para que se estabeleça uma relação forte entre o adesivo e a cortiça é necessário que o adesivo molhe e possa espalhar-se sobre a superfície sólida, o que implica que tenha uma viscosidade baixa e que o *ângulo de contacto* cortiça – adesivo seja pequeno.

Quando uma gota de um líquido é colocada sobre uma superfície sólida, poderá espalhar-se completamente sobre a superfície ou permanecer como uma gota com um certo ângulo de contacto, ϕ , com a superfície sólida, como está esquematizado na figura 4.18 [23].

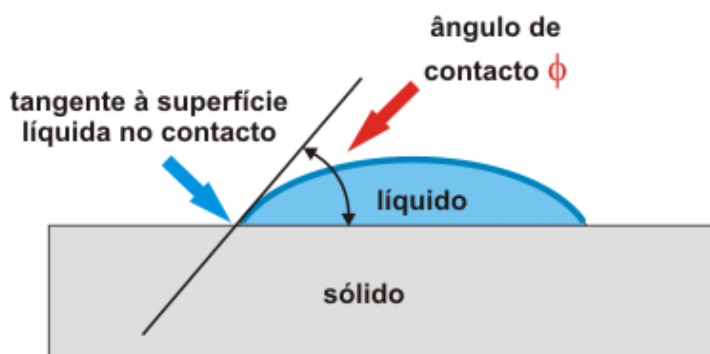


Figura 4.18 – Ângulo de contacto de uma gota de líquido quando sobreposta a uma superfície sólida [27].

Ou seja, quanto menor for o ângulo de contacto, maior a molhabilidade.

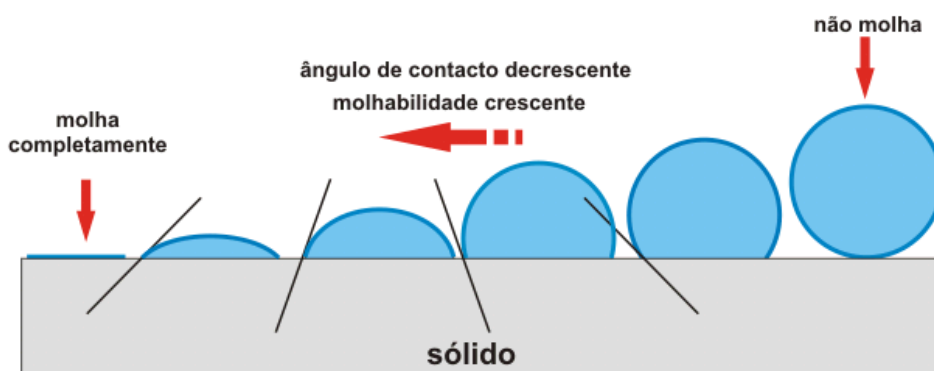


Figura 4.19 – Diferentes graus de molhabilidade que um sólido pode apresentar quando lhe é sobreposto um líquido dependendo das suas características [27].

4.3.2.3. Propriedades Térmicas

De entre as propriedades térmicas da cortiça, a mais importante é a *condutibilidade térmica*. A baixa condutibilidade térmica dos materiais celulares, que resulta da sua estrutura, está na origem do enorme uso destes materiais como isolantes térmicos [23].

A condutibilidade térmica λ é definida pela *Lei de Fourier* que relaciona o fluxo de calor, q (quantidade de calor que flui através da área unitária, por unidade de tempo), resultante dum gradiente de temperatura ΔT (variação da temperatura por unidade de comprimento, na direcção do fluxo), sendo:

$$q = -\lambda \Delta T \quad (4.2)$$

As unidade de λ são J/(m.s.K) ou W/(m.K).

Quadro 4.2 – Propriedades térmicas da cortiça [23].

	Cortiça	Aglomerados
λ (W/(m.K))	0,040 - 0,045	0,035 - 0,070

4.3.2.4. Propriedades Acústicas

Os materiais celulares, em geral, e os aglomerados de cortiça em particular encontram aplicação em acústica. Actualmente os materiais de maior consumo para estas aplicações acústicas são polímeros expandidos de células abertas, como, por exemplo, poliuretanos, poliamidas e polietileno, e também lã de basalto e fibras celulósicas. Mas os aglomerados de cortiça permanecem no mercado e continuam a competir com estes materiais em certas aplicações.

No entanto em relação à absorção sonora, tema de interesse a esta dissertação, é conhecido que quando uma onda sonora se propaga num meio poroso ou num material celular, há movimento do ar e movimento do sólido. Há, em geral, acoplamento entre as ondas que se propagam no ar e no sólido, dependendo esse acoplamento da impedância relativa das paredes celulares e do ar. O acoplamento é grande se as duas impedâncias são semelhantes e isso afecta a absorção do som. Se as células são fechadas, como no caso da cortiça, as vibrações do ar e das paredes celulares estão fortemente acopladas. No outro extremo, de materiais celulares abertos ou de elevada porosidade, o acoplamento é fraco e a propagação do som é controlada pela propagação no ar numa larga gama de frequências. À medida que o acoplamento aumenta, o movimento do sólido origina movimento no ar, mas, devido à grande diferença de densidades, o ar não é capaz de originar movimento no sólido. Há uma onda que se propaga essencialmente no ar, enquanto uma outra se propaga com amplitudes iguais no ar e no sólido. Este desacoplamento parcial ocorre para frequências superiores a uma frequência crítica que depende da fracção de volúmica de poros abertos [23].

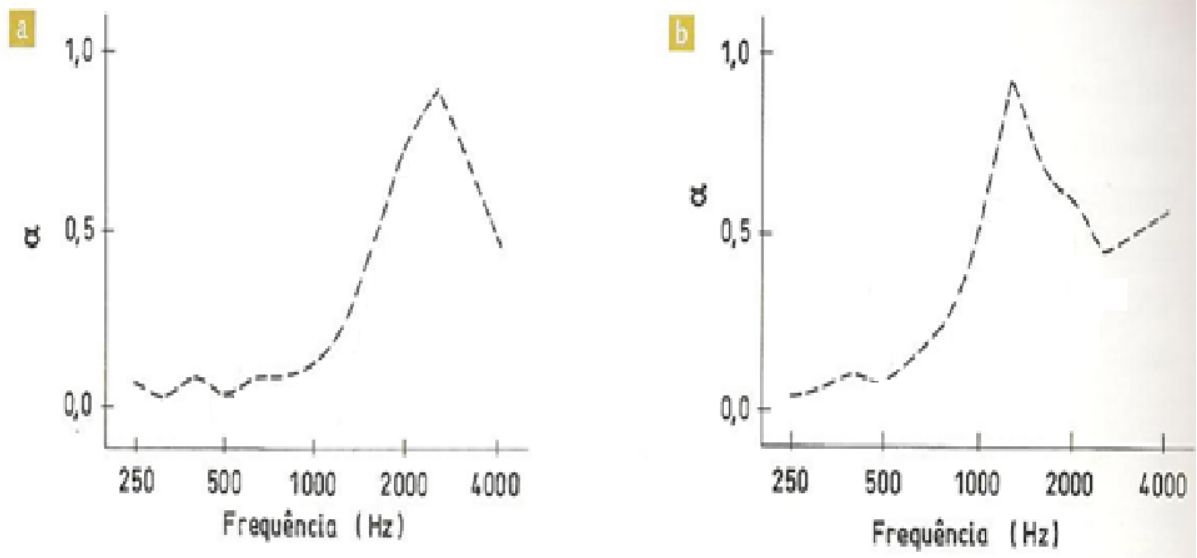


Figura 4.20 – Coeficiente de absorção sonora de aglomerado negro de cortiça com duas espessuras em função da frequência: (a) e= 15 mm; (b) e= 25 mm [23].

5

“TINTA” DE DESEMPENHO ACÚSTICO OPTIMIZADO

5.1. TINTAS COM CARACTERÍSTICAS ACÚSTICAS

5.1.1 BREVE INTRODUÇÃO

Após o esclarecimento sobre definições e processo de fabrico de uma tinta genérica, serve o presente capítulo para apresentar o resultado da pesquisa efectuada no mundo das tintas ditas “acústicas”, com a descrição, uso, composição e características técnicas que essas tintas já comercializadas oferecem.

5.1.2. ACOUSTIC COAT

A *Acoustic Coat* é uma solução apresentada pela *Hy-Tech Thermal Solutions*, dos Estados Unidos da América [28] de uma tinta com base aquosa formulada com micro esferas cerâmicas, que fazendo uso do centro em vácuo aumentam a absorção sonora e evitam que o som reflecta nas superfícies, obtendo uma absorção sonora de 30% [29].

Esta solução é aconselhada pelo fabricante para ser utilizada em interiores, tectos e paredes, e apresenta ainda como benefícios servir como barreira à perda de calor e devido à sua leve textura ocultar defeitos nas superfícies. Reclama ainda ser de fácil aplicação, rápida secagem e amiga do ambiente [29].

Apresenta na sua composição, como veículo, uma emulsão vinílica-acrílica, uma concentração volumétrica de pigmento de $63 \% \pm 2 \%$ e sendo uma tinta de base aquosa apresenta como solvente a água. São recomendadas duas demãos na aplicação [29].

5.1.3. TINTA ACÚSTICA KAR

A Tinta Acústica 3048 da KAR, Portugal [30], é uma tinta reforçada com pequenas partículas absorventes do som que ao ser aplicada reduz a reflexão do som [31]. Como se trata de uma tinta de origem nacional, considerou-se oportuno a aquisição desta tinta e em conjunto com a tinta em desenvolvimento nesta dissertação realizar ensaios para que se possa determinar o coeficiente de absorção sonora na sua utilização.

Esta tinta possui, segundo o fabricante, uma óptima adesão a substratos com características semelhantes ao gesso cartonado e gesso; usufrui de um bom poder de cobertura e fácil aplicação, uma boa resistência à água e aos álcalis e uma óptima estabilidade. Esta tinta foi especialmente estudada para aplicações em superfícies onde é necessário que se evite o eco [31].

Apresenta na sua composição uma emulsão dum éster acrílico como veículo, uma concentração volumétrica de pigmento de cerca de 70% e como solvente a água. São recomendadas duas a três demãos na aplicação [31].

5.1.4. PATENTE NACIONAL

Ao realizar a pesquisa sobre tintas acústicas foi encontrada uma patente de invenção nacional cujo titular é o Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação [32] pedida em 28 de Novembro de 2007 e concedida em 25 de Janeiro de 2010 em que reclama a invenção de novas tintas com incorporação de partículas de cortiça de modo a obter um melhor comportamento ao nível do isolamento acústico e da absorção acústica. Refere ainda que as tintas são obtidas por mistura de tintas correntes para interiores e exteriores de edifícios com partículas de cortiça com diferentes granulometrias e em diferentes proporções, e que estas apresentam uma menor condutividade térmica e uma maior absorção acústica, conduzindo a um melhor comportamento térmico e acústico quando comparadas com as tintas correntes, contribuindo para uma melhor habitabilidade [33].

É no entanto importante ressaltar que esta patente não apresenta qualquer registo da composição química das tintas nem apresenta ensaios ou resultados comprovativos.

5.2. PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE TINTA COM PÓ DE CORTIÇA INCORPORADO

Para a concretização do desenvolvimento de uma tinta com pó de cortiça com desempenho acústico otimizado obteve-se o apoio do grupo CIN (Corporação Industrial do Norte) [34] onde foi possível realizar uma formação na qual foram assimilados diversos conceitos, definições e propriedades das tintas. Ao longo desta formação realizou-se ainda uma visita aos laboratórios de investigação e desenvolvimento do grupo e à fábrica.

Após o conhecimento das instalações e processos utilizados foi possível reunir as condições necessárias para avançar com o projecto.

a) Teste de absorção ao óleo

O primeiro passo a realizar foi o teste de absorção ao óleo do pó da cortiça realizado no laboratório da CIN de forma a perceber a reacção do pó de cortiça quando este é adicionado ao ligante. Neste ensaio uma quantidade medida previamente de pó de cortiça foi misturada com óleo de linhaça. O objectivo deste ensaio é ir adicionando pequenas gotas de óleo ao pó de cortiça até alcançar um ponto em que se dá a formação de uma pasta. A quantidade necessária de óleo a aplicar está relacionada com o tamanho, área superficial e rugosidade da superfície das partículas. Quanto menor ou mais ásperas forem as partículas, mais óleo é necessário para conseguir formar uma pasta.

Este ensaio é geralmente utilizado nos pigmentos e tem como finalidade perceber na fase de formulação de tintas que constituintes utilizar, pois se um pigmento obtiver um elevado índice de absorção de óleo significa que necessitará de determinados veículos para ser possível dispersá-lo [35].

O resultado deste ensaio foi impossível de obter uma vez que se verificou que o pó de cortiça não absorvia o óleo, o que por sua vez significa que o pó não se deixa molhar nem permite que o óleo se insira dentro da sua estrutura molecular. Este efeito levantou duas questões pertinentes, uma vez que por um lado a falta de absorção ao óleo trará dificuldade na integração do pó ao veículo volátil, por outro ao não absorver permite que o ar presente na estrutura do pó esteja disponível para fazer a absorção do som, objectivo final deste novo produto.

b) Pós - adição

Desta forma avançou-se para a realização de amostras em pequena quantidade através da pós-adição numa tinta já finalizada para verificar a reacção que esta tem ao ser adicionado o pó de cortiça.

Nesta fase efectuaram-se duas amostras com tinta *Vinylsilk*, uma com 5% e outra com 10% de adição do pó de cortiça em massa que podem ser observados nas figuras 5.1 e 5.2.

Os resultados obtidos não foram satisfatórios uma vez que ao adicionar estas percentagens a viscosidade da tinta fica altamente comprometida, especialmente na amostra com 10% de incorporação de pó, perdendo assim as características de tinta passando a apresentar um aspecto mais similar a uma massa (ver Figura 5.2). Ao mesmo tempo com a execução destas amostras percebeu-se que a granulometria do pó de cortiça não era constante nem homogénea ficando marcadamente assinalada ao aplicar.

Desta forma foi efectuado um ensaio à granulometria no Laboratório de Apoio às Técnicas Laboratoriais do Departamento de Engenharia Química da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, utilizando um granulómetro (*L S Particle Size Analyzer* da COULTER, [36]) que emprega a técnica de PIDS (*polarization intensive differential scattering*) e cujos resultados se apresentam nas figuras 5.3 e 5.4.



Figuras 5.1 e 5.2 – Amostras com 5% e 10% de Pó de Cortiça [Fotos da Autora].

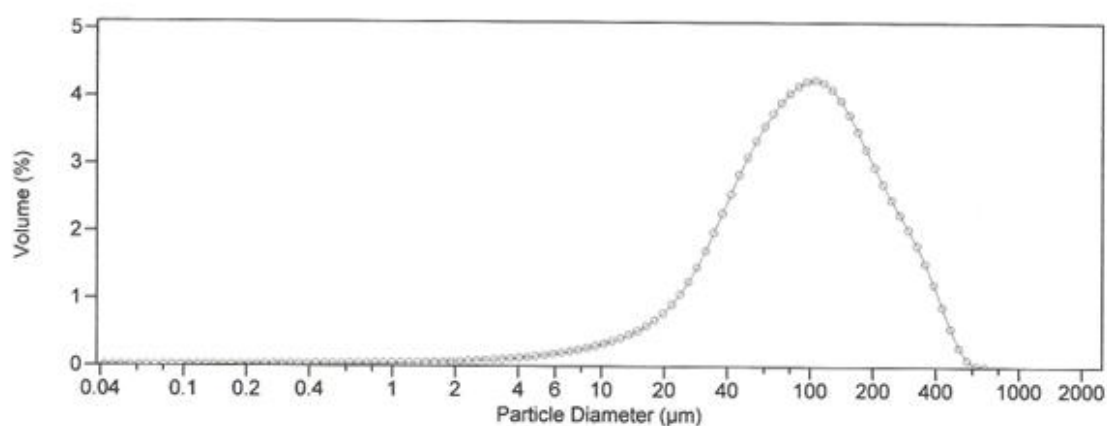


Figura 5.3 – Análise à granulometria do pó de cortiça em volume [37].

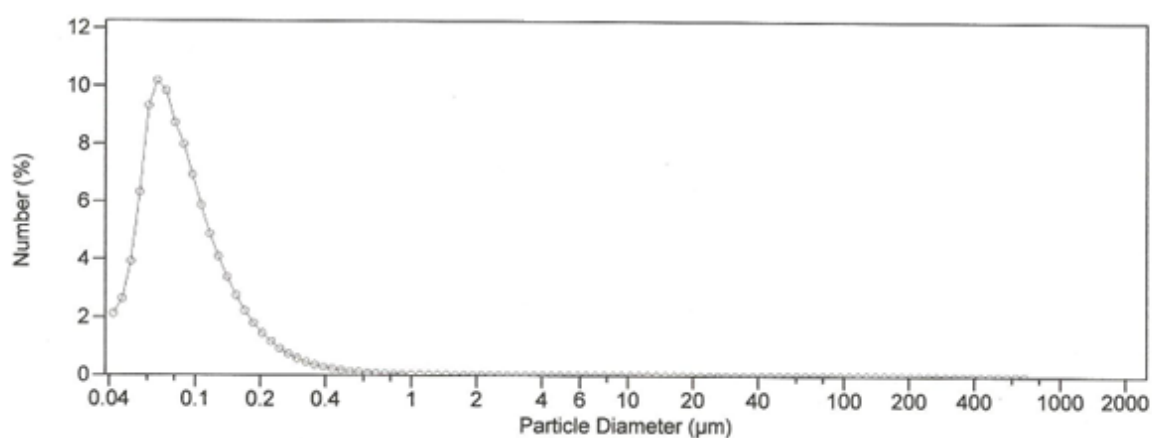


Figura 5.4 - Análise à granulometria do pó de cortiça em número [37].

Estes resultados permitiram analisar que a média das partículas apresenta uma dimensão de 121 μm em volume e que em número apresenta uma dimensão de 0,104 μm o que representa que existe um pequeno número de partículas que apresenta um elevado volume. Os valores obtidos podem ser consultados no Quadro 5.1.

Quadro 5.1 – Resultados Granulométricos do Pó de Cortiça [37].

	Em Volume	Em Número
Média	121,3 μm	0,104 μm
Mediana	92,4 μm	0,082 μm
Valor Máximo	265,1 μm	0,169 μm
Valor Mínimo	25,3 μm	0,054 μm

Para uma melhor percepção da morfologia do pó de cortiça apresentam-se nas figuras 5.5 e 5.6 uma imagem microscópica do pó ampliada de 50 e 500 vezes respectivamente.

A visualização das fotografias permite perceber que as partículas de maiores dimensões se desviam da esfericidade e apresentam uma forma mais alongada.

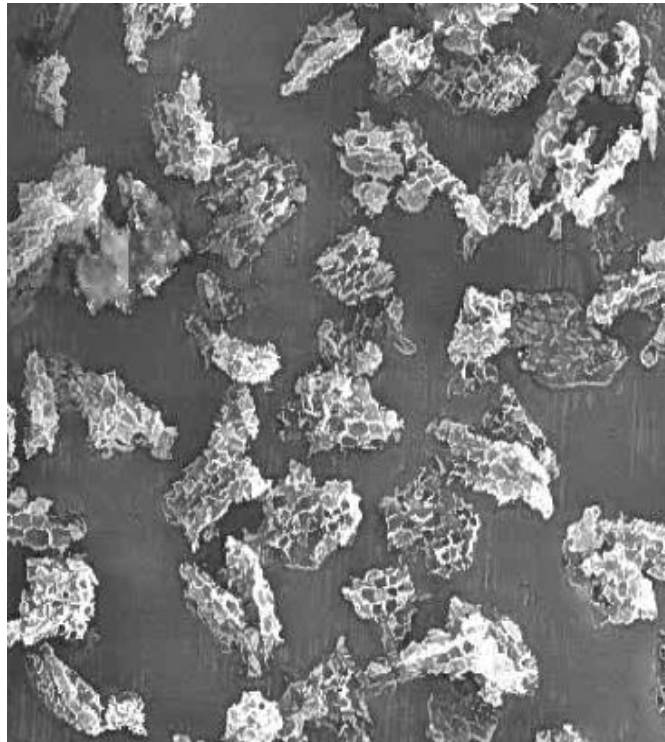


Figura 5.5 – Morfologia do Pó de Cortiça de 222 μm de diâmetro médio ampliado de 50 vezes [38].

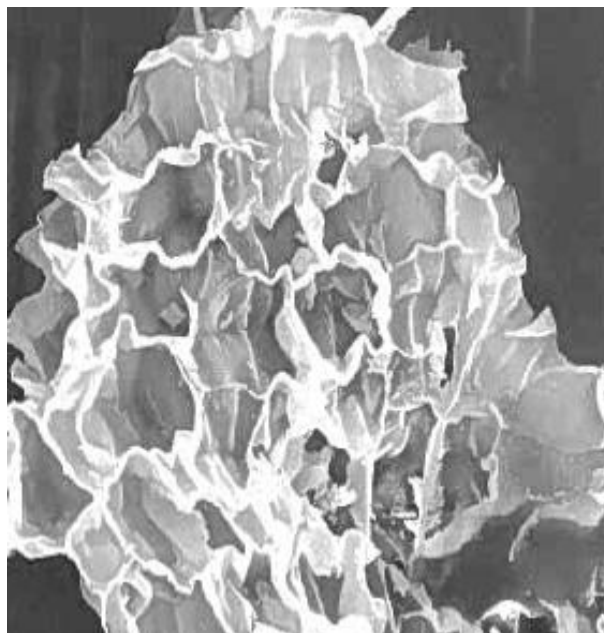


Figura 5.6 - Morfologia do Pó de Cortiça de 222 μm de diâmetro médio ampliado de 500 vezes [38].

c) Incorporação em duas tintas

Com conhecimento destes novos dados, avançou-se para a realização de incorporações do pó de cortiça em duas tintas de base distinta sendo uma de alto PVC e outra de baixo PVC para tentar perceber se esta diferença estabelecia alguma divergência considerável na absorção sonora. Nestas

novas misturas utilizou-se a tinta *CONTRATO* (alto PVC), com a incorporação de 2% de pó de cortiça e a tinta *VINYLSILK* (baixo PVC) [39], com a incorporação de 3% de pó de cortiça.

O motivo pelo qual se efectuaram estas associações prendeu-se com a dificuldade sentida na dispersão do pó de cortiça. Objectivamente pretendia-se efectuar a mistura nas duas tintas com iguais percentagens de incorporação de pó, no entanto tal não foi possível de obter.

A facilidade com que um pó é disperso no ar é função de vários factores: a massa volúmica individual das partículas, o seu diâmetro, a sua forma, as suas propriedades coesivas de umas relativamente às outras e as suas propriedades adesivas relativamente às superfícies circundantes.

O pó de cortiça apresenta uma grande dificuldade no seu manuseamento que se prende com a sua dispersão e suspensão. Esta dificuldade está relacionada com o facto de este pó ser muito leve e com o facto de possuir elevada electricidade estática o que dificulta, enormemente, o processo de dispersão e a sua reprodutibilidade [38].

Por esta razão foram colocadas bastantes questões pertinentes em especial na forma como poderia ser contornado este problema no caso de se avançar para a produção em fábrica.

Após o fabrico, através da dispersão manual do pó de cortiça, procedeu-se à aplicação destas tintas em placas de Platex Crú [40]. Estas placas apresentam uma superfície lisa e a contra face rugosa que resulta da prensagem das fibras de madeira. Como características apresenta uma densidade 1000 kg/m^3 e uma espessura de 3,2 mm e dimensão de 2,75 m por 1,25 m.

Conjuntamente com as placas de Platex Crú foram também adquiridas placas de Chapa Zincor [41] com dimensão de 2 m por 1 m e uma espessura de 0,6 mm.

Reunidas as matérias necessárias para a realização dos ensaios procedeu-se à aplicação das tintas, ou seja:

- Aplicação, em placa de Platex Crú, da tinta *Vinylsilk*, (uma demão);
- Aplicação, em placa de Platex Crú, da tinta *Vinylsilk* com incorporação de 3 % de pó de cortiça, uma demão e posteriormente duas demãos;
- Aplicação, em placa de Platex Crú, da tinta *Vinylsilk* com incorporação de 5 % de pó cortiça, o que levou a que esta mistura se transformasse numa massa;
- Aplicação, em placa de Platex Crú, da tinta *Contrato* com 2 % de pó de cortiça, com uma demão;
- Aplicação, em placa de Platex Crú, da tinta “acústica” da *KAR*, uma demão e posteriormente duas demãos;
- Aplicação, em placa de Chapa, da tinta *Contrato*;
- Aplicação, em placa de Chapa, da tinta *Contrato* com 2 % de pó de cortiça, com uma demão.

Ao longo da realização dos ensaios verificou-se que seria pertinente testar igualmente a absorção sonora do pó de cortiça isoladamente e para isso aplicou-se uma camada do pó sobre uma placa de Platex Crú.

Assim, realizaram-se doze ensaios a amostras, mais os ensaios necessários com a câmara vazia, que serão analisados no capítulo 6.

6

ENSAIOS E RESULTADOS

6.1. MÉTODO

6.1.1. NORMALIZAÇÃO

No presente capítulo pretende-se esclarecer o método para a determinação do coeficiente de absorção sonora de um qualquer material, em câmara reverberante, que deve ser efectuado segundo a normalização europeia em vigor, a EN ISO 354:2007 [11].

O método preconizado nesta norma aplica-se à medição dos coeficientes de absorção sonora de materiais utilizados no tratamento de paredes e de tectos ou então na área de absorção sonora equivalente não só de objectos como mobiliário, mas também de elementos absorventes, como pessoas.

O seu princípio básico consiste na medição dos tempos de reverberação médios da câmara reverberante com e sem a amostra em estudo. Através dos resultados obtidos para os tempos de reverberação, a área de absorção equivalente pode ser calculada recorrendo à Formula de Sabine (2.9).

Importa ainda salientar que as medições devem ser efectuadas em bandas de terço de oitavas centradas nas seguintes frequências (em hertz), de acordo com a ISO 266 [42]:

100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1 000; 1 250; 1 600; 2 000; 2 500; 3 150; 4 000; 5 000

Podem efectuar-se medições adicionais, fora deste intervalo de frequências, sendo que medições em frequências inferiores aos 100 Hz podem acarretar dificuldades na obtenção de resultados exactos devido à baixa densidade modal da câmara reverberante.

a) Câmara reverberante

Para a realização deste ensaio, a norma recomenda que a câmara reverberante tenha um volume nunca inferior a 125 m³, sendo que para novas construções, o volume deve ser superior a 200 m³, sendo que a câmara da FEUP, aquando dos ensaios apresentava um volume de 204 m³. Contudo, a norma salienta que, para câmaras reverberantes com volumes superiores a 500 m³, a precisão das medições a efectuar pode ser afectada especialmente nas altas frequências devido à forte influência da absorção sonora do ar.

Relativamente à forma da câmara reverberante, esta deve satisfazer a seguinte condição [11]:

$$l_{max} < 1,9 V^{1/3} \quad (6.1)$$

Onde,

l_{max} – É o comprimento da maior linha recta contida no perímetro da câmara (por exemplo, num rectângulo, l_{max} corresponde à maior diagonal), em m;

V – É o volume da câmara reverberante, em m^3 .

Segundo o Anexo A da normalização em estudo [11], o campo sonoro deve ser suficientemente difuso, podendo por vezes ser necessário a utilização de difusores, estacionários ou suspensos, ou reflectores rotativos.

No que diz respeito à área de absorção sonora equivalente da câmara sem a amostra em estudo, designada por A_1 , determinada em bandas de terços de oitava, esta não deve exceder os valores apresentados no Quadro 6.1 [11].

Quadro 6.1 - Área máxima de absorção sonora equivalente para câmaras com um volume $V= 200 m^3$

Frequência, Hz	100 a 800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Área de absorção sonora equivalente, m^2	6,5	7,0	7,5	8,0	9,5	10,5	12,0	13,0	14,0

No caso do volume da câmara ser diferente de $200 m^3$, os valores apresentados no Quadro 6.1 devem ser multiplicados por $(V / 200)^{2/3}$, pode-se observar na figura 6.1 que a câmara reverberante da FEUP cumpre com este critério. A norma realça também o facto de não poderem existir picos no gráfico que relaciona A_1 com as diferentes frequências, não se podendo exceder em mais de 15%, a média dos valores de ambas as bandas adjacentes em terços de oitava.

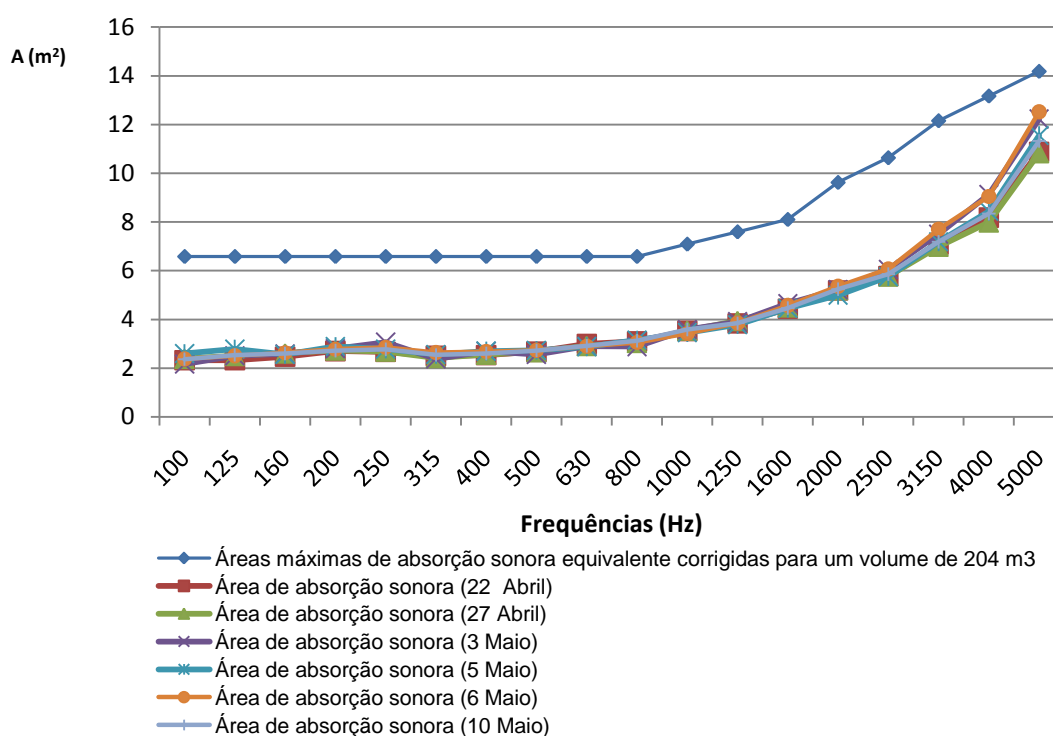


Figura 6.1 - Áreas de absorção sonora equivalente, em m^2 , máximas e medidas (22 de Abril a 10 de Maio) durante os ensaios na câmara reverberante R1 da FEUP.

No que diz respeito ao material a ensaiar, distinguem-se elementos absorventes planos e discretos. No primeiro caso, a amostra deve ter uma área compreendida entre $10 m^2$ e $12 m^2$, devendo o limite superior ser aumentado de um factor $(V / 200)^{2/3}$, no caso da câmara reverberante ser maior do que $200 m^3$.

Relativamente à sua posição na câmara, esta deverá ser tal que qualquer um dos seus pontos diste em relação às paredes da câmara pelo menos 1 m (a distância mínima não deve ser inferior a 0,75 m).

Quanto à montagem da amostra, deve respeitar as instruções contidas no Anexo B da Norma [11], excepto situações em que o fornecedor do material exige uma montagem específica.

No segundo caso, entendem-se por objectos discretos elementos como cadeiras ou pessoas entre outros, que devem ser colocados como se fossem aplicados na realidade. Devem ser colocados um número suficiente de objectos do mesmo tipo que se pretende estudar (no mínimo 3) para provocar uma variação significativa da absorção sonora equivalente, que deve ser no mínimo $1 m^2$ e no máximo $12 m^2$. Novamente, no caso da câmara ter mais de $200 m^3$ os valores devem ser aumentados de $(V / 200)^{2/3}$ [11].

Na realização de qualquer ensaio na câmara reverberante, as condições de temperatura e de humidade relativa têm uma importância bastante significativa na medição dos tempos de reverberação, especialmente nas altas frequências. Em caso algum os ensaios se podem realizar em ambientes cuja humidade relativa seja inferior a 30% ou superior a 90%, devendo a temperatura ser sempre igual ou superior a $15 ^\circ C$, consultando o quadro 6.2 verifica-se que os valores medidos se encontram dentro das condições necessárias.

Quadro 6.2 – Valores medidos durante os ensaios de 22 de Abril a 10 de Maio de temperatura e humidade relativa.

		22 Abril 2010	27 Abril 2010	03 Maio 2010	05 Maio 2010	06 Maio 2010	10 Maio 2010
Temperatura (°C)	Antes do ensaio	18,0	19,0	18,0	18,3	18,5	17,5
	Depois do Ensaio	18,6	18,0	18,5	17,8	18,1	17,8
Humidade relativa (%)	Antes do ensaio	55,0	66,0	58,0	55,0	52,0	65,0
	Depois do Ensaio	56,5	71,0	60,0	59,0	55,1	64,9

b) Curvas de decaimento

A Norma em vigor [11] preconiza dois métodos para a medição de curvas de decaimento: o método do ruído interrompido e o método da resposta impulsiva integrada.

No primeiro método, a curva de decaimento medida resulta de um processo estatístico, sendo necessário calcular a média de várias curvas de decaimento, ou tempos de reverberação, medidos para uma posição de fonte/microfone de forma a obter uma repetibilidade adequada.

Por sua vez, a resposta impulsiva integrada de um dado compartimento, é uma função determinística sem propensão a desvios estatísticos, não sendo necessário calcular médias, necessitando por isso de equipamento mais sofisticado do que o utilizado para o método anterior.

No que diz respeito aos microfones a utilizar nas medições, estes devem ser omnidireccionais e de incidência aleatória devendo os registos ser feitos com diferentes posições dos microfones, afastadas entre si, no mínimo, de 1,5 m e a 2 m da fonte sonora e pelo menos a 1 m de distância das superfícies da câmara e do provete em estudo.

Relativamente à fonte sonora, esta deve também ser omnidireccional, devendo-se utilizar várias posições para a fonte sonora, com um espaçamento mínimo de 3 m.

Finalmente, o número mínimo de posições do microfone é três, sendo que o número mínimo de posições da fonte sonora exigido é dois.

No método do ruído interrompido, a fonte sonora deve emitir um som que apresente um espectro contínuo de banda larga (devendo este ser tal que as diferenças nos níveis de pressão sonora resultantes na câmara sejam menores que 6 dB em bandas de um terço de oitava adjacentes) ou banda estreita (a largura da banda deve ser pelo menos um terço de oitava).

Quanto ao sinal de excitação, deve ter a duração suficiente para que se produzam níveis de pressão sonora constantes nas diferentes bandas de frequência, antes de ser interrompido (a sua duração deve ser pelo menos metade do tempo de reverberação esperado). O nível estabilizado do sinal do ensaio, antes do decaimento, deve ser suficientemente elevado para que o nível mínimo, no intervalo de avaliação, seja pelo menos de 10 dB superior ao ruído de fundo.

Para o cálculo dos valores médios, determina-se primeiramente o tempo de reverberação em cada uma das curvas de decaimento individuais e os tempos de reverberação assim obtidos utilizam-se para calcular uma média aritmética.

O sistema de aquisição deve ser um registador de nível sonoro (ou outro equipamento que determine a inclinação média da curva de decaimento do tempo de reverberação), incluindo os amplificadores e filtros necessários. O equipamento de registo (leitura e/ou avaliação) do decaimento do nível de pressão sonora pode utilizar:

- Média exponencial, representada na forma de curva contínua; ou
- Média exponencial, representada por pontos discretos; ou
- Média linear, representada por médias discretas.

O equipamento de medição deve possuir filtros de um terço de oitava, devendo as suas características respeitar a publicação IEC 61260 [43].

c) Cálculo

O Tempo de Reverberação da câmara reverberante sem e com a amostra, T_1 e T_2 respectivamente, é resultado da média aritmética do número de medições, em cada banda de frequência.

Calculados T_1 e T_2 , procede-se ao cálculo das áreas de absorção equivalentes A_n para $n=1$ no caso da câmara vazia e $n=2$ no caso de a câmara conter a amostra [11]:

$$A_n = \frac{55,3V}{c T_n} - 4Vm_n \quad (6.2)$$

Onde:

V - é o volume da câmara reverberante, em m^3 ;

c_n - é a velocidade de propagação do som no ar em m/s e que pode ser calculada pela seguinte expressão válida para gamas pequenas de variação de temperatura: $c_n = 331 + 0,6t_n$ (m/s), em que:

t_n - temperatura do ar, em $^{\circ}C$ (variando entre $15^{\circ}C$ e $30^{\circ}C$)

T_n - Tempo de reverberação, em s;

m_n - coeficiente de absorção sonora do ar, em metros recíprocos, calculada de acordo com a ISO 9613-1 [44], usando as condições climatéricas da câmara reverberante.

Quadro 6.3 - Absorção sonora do ar, em m^{-1} , em função da humidade relativa [3].

Humidade Relativa (%)	< 1kHz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz	16kHz
0	0	0	0	0	0	0
20	0	0,008	0,016	0,056	0,188	0,34
40	0	0,004	0,008	0,044	0,096	0,21
60	0	0,003	0,004	0,028	0,064	0,14
80	0	0,002	0,004	0,008	0,052	0,11

Calculados os parâmetros A_1 e A_2 , calcula-se então a área de absorção equivalente do material, A , de acordo com a seguinte expressão [11]:

$$A = A_2 - A_1 = 55,3 V \left(\frac{1}{c_2 T_2} - \frac{1}{c_1 T_1} \right) - 4V(m_2 - m_1) \quad (6.3)$$

O quadro 6.3 apresenta valores de m para várias condições de humidade relativa, em função da frequência [3]. Após a introdução dos provetes na câmara reverberante, deve-se permitir que estes atinjam o equilíbrio com a câmara reverberante, em termos de temperatura e humidade relativa, antes de ser iniciado o ensaio. No entanto, como na maior parte das situações as condições de ensaio antes e após a introdução dos provetes são idênticas, a correcção de m é irrelevante pois é semelhante em ambos os casos.

Finalmente, para a determinação do coeficiente de absorção sonora, α_s , recorre-se à seguinte fórmula:

$$\alpha_s = \frac{A}{S} \quad (6.4)$$

em que:

A – é área de absorção sonora equivalente do material, em m^2 ;

S – é a área da amostra, em m^2 .

O relatório do ensaio, segundo a Norma Internacional em vigor, deve incluir a seguinte informação:

- Nome do laboratório que efectuou o ensaio;
- Data do teste;
- Descrição da amostra e a sua área, o tipo de montagem e a sua posição na câmara, de preferência através de desenhos esquemáticos;
- A forma da câmara reverberante, o seu tratamento de difusão (número e tamanho dos difusores), o número de microfones/fontes sonoras e as suas posições;
- As dimensões da câmara reverberante, o seu volume V , e a área total das suas superfícies (paredes, laje e tecto), S_t ;
- A temperatura e a humidade relativa durante as medições da câmara reverberante, vazia e com as amostras;
- A média dos Tempos de reverberação T_1 e T_2 , para cada frequência;
- Os resultados do teste.

No que diz respeito ao último ponto atrás referido, devem ser apresentados sob a forma de tabela e gráfico os seguintes resultados:

- Para elementos absorventes planos e para um conjunto de objectos distribuídos regularmente, o coeficiente de absorção sonora, α_s (arredondado às centésimas);
- Para elementos absorventes discretos, a área de absorção sonora equivalente, A_{obj} (arredondado às décimas) [11].

6.1.2. METODOLOGIA UTILIZADA

Para a determinação do coeficiente de absorção sonora utilizou-se o Laboratório de Acústica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Constituído por três câmaras reverberantes (R1, E1 e E2) ligadas entre si, permitem realizar ensaios de isolamento a ruídos aéreos, de percussão e de absorção sonora de materiais, figura 6.2.

Neste estudo utilizou-se a câmara reverberante R1, com as amostras a ensaiar aplicadas no pavimento, figura 6.3, 6.4 e 6.5.



Figura 6.2 – Corte transversal esquemático das Câmaras Reverberantes [45].

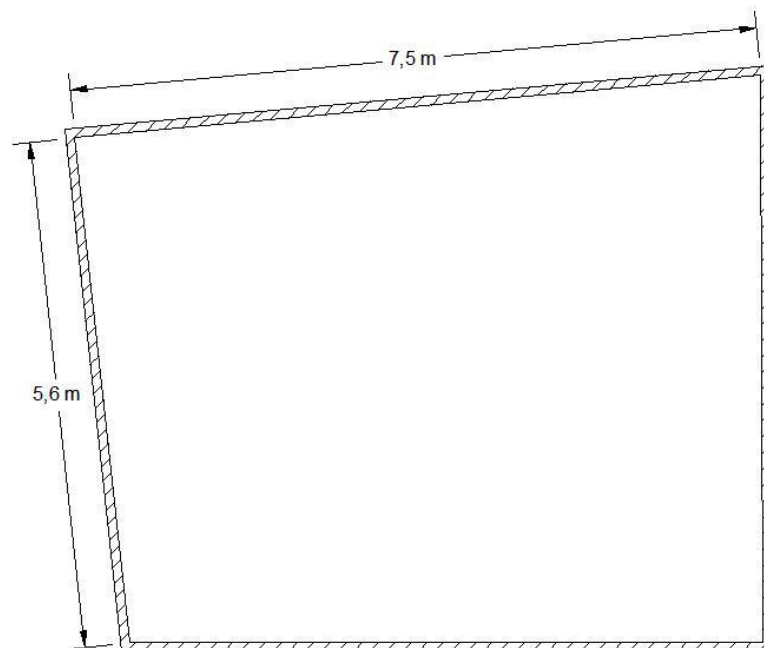


Figura 6.3 - Planta esquemática da Câmara Reverberante R1 do Laboratório de Acústica da FEUP.



Figuras 6.4 e 6.5 – Entrada e aspecto interior da câmara reverberante R1 da FEUP [46].

Utilizou-se o seguinte equipamento:

- Calibrador *Brüel & Kjaer* – Tipo 4226;
- Termo-Higrómetro *TESTO* 435-2;
- Sistema de aquisição de dados *Brüel & Kjaer PULSE* – Tipo 3560-D;
- Software de aquisição e tratamento de dados *Brüel & Kjaer PULSE v. X*;
- Amplificador *LABGRUPPEN LAB300*;
- Fonte sonora Omnidireccional *Brüel & Kjaer OmniSource™* – Tipo 4295;
- 4 Microfones *Brüel & Kjaer 1/2”* – Tipo 4190.

Para a realização do ensaio foram utilizadas quatro (seis, se câmara vazia) posições de microfone e quatro posições distintas de fonte sonora, sendo que para cada configuração foram realizadas três medições do tempo de reverberação. As figuras 6.6 e 6.7 representam esquematicamente as posições da fonte sonora e dos microfones.

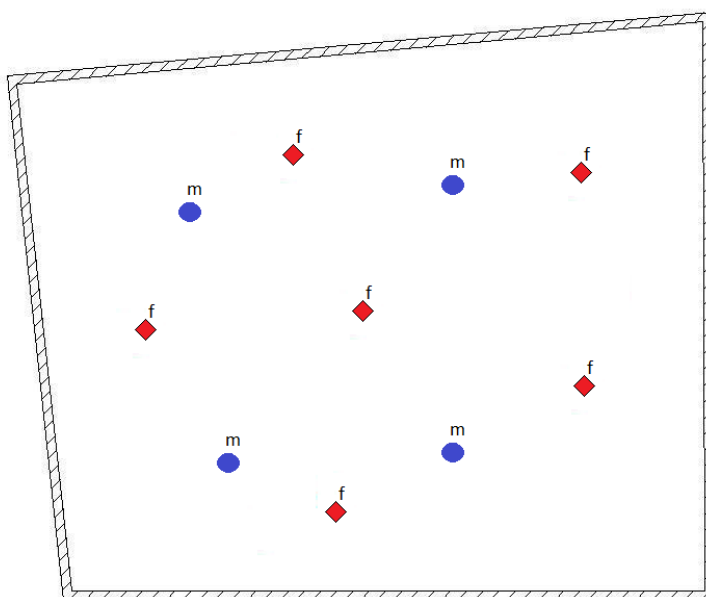


Figura 6.6 – Planta esquemática, sem escala, das posições relativas dos microfones e fonte sonora com a câmara vazia durante os ensaios.

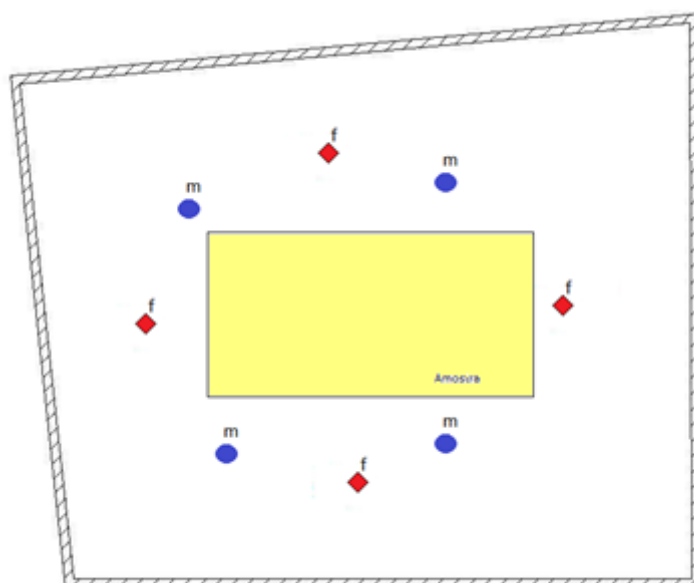


Figura 6.7 – Planta esquemática, sem escala, das posições relativas dos microfones e fonte sonora com câmara com a amostra durante os ensaios.

As plantas esquemáticas representam as posições relativas quer da amostra quer dos microfones assim como das posições de fonte sonora. As posições utilizadas nos ensaios respeitam as directrizes e espaçamentos referidos na Norma. Assim tem-se que representados pela letra “m” e a cor azul, apresentam-se as posições dos quatro microfones utilizados e com a simbologia “f” a cor vermelha traduzem-se as posições da fonte sonora. Na figura 6.7 apresenta-se ainda a posição relativa das amostras, a amarelo, ensaiadas.

De forma a obter o decaimento do tempo de reverberação foi utilizado o equipamento *PULSE* da *BRÜEL & KJÆR* [47] que permite conjuntamente com o *Software LabShop Type 7700* automatizar o cálculo do tempo de reverberação. Esta ferramenta analisa os espectros recebidos por cada um dos microfones instalados e processa a informação de cada canal em cada uma das leituras e mostra as suas médias, calcula o tempo de reverberação médio para cada uma das posições de fonte sonora e por fim reúne todas as médias e demonstra-as num gráfico de tempos de reverberação para bandas de 1/3 de oitava. Este método permite ainda examinar cada uma das curvas de decaimento de forma a monitorizar e controlar qualquer resultado menos fidedigno. Assim para cada uma das leituras o aspecto ideal da curva de decaimento do tempo de reverberação em cada banda de frequência seria o apresentado na figura 6.8.

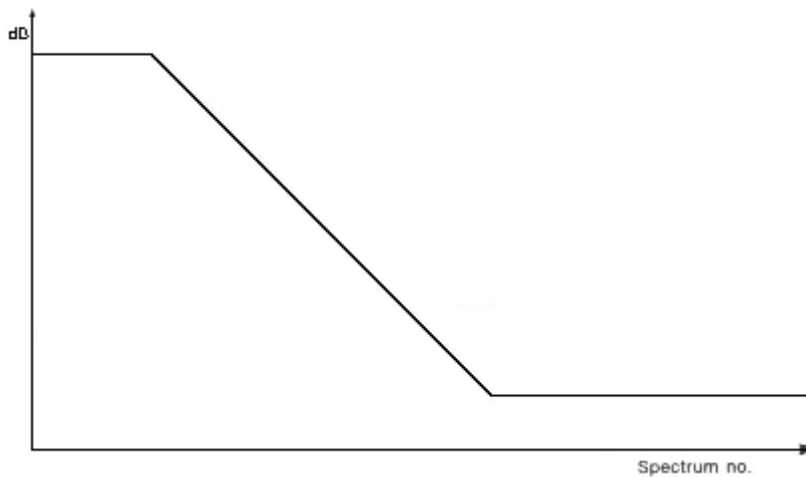


Figura 6.8 – Aspecto da curva de decaimento ideal no cálculo do tempo de reverberação em câmara reverberante.

A figura 6.8 apresenta no eixo das ordenadas o nível de pressão sonora recebido pelo microfone e no eixo das abcissas o intervalo de tempo decorrido para uma dada banda de frequência. Para obter uma curva semelhante à apresentada na figura 6.8 é essencial que a fonte sonora utilizada no método do ruído interrompido permita um constante e bem definido nível de pressão sonora inicial. O programa, automaticamente calcula o tempo de reverberação para curvas que apresentem uma curva semelhante a esta; no caso de não obter esta condição o programa não efectua o cálculo, sendo posteriormente possível, pelo operador, definir os limites com os quais pretende calcular o tempo de reverberação. Uma curva típica das altas frequências apresenta-se na figura 6.9 e pode-se comprovar a sua semelhança com a apresentada na figura 6.8.

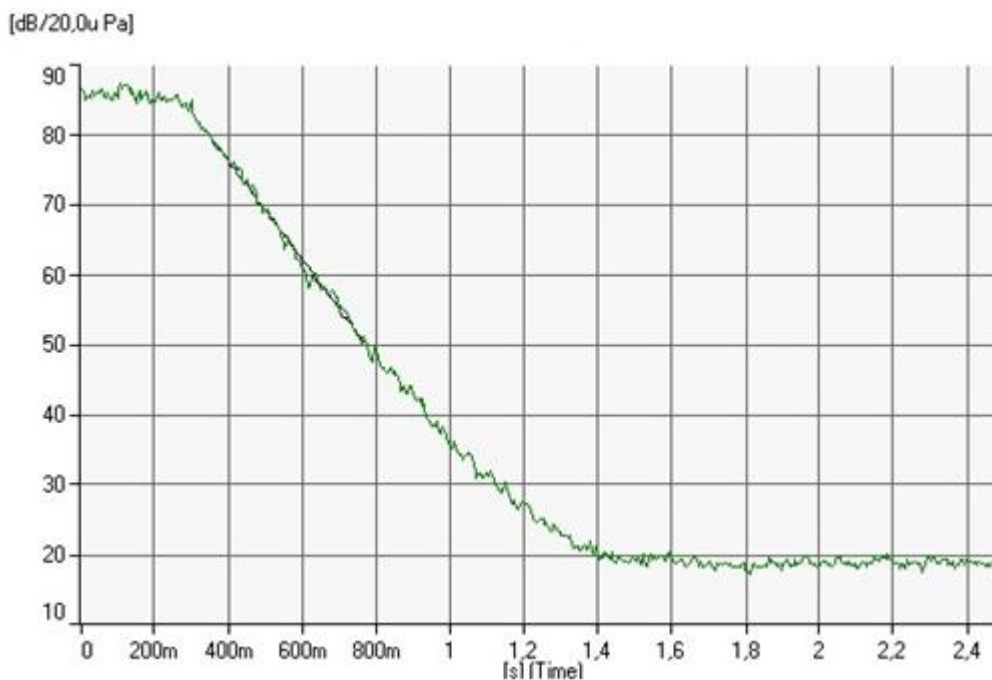


Figura 6.9 – Curva característica do decaimento do tempo de reverberação em câmara reverberante nas altas frequências.

Por fim o programa apresenta um gráfico de barras por cada banda de 1/3 oitava com a média resultante dos tempos de reverberação, semelhante ao apresentado na figura 6.10.

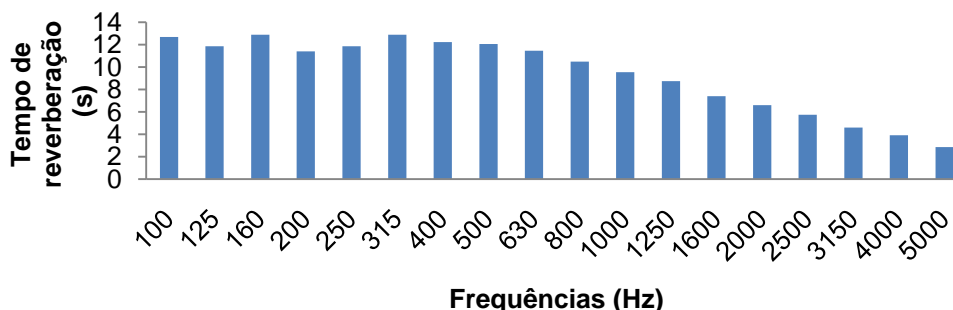


Figura 6.10 – Representação dos tempos de reverberação médios obtidos numa das amostras ensaiadas.

6.2. RESULTADOS

6.2.1. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

6.2.1.1. Apresentação dos resultados de todas as amostras ensaiadas

Conforme apresentado no capítulo 5, pretendeu-se ensaiar várias configurações fazendo variar o máximo de variáveis, procedendo-se a um total de 12 ensaios de absorção sonora cujos resultados se apresentam no quadro 6.4. e figura 6.11. Assim, variou-se o tipo de material sobre o qual foi aplicado o revestimento tintas, (tinta com incorporação de pó e ainda uma mistura de água e pó de cortiça esperando tempo suficiente para a evaporação da água de forma a determinar a absorção sonora do pó de cortiça). Foram testadas duas tintas de formulações distintas de forma a tentar compreender se o facto de ter mais veículo disponível prejudicava ou não a absorção sonora e ainda o número de aplicações, ou seja de demãos.

Realizaram-se, portanto, os seguintes 12 ensaios com estas denominações:

- Ch - Amostra de Chapa;
- Ch_1d_C - Amostra de Chapa com aplicação de tinta *Contrato*;
- Ch_1d_C_2 % - Amostra de Chapa com aplicação de tinta *Contrato* com 2 % de incorporação de pó de cortiça e uma demão;
- M - Amostra de Madeira;
- M_1d_V - Amostra de Madeira com aplicação de uma demão de tinta *Vinylsilk*;
- M_1d_V_3 % - Amostra de Madeira com aplicação de uma demão de tinta *Vinylsilk* com 3 % de pó de cortiça;
- M_2d_V_3 % - Amostra de Madeira com aplicação de duas demãos de tinta *Vinylsilk* com 3 % de pó de cortiça;
- M_1d_C_2 % - Amostra de Madeira com aplicação de uma demão de tinta *Contrato* com 2 % de pó de cortiça;
- M_1d_V_5 % - Amostra de Madeira com aplicação de uma “tinta/ massa” *Vinylsilk* com 5 % de pó de cortiça;
- M_1d_K - Amostra de Madeira com aplicação de uma demão da tinta *KAR*;
- M_2_K - Amostra de Madeira com aplicação de duas demãos da tinta *KAR*;
- M_PC - Amostra de Madeira com aplicação de pó de cortiça em emulsão.

Quadro 6.4 – Quadro síntese dos coeficientes de absorção sonora, α , por banda de frequência obtido em câmara reverberante.

Amostra	Código	Frequências (Hz)								
		100	125	160	200	250	315	400	500	630
Chapa	Ch	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04
Chapa pintada com tinta <i>Contrato</i>	Ch_1d_C	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,05
Chapa pintada com tinta <i>Contrato</i> com 2% de pó de cortiça	Ch_1d_C_2%	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,06
Madeira	M	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,07
Madeira pintada com uma demão de tinta <i>Vynilsilk</i>	M_1d_V	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,06
Madeira pintada com uma demão de tinta <i>Vynilsilk</i> com 3% de pó de cortiça	M_1d_V_3%	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,09
Madeira pintada com duas demãos de tinta <i>Vynilsilk</i> com 3% de pó de cortiça	M_2d_V_3%	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,06
Madeira pintada com uma demão de tinta <i>Contrato</i> com 2% de pó de cortiça	M_1d_C_2%	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,07
Madeira com aplicação de tinta <i>Vynilsilk</i> com 5% de pó de cortiça	M_1d_V_5%	0,04	0,02	0,01	0,02	0,00	0,03	0,01	0,03	0,06
Madeira pintada com uma demão da tinta <i>KAR</i>	M_1d_K	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02	0,03	0,05
Madeira pintada com duas demãos da tinta <i>KAR</i>	M_2d_K	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,06
Madeira com Pó de cortiça em emulsão	M_PC	0,01	0,01	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,05	0,09

Quadro 6.4 – Quadro síntese dos coeficientes de absorção sonora, α , por banda de frequência obtido em câmara reverberante (continuação).

Amostra	Código	Frequências (Hz)								
		800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Chapa	Ch	0,05	0,08	0,09	0,08	0,07	0,06	0,04	0,02	0,02
Chapa pintada com tinta <i>Contrato</i>	Ch_1d_C	0,05	0,08	0,08	0,08	0,06	0,05	0,05	0,03	0,03
Chapa pintada com tinta <i>Contrato</i> com 2% de pó de cortiça	Ch_1d_C_2%	0,06	0,07	0,08	0,08	0,06	0,05	0,05	0,04	0,05
Madeira	M	0,11	0,17	0,16	0,13	0,09	0,07	0,05	0,05	0,03
Madeira pintada com uma demão de tinta <i>Vynilsilk</i>	M_1d_V	0,09	0,16	0,17	0,13	0,09	0,07	0,04	0,03	0,03
Madeira pintada com uma demão de tinta <i>Vynilsilk</i> com 3% de pó de cortiça	M_1d_V_3%	0,14	0,16	0,15	0,11	0,07	0,06	0,04	0,03	0,02
Madeira pintada com duas demãos de tinta <i>Vynilsilk</i> com 3% de pó de cortiça	M_2d_V_3%	0,12	0,17	0,17	0,14	0,12	0,10	0,09	0,08	0,10
Madeira pintada com uma demão de tinta <i>Contrato</i> com 2% de pó de cortiça	M_1d_C_2%	0,11	0,18	0,19	0,13	0,08	0,06	0,04	0,04	0,03
Madeira com aplicação de tinta <i>Vynylsilk</i> com 5% de pó de cortiça	M_1d_V_5%	0,11	0,16	0,18	0,14	0,12	0,09	0,08	0,06	0,09
Madeira pintada com uma demão da tinta <i>KAR</i>	M_1d_K	0,10	0,18	0,17	0,13	0,09	0,07	0,06	0,05	0,04
Madeira pintada com duas demãos da tinta <i>KAR</i>	M_2d_K	0,11	0,18	0,18	0,13	0,09	0,07	0,04	0,03	0,03
Madeira com Pó de cortiça em emulsão	M_PC	0,10	0,11	0,12	0,11	0,09	0,09	0,09	0,09	0,11

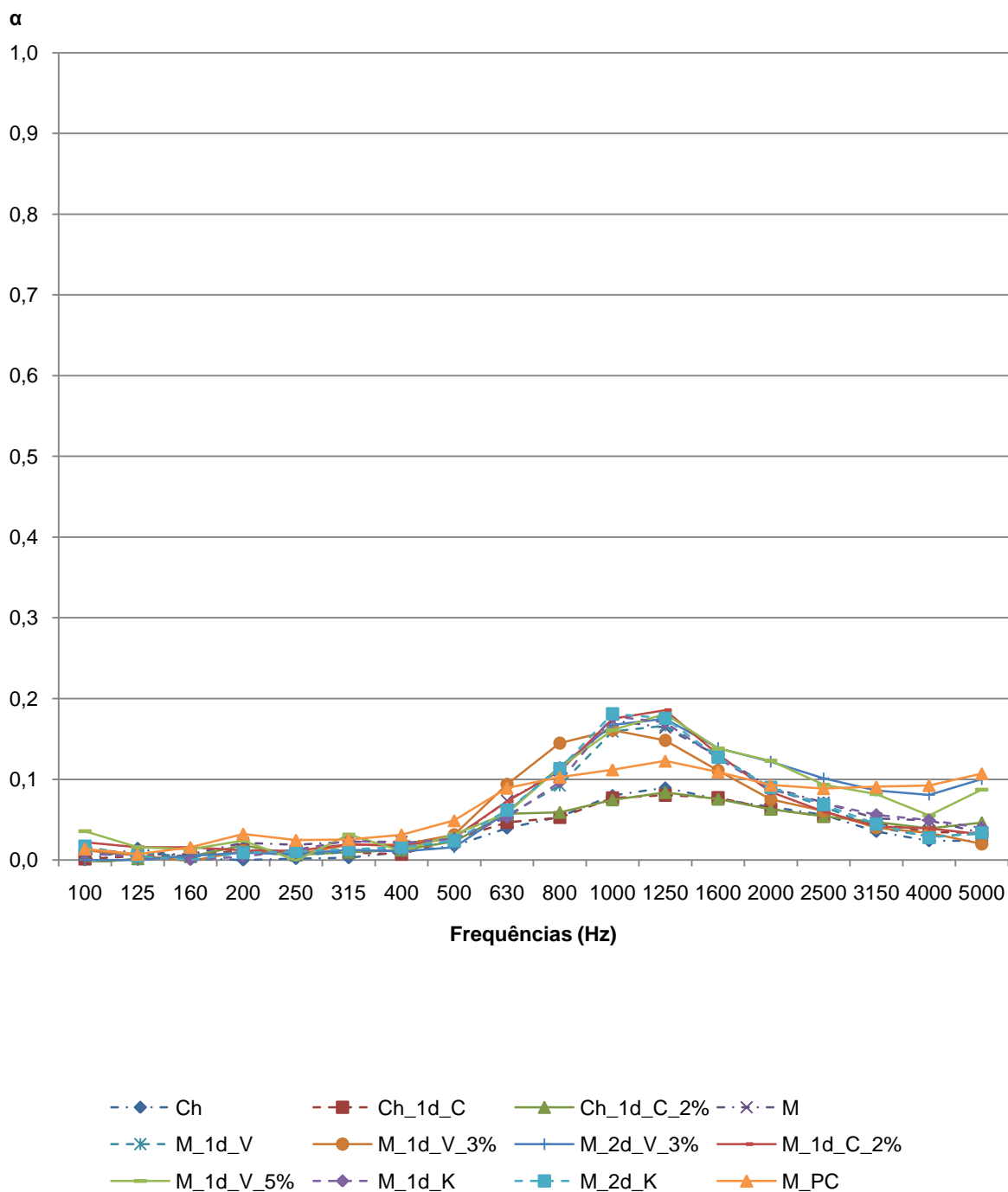


Figura 6.11 – Coeficientes de absorção sonora, α , de cada amostra ensaiada em câmara reverberante.

Como pode ser observado na figura 6.11, todos os resultados se apresentam próximos e com um coeficiente de absorção sonora bastante diminuto. Por esta razão passar-se-á a apresentar os gráficos de coeficientes de absorção sonora numa escala de 0 a 0,20 para uma melhor visualização e percepção das diferenças.

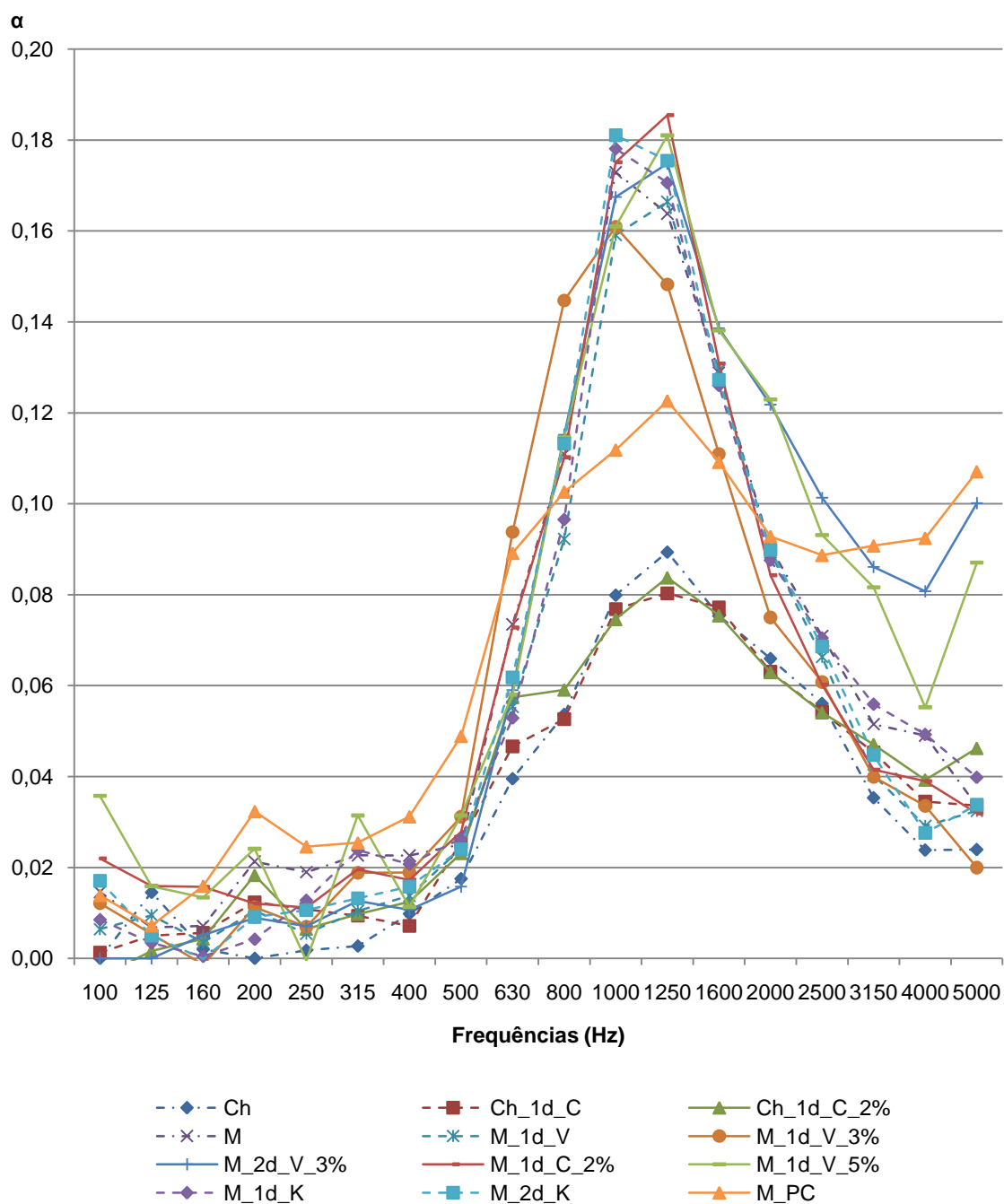


Figura 6.12 – Coeficiente de absorção sonora, α , de cada amostra ensaiada em câmara reverberante numa escala de 0 a 0,20.

Ao observar a figura 6.12 percebe-se que para as baixas frequências, até cerca dos 630 Hz, nenhuma das amostras apresenta valores de coeficiente de absorção sonora consideráveis, pois valores de 0,02 podem ser induzidos pela incerteza do método. Assim pode-se afirmar que nas baixas frequências não existe absorção.

Pode também ser observado na figura 6.12 que as amostras realizadas sobre as placas de Platex Crú, ou seja, as amostras denominadas de Madeira apresentam um “pico” no coeficiente de absorção sonora na frequência de 1000 Hz. Apesar destes resultados apresentarem uma curva característica dos sistemas ressoadores, como não apresentam nenhuma taxa de furação, o resultado pode ser explicado devido ao fenómeno de membrana que estará na origem deste “pico”. Pois, ao deslocar as placas de forma a introduzi-las na câmara reverberante, depois da aplicação do revestimento em estudo e o seu tempo de secagem, cerca de 3 dias, devido ao seu formato (2,75 m por 1,25 m), provoca uma pequena deformação/encurvadura que mesmo após a colocação no pavimento, deixa uma espécie de “caixa – de - ar” residual de cerca de 1 mm. Assim, e fazendo uso da expressão apresentada no capítulo 2 (2.17) pode-se verificar que é para esta frequência que apresenta frequência de ressonância.

$$f = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{\rho}{m \times d}} \approx \frac{60}{\sqrt{m \times d}} \quad (2.17)$$

Em que:

m – massa superficial do painel, em kg/m^2 :

com uma densidade de 1000 kg/m^3 e uma espessura de 3,2 mm obtém-se uma massa superficial de painel de $3,2 \text{ kg/m}^2$.

d – espessura da caixa de ar, em m.: aplicando uma espessura residual de 1 mm;

$$f \approx \frac{60}{\sqrt{m \times d}} = \frac{60}{\sqrt{3,2 \times 0,001}} \approx 1060 \text{ Hz}$$

Por este motivo, para efectuar a análise e comparação das várias amostras só se apresentarão os valores acima dos 1000 Hz, e só se consideram relevantes as diferenças nas altas frequências ou seja a partir dos 2000 Hz, embora as diferenças de alfas ($\Delta\alpha$) também sejam importantes.

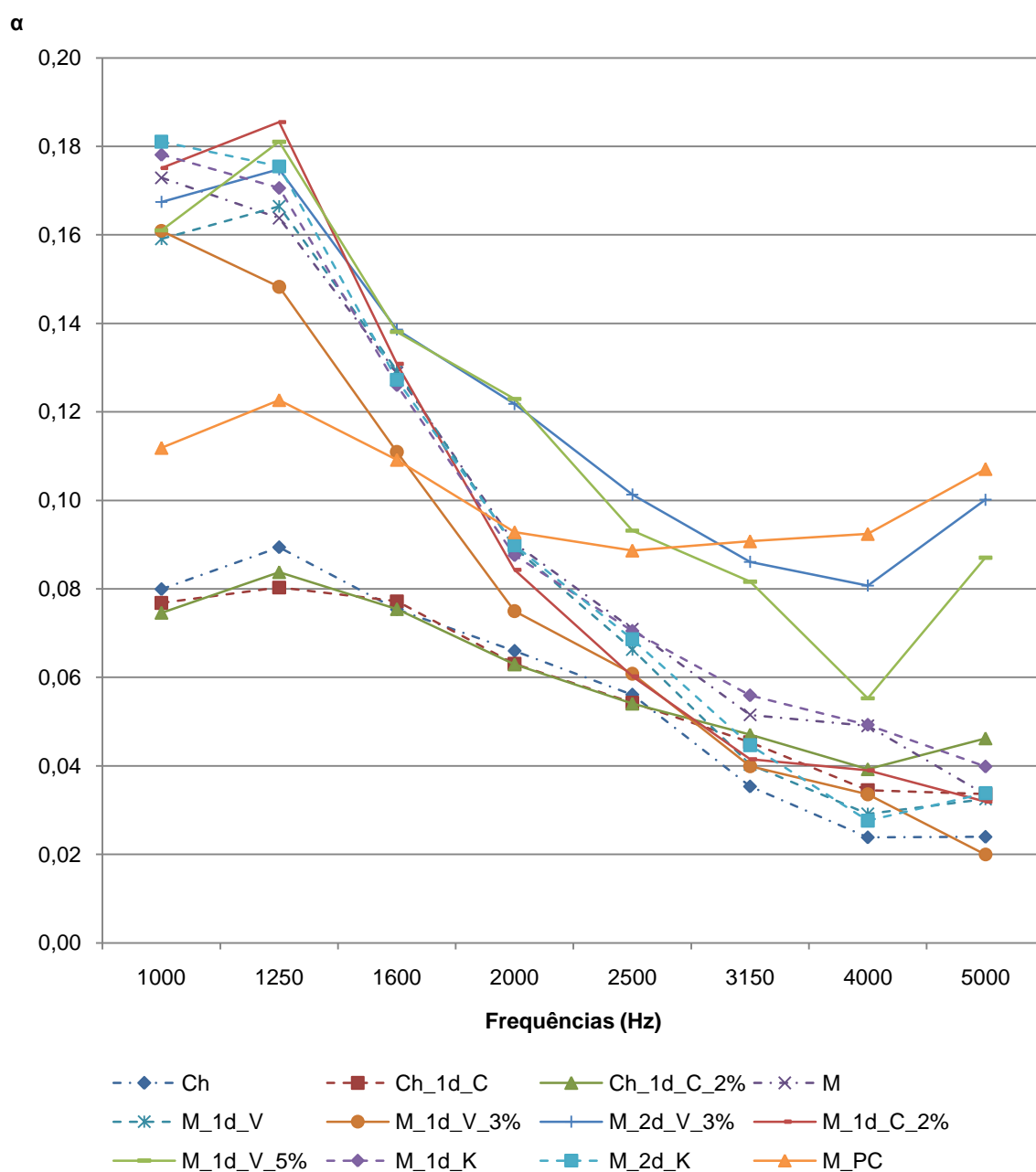


Figura 6.12 - Coeficientes de absorção sonora, α , a partir da frequência 1000 Hz de cada amostra ensaiada em câmara reverberante.

6.2.1.2. Resultados obtidos nos materiais base utilizados como subcamada

De forma a tornar possível a avaliação do coeficiente de absorção sonora da tinta desenvolvida neste estudo, tornou-se necessário usar subcamadas que funcionassem como suporte base das tintas. Assim, é fulcral ter conhecimento do comportamento destes materiais utilizados como subcamada para, posteriormente, ser possível determinar a contribuição efectiva do revestimento (as várias hipóteses de tintas em análise).

Assim, apresenta-se no quadro 6.5 o quadro resumo com os valores do coeficiente de absorção sonora, α , da amostra de chapa e de madeira.

Quadro 6.5 - Quadro resumo com os valores do coeficiente de absorção sonora, α , da amostra de chapa e de madeira por frequência.

	Chapa	Madeira
100	0,00	0,01
125	0,01	0,01
160	0,00	0,01
200	0,00	0,02
250	0,00	0,02
315	0,00	0,02
400	0,01	0,02
500	0,02	0,03
630	0,04	0,07
800	0,05	0,11
1000	0,08	0,17
1250	0,09	0,16
1600	0,08	0,13
2000	0,07	0,09
2500	0,06	0,07
3150	0,04	0,05
4000	0,02	0,05
5000	0,02	0,03

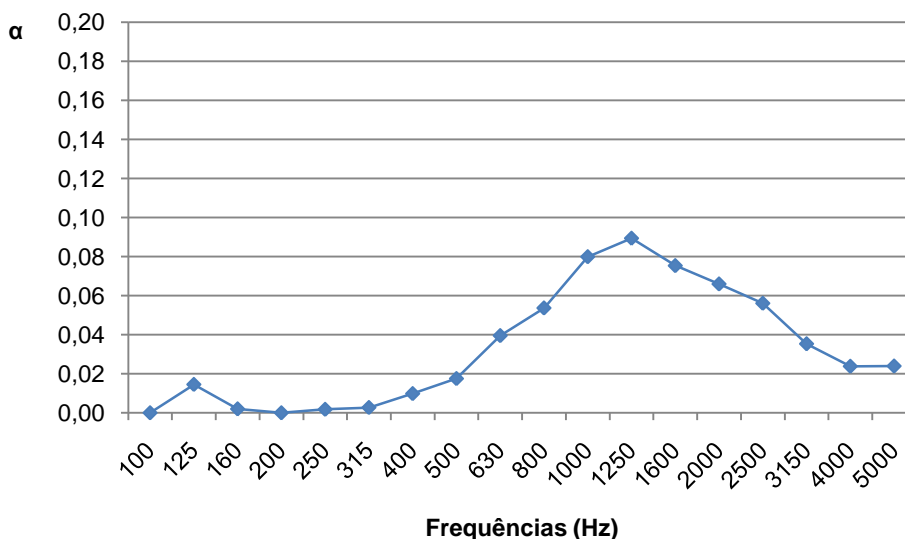


Figura 6.13 - Coeficiente de absorção sonora, α , por banda de frequência, obtido em câmara reverberante, da amostra de chapa.

Inclui-se também o gráfico correspondente ao quadro 6.5, amostra de chapa, apresentado na figura 6.14, o que permite uma melhor visualização dos resultados. É possível verificar que o comportamento das Chapas Zincor não é o de um material absorvente possuindo valores do coeficiente de absorção bastante diminutos.

Na figura 6.15 mostra-se o gráfico apresentando o coeficiente de absorção sonora, α , da amostra de madeira, onde é bem representativo o “pico” de absorção centrado na frequência de 1000 Hz já analisado. Esta subcamada exhibe contudo valores de coeficiente de absorção um pouco mais elevados que a amostra de chapa, e que adiante será mais profundamente analisado a influência de uma ou outra camada no resultado final.

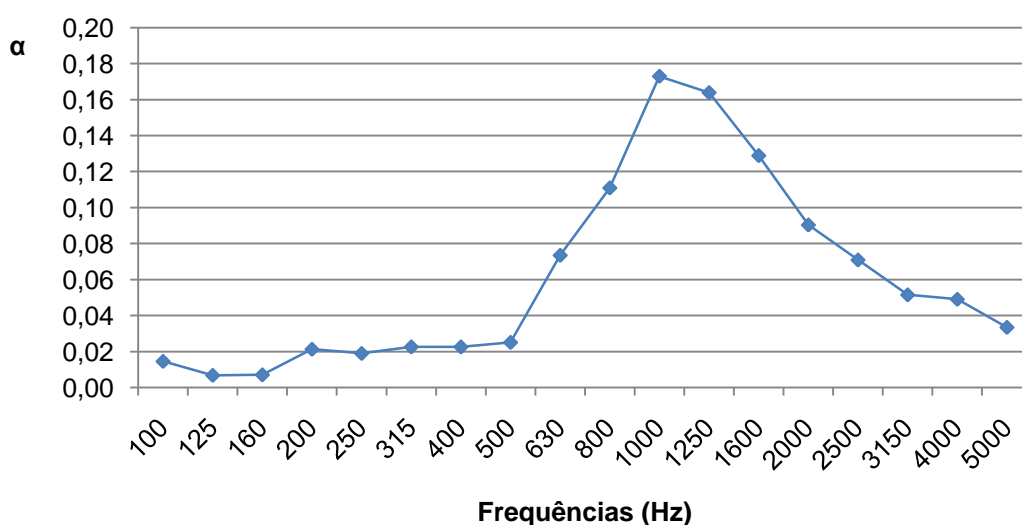


Figura 6.14 - Coeficiente de absorção sonora, α , por banda de frequência, obtido em câmara reverberante, da amostra de madeira.

6.2.2. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

6.2.2.1. Introdução

Pretende-se nesta secção tecer algumas considerações e comparações em relação aos resultados obtidos tendo em reflexão a influência do material utilizado como subcamada, do tipo de tinta empregue, do número de demãos aplicadas e da percentagem de incorporação de pó.

6.2.2.2. Influência do material utilizado como subcamada

Utilizando como referência a aplicação de tinta com 2% de pó de cortiça efectuada com a base de *Contrato*, que foi aplicada quer na amostra de madeira quer na amostra de chapa e pretende-se analisar a influência do material utilizado como subcamada. Assim apresentam-se as seguintes figuras 6.16 e 6.17. Na figura 6.16 apresentam-se apenas os valores de coeficiente de absorção sonora por frequência obtidos em câmara reverberante. Quanto à figura 6.17, esta representa as diferenças de coeficiente de absorção sonora, ou seja expõe o incremento de absorção sonora que a amostra com a aplicação da

tinta *Contrato* com 2% de pó de cortiça demonstrou em relação aos valores de coeficiente de absorção sonora das subcamadas.

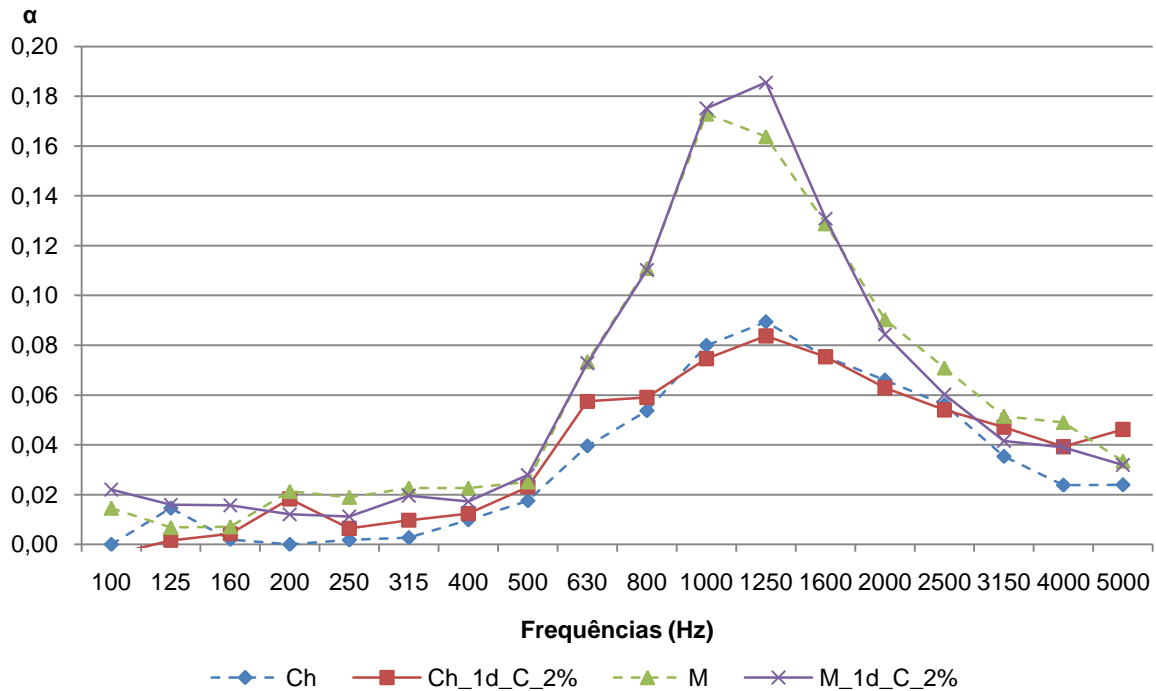


Figura 6.16 – Coeficientes de absorção sonora, α , para a amostra de chapa, amostra de chapa com aplicação de tinta *Contrato* com 2% de pó de cortiça, amostra de madeira e amostra de madeira com aplicação de tinta *Contrato* com 2% de pó de cortiça.

Pela observação da figura 6.17 verifica-se que os incrementos apresentados pelas diferenças de coeficientes de absorção sonora nos dois casos, se encontram inferiores ao valor de incerteza máxima do método e por essa razão não se pode admitir que a aplicação numa ou noutra subcamada seja mais vantajosa. Por outro lado, revela-se que os incrementos apresentados podem ser comparáveis quer sobre a amostra de madeira ou sobre a amostra de chapa pois não se verifica que exista grande influência do tipo de material utilizado como subcamada.

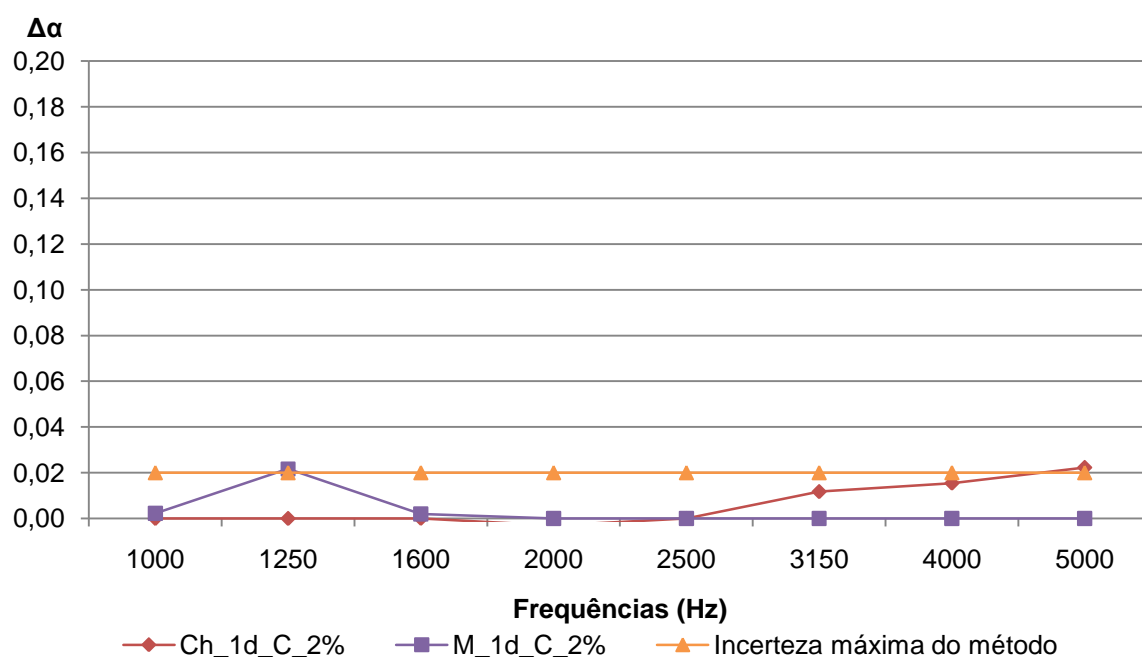


Figura 6.17 – Diferenças de coeficiente de absorção sonora, $\Delta\alpha$, entre a amostra de chapa com aplicação de tinta *Contrato* com 2% de incorporação de pó de cortiça e a amostra de chapa, assim como as diferenças de $\Delta\alpha$ entre a amostra de madeira com aplicação de tinta *Contrato* com 2% de incorporação de pó de cortiça e a amostra de madeira.

6.2.2.3. Influência do tipo de tinta

Expõe-se neste subcapítulo as diferenças dos coeficientes de absorção sonora devido à utilização de tintas diferentes. Preferencialmente era desejável que estas diferenças fossem apresentadas perante a mesma percentagem de incorporação de pó e no mesmo material, para que a única variável envolvida fosse a formulação da tinta utilizada. Contudo tal não foi possível de obter e assim de forma a caracterizar a influência do tipo de tinta utilizada para a incorporação do pó de cortiça apresenta-se nas figuras 6.18 e 6.19 os valores do coeficiente de absorção sonora obtidos em câmara reverberante na amostra de chapa, na amostra de chapa com aplicação de uma demão de tinta *Contrato*, na amostra de madeira e na amostra de madeira com aplicação de uma demão de tinta *Vinylsilk*. Novamente na figura 6.18 apresentam-se todos os valores de coeficiente de absorção sonora por banda de frequência obtidos, enquanto na figura 6.19 exhibe-se os incrementos do valor do coeficiente de absorção sonora em relação ao obtido apenas com a subcamada.

As figuras 6.20 e 6.21 apresentam os resultados obtidos das amostras de madeira e com aplicação de uma demão para o caso de tinta da *Contrato* com 2% de pó de cortiça assim como da amostra de madeira com aplicação de uma demão de tinta *Vinylsilk* com 3% de pó de cortiça.

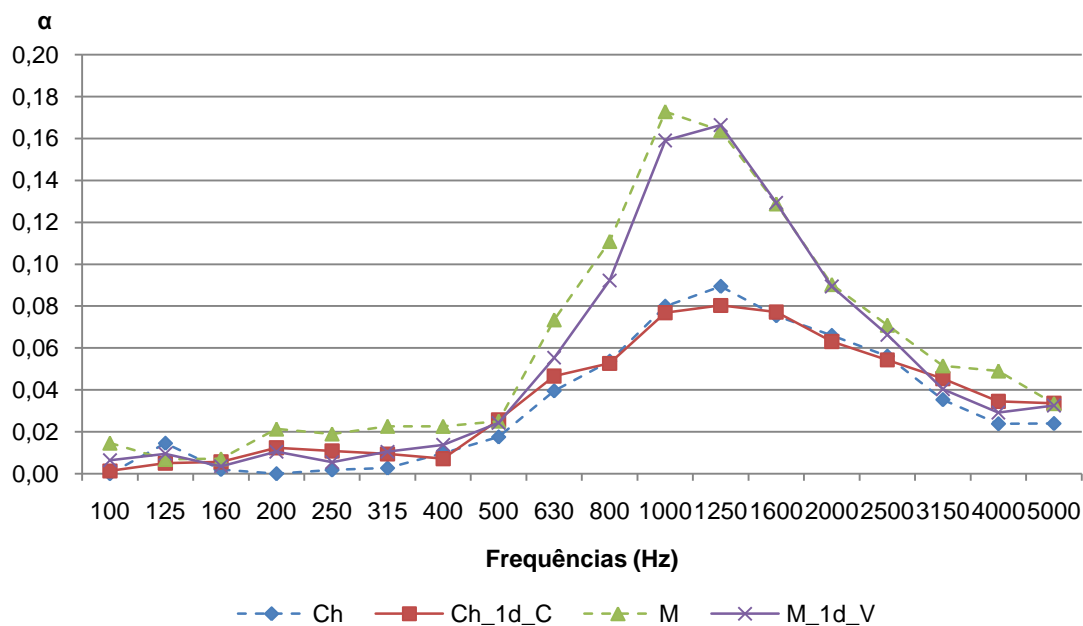


Figura 6.18 - Coeficientes de absorção sonora, α , para a amostra de chapa, amostra de chapa com aplicação de tinta *Contrato*, amostra de madeira e amostra de madeira com aplicação de tinta *Vinylsilk*.

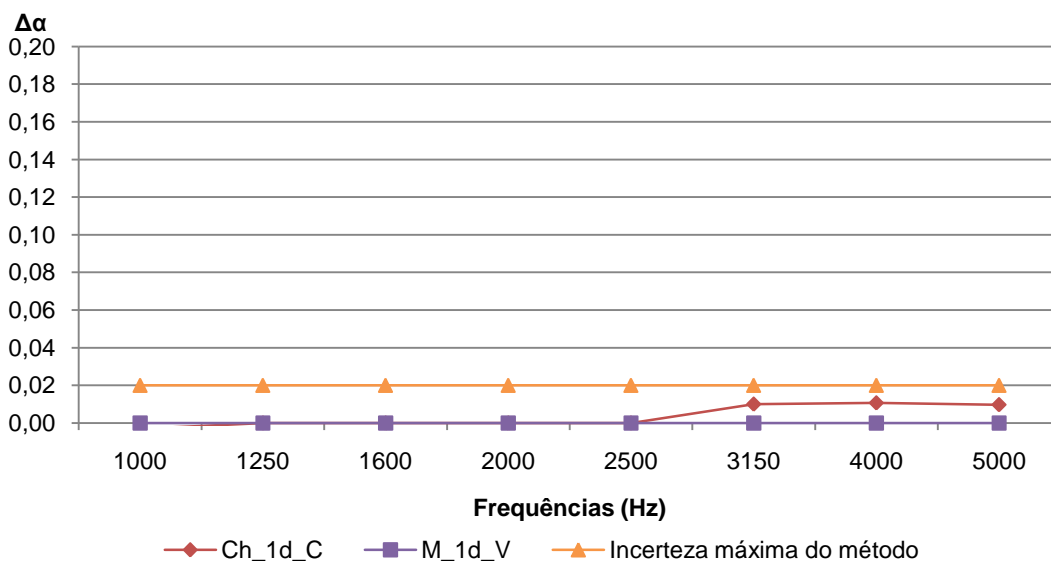


Figura 6.19 - Diferenças de coeficiente de absorção sonora, $\Delta\alpha$, entre a amostra de chapa com aplicação de tinta *Contrato* e a amostra de chapa, assim como as diferenças de $\Delta\alpha$ entre a amostra de madeira com aplicação de tinta *Vinylsilk* e a amostra de madeira.

Conforme se pode observar na figura 6.19, as diferenças apresentadas pelas duas tintas de formulação distinta não são relevantes, estando abaixo do valor de incerteza máxima do método. Contudo, apenas esta informação não seria suficiente para eliminar esta influência nos resultados pois não permite concluir sobre as reacções químicas que se poderão originar devido à incorporação por pós-adição do pó de cortiça.

Por conseguinte apresentam-se as figuras 6.20 e 6.21, em que a reacção química já poderia influenciar os resultados. Esta comparação é contudo feita com percentagens de incorporação distintas (2 e 3%). No entanto, como se pode observar pela figura 6.21 as diferenças são praticamente nulas, logo pode-se concluir que o tipo de tinta utilizado não influencia os resultados do coeficiente de absorção sonora.

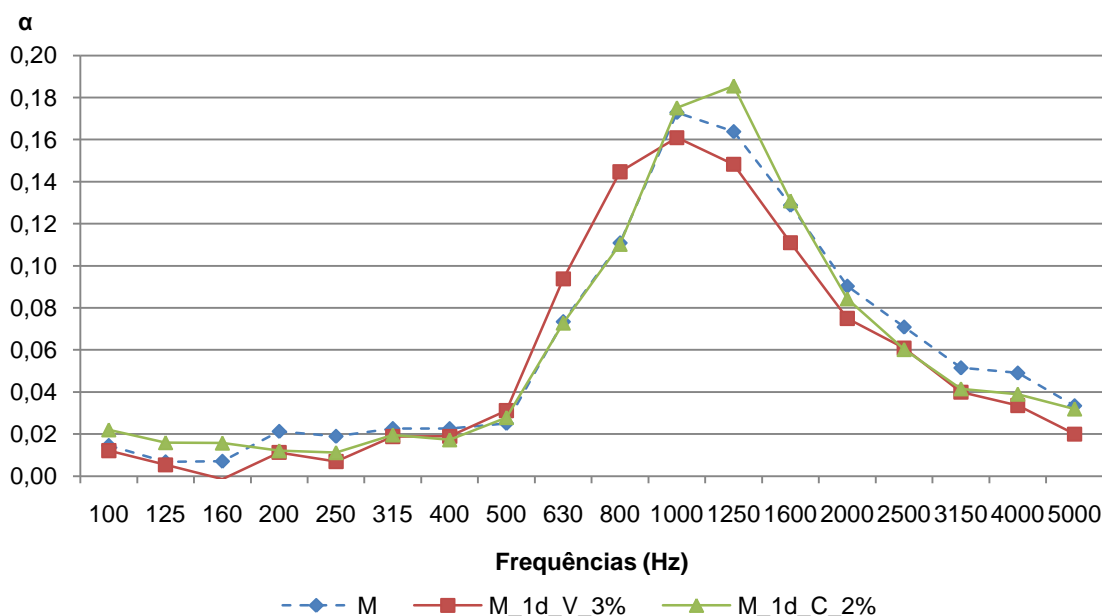


Figura 6.20 - Coeficientes de absorção sonora, α , para a amostra de madeira, amostra de madeira com aplicação de tinta *Contrato* com 2% de pó de cortiça e amostra de madeira com aplicação de tinta *Vinylsilk* com 3% de pó de cortiça.

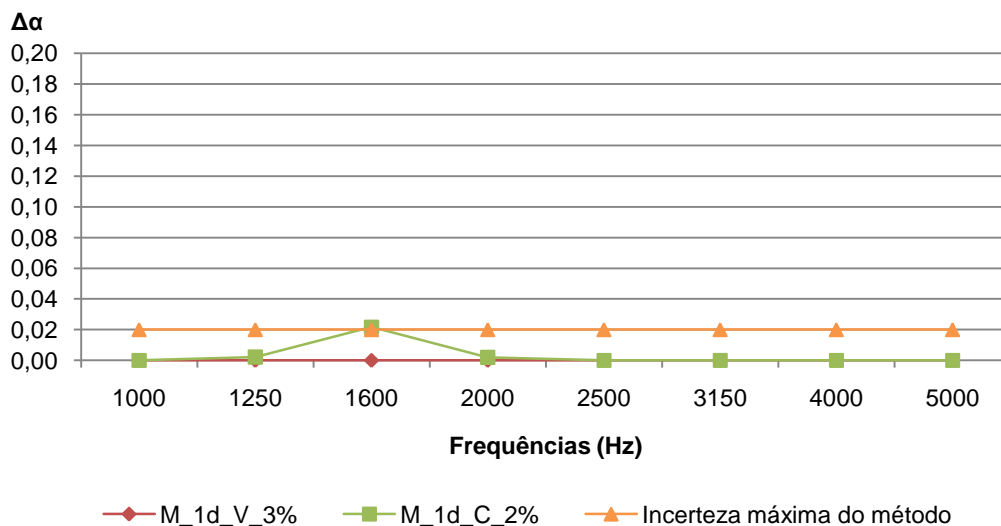


Figura 6.21 - Diferenças de coeficiente de absorção sonora, $\Delta\alpha$, entre a amostra de madeira com aplicação de tinta *Contrato* com 2% de incorporação de pó de cortiça e a amostra de madeira, assim como as diferenças de $\Delta\alpha$ entre a amostra de madeira com aplicação de tinta *Vinylsilk* com 3% de incorporação de pó de cortiça e a amostra de madeira.

6.2.2.4. Influência da percentagem de incorporação de pó

Neste ponto analisa-se a vantagem da incorporação do pó de cortiça tendo como base a tinta *Vinylsilk*. Desta forma procura-se compreender se o aumento da percentagem de incorporação de pó de cortiça se reflecte no aumento do coeficiente de absorção sonora.

Na figura 6.22 apresentam-se os valores do coeficiente de absorção sonora obtidos em câmara reverberante na amostra de madeira, na amostra de madeira com aplicação de uma demão de tinta *Vinylsilk*, na amostra de madeira com aplicação de uma demão de tinta *Vinylsilk* com 3% de incorporação de pó de cortiça, na amostra de madeira com aplicação de duas demãos de tinta *Vinylsilk* com 3% de incorporação de pó de cortiça e por fim na amostra de madeira com aplicação de uma “tinta/massa” *Vinylsilk* com 5% de incorporação de pó de cortiça. Quanto à figura 6.23, esta mostra as diferenças de coeficiente de absorção sonora, $\Delta\alpha$, entre a amostra de madeira com aplicação de uma demão de tinta *Vinylsilk*, a amostra de madeira com aplicação de uma demão de tinta *Vinylsilk* com 3% de incorporação de pó de cortiça, a amostra de madeira com aplicação de duas demãos de tinta *Vinylsilk* com 3% de incorporação de pó de cortiça, a amostra de madeira com aplicação de uma “tinta/massa” *Vinylsilk* com 5% de incorporação de pó de cortiça e a amostra de madeira. Já a figura 6.24 apresenta as diferenças de coeficiente de absorção sonora, $\Delta\alpha$, entre a amostra de madeira com aplicação de uma demão de tinta *Vinylsilk* com 3% de incorporação de pó de cortiça, a amostra de madeira com aplicação de duas demãos de tinta *Vinylsilk* com 3% de incorporação de pó de cortiça, a amostra de madeira com aplicação de uma “tinta/massa” *Vinylsilk* com 5% de incorporação de pó de cortiça e a amostra de madeira com aplicação de uma demão de tinta *Vinylsilk*.

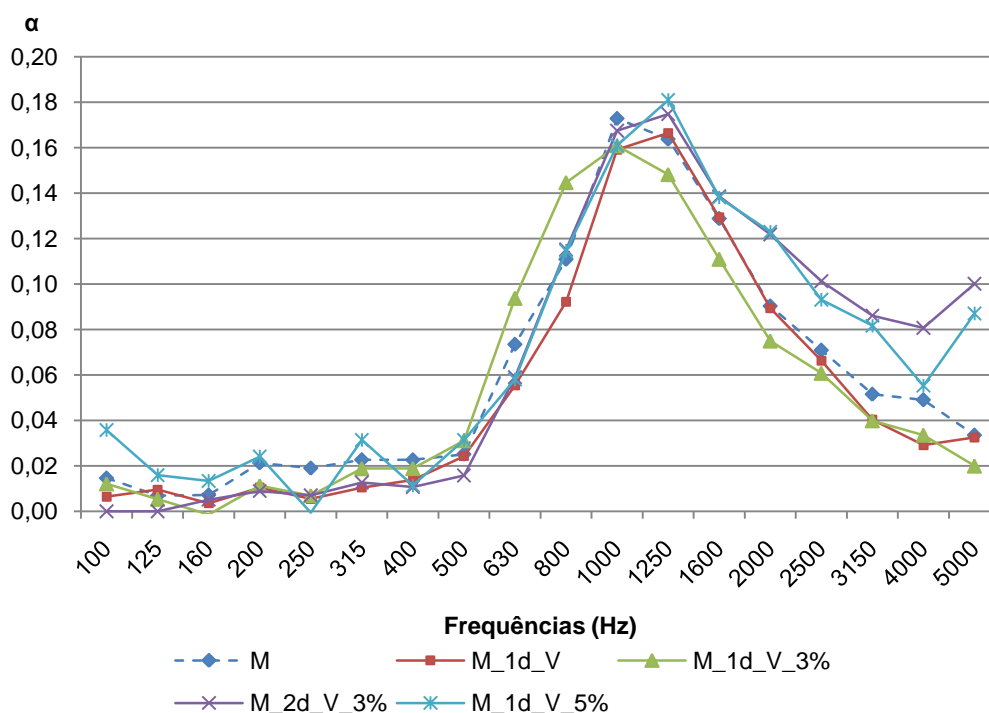


Figura 6.22 - Coeficientes de absorção sonora, α , para a amostra de madeira, amostra de madeira com aplicação de uma demão de tinta *Vinylsilk*, amostra de madeira com aplicação de uma demão de tinta *Vinylsilk* com 3% de incorporação de pó de cortiça, amostra de madeira com aplicação de duas demãos de tinta *Vinylsilk* com 3% de incorporação de pó de cortiça e amostra de madeira com aplicação de uma “tinta/massa” *Vinylsilk* com 5% de incorporação de pó de cortiça.

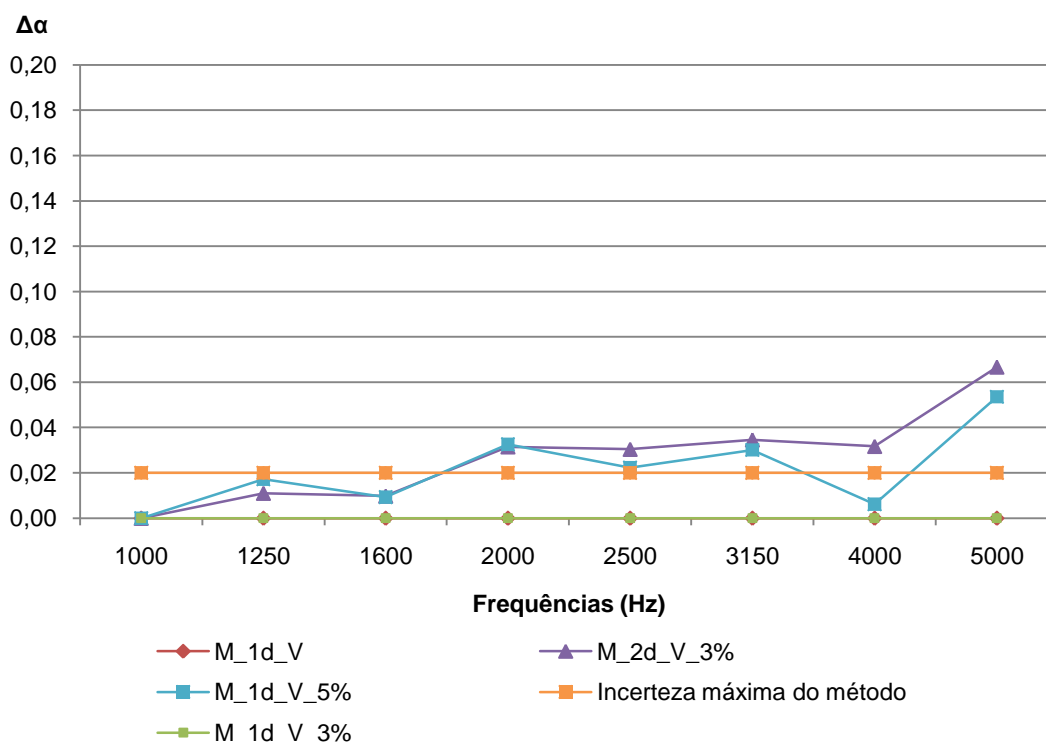


Figura 6.23 - Diferenças de coeficiente de absorção sonora $\Delta\alpha$, entre a amostra de madeira com aplicação de uma demão de tinta *Vinylsilk*, a amostra de madeira com aplicação de uma demão de tinta *Vinylsilk* com 3% de incorporação de pó de cortiça, a amostra de madeira com aplicação de duas demãos de tinta *Vinylsilk* com 3% de incorporação de pó de cortiça, a amostra de madeira com aplicação de uma “tinta/massa” *Vinylsilk* com 5% de incorporação de pó de cortiça e a amostra de madeira.

Ao observar a figura 6.23 verifica-se que neste ponto as diferenças conseguidas, a partir da frequência 2000 Hz, ultrapassam já a incerteza máxima do método permitindo concluir, que efectivamente a crescente incorporação de pó de cortiça produz um aumento no coeficiente de absorção sonora.

Apesar deste aumento não parecer suficiente para ser comercialmente atractivo mostra que é o pó de cortiça é o responsável pelas diferenças dos valores de coeficiente de absorção sonora.

Quanto à figura 6.24, esta pouco difere dos resultados obtidos na análise da figura 6.23, apenas acentua um pouco mais o aumento do coeficiente de absorção sonora nas altas frequências (acima de 2000 Hz) para as amostras de madeira com aplicação de duas demãos de tinta *Vinylsilk* com 3% de incorporação de pó de cortiça, a amostra de madeira com aplicação de uma “tinta/massa” *Vinylsilk* com 5% de incorporação de pó de cortiça.

Contudo, é importante ressaltar esta decomposição, ou seja, demonstrar separadamente o incremento do coeficiente de absorção sonora das amostras em relação à camada base (amostra de madeira) e o aumento do coeficiente de absorção sonora das amostras em relação à amostra de madeira com aplicação de uma demão de tinta *Vinylsilk*, pois na realidade o interesse em criar e desenvolver uma tinta que reunisse propriedades acústicas seria em que essa tinta se revelasse superior às demais

existentes no mercado, pois a escolha recairia sobre a aquisição de uma ou outra tinta e não sobre a hipótese de pintar com uma tinta “acústica” ou não pintar de todo.

Desta forma demonstra-se que existe uma pequena vantagem ao aplicar a tinta assim desenvolvida com a incorporação de pó de cortiça ao invés da utilização de uma tinta dita “normal”. Os valores de α aumentam, nas altas frequências cerca de 0,03 a 0,07, ou seja (de 10 a 200%), em relação aos valores de coeficiente de absorção sonora da amostra de madeira e de 0,03 a 0,07 correspondendo a um aumento de 5 a 244% em relação aos valores de coeficiente de absorção sonora da amostra de madeira com aplicação de uma demão de tinta *Vinylsilk*.

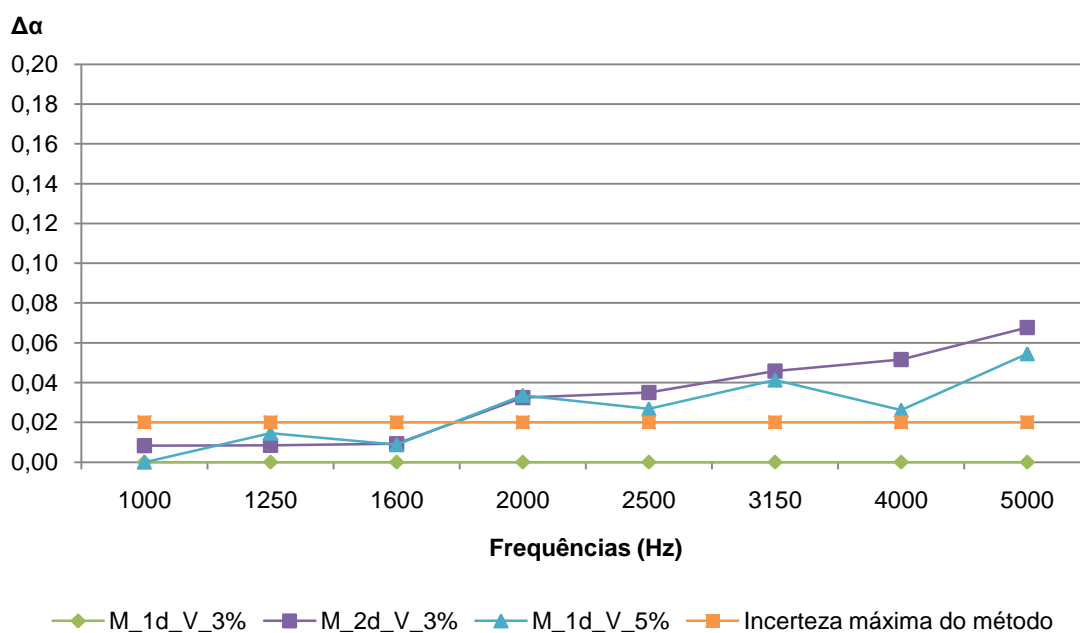


Figura 6.24 - Diferenças de coeficiente de absorção sonora, $\Delta \alpha$, entre a amostra de madeira com aplicação de uma demão de tinta *Vinylsilk* com 3% de incorporação de pó de cortiça, a amostra de madeira com aplicação de duas demãos de tinta *Vinylsilk* com 3% de incorporação de pó de cortiça, a amostra de madeira com aplicação de uma “tinta/massa” *Vinylsilk* com 5% de incorporação de pó de cortiça e a amostra de madeira com aplicação de uma demão de tinta *Vinylsilk*.

6.2.2.5. Influência do número de demãos

Quanto à análise da influência do número de demãos aplicadas utilizam-se os resultados obtidos com a amostra de madeira com aplicação de uma demão de tinta *Vinylsilk* com 3% de pó de cortiça e com a amostra de madeira com a aplicação de duas demãos de tinta *Vinylsilk* com 3% de pó de cortiça assim como com a amostra de madeira com aplicação de uma demão da tinta *KAR* e com a amostra de madeira com aplicação de duas demãos da tinta *KAR*, apresentando os valores obtidos em câmara reverberante por banda de frequência do coeficiente de absorção sonora α na figura 6.25.

Desta forma, neste ponto analisa-se, não só a influência do número de demãos como se justapõe os resultados conseguidos entre a tinta desenvolvida ao longo deste estudo e a tinta já comercializada.

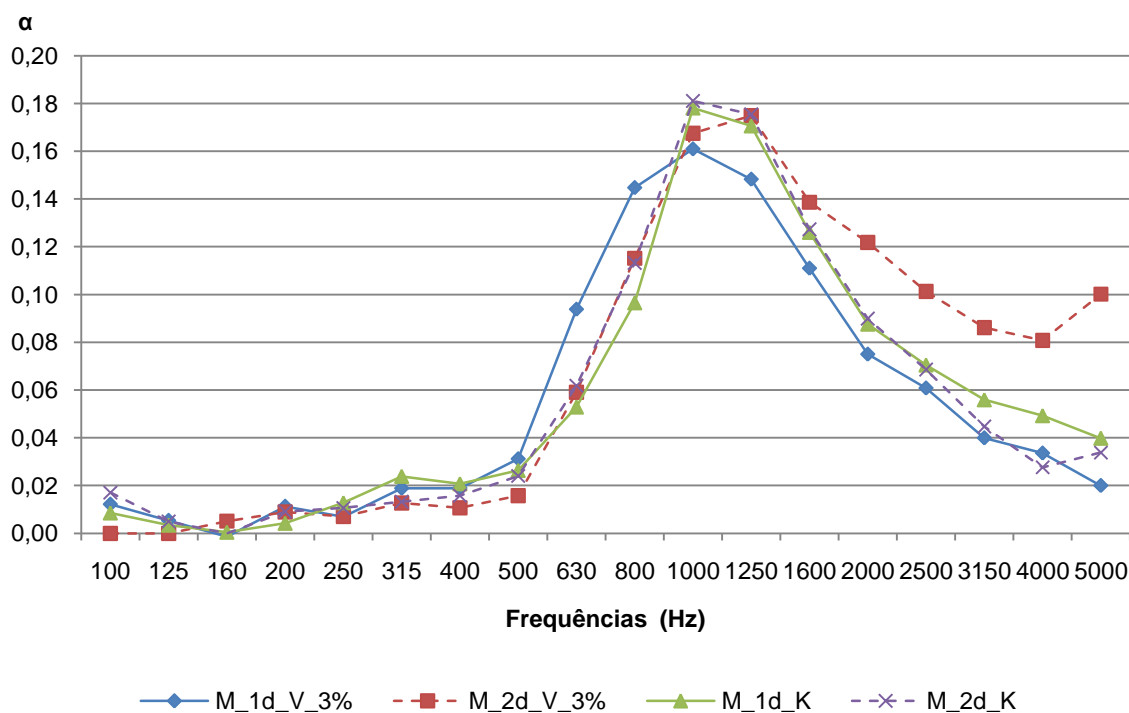


Figura 6.25 – Coeficientes de absorção sonora, α , para a amostra de madeira com aplicação de uma demão de tinta *Vinylsilk* com 3% de incorporação de pó de cortiça, amostra de madeira com aplicação de duas demãos de tinta *Vinylsilk* com 3% de incorporação de pó de cortiça, amostra de madeira com aplicação de uma demão de tinta *KAR* e amostra de madeira com aplicação de duas demãos de tinta *KAR*.

Como pode ser observado na figura 6.26, existe um aumento significativo entre o incremento de absorção sonora conseguido devido à aplicação de uma demão de tinta *Vinylsilk* com 3% de pó de cortiça e o atingido com duas demãos, o que representa a necessidade de nestes materiais aumentar a espessura de forma a aumentar a sua eficácia, tal como foi referido no capítulo 2 acerca dos materiais porosos e fibrosos, nomeadamente nas massas porosas de projecção.

O valor de coeficiente de absorção sonora, α , aumenta de 0,03 a 0,08 que representa um acréscimo de 18 a 400% ,ao ser dada a segunda demão em relação a ter apenas uma demão de tinta *Vinylsilk* com 3% de pó de cortiça.

Fica um pouco por esclarecer se este aumento se deve exclusivamente devido ao aumento de espessura, ou se terá como influência subjacente o facto de ao aplicar uma nova demão de tinta *Vinylsilk* com 3% de pó de cortiça, acrescer também o número de partículas de pó. Esta dúvida é ainda mais pertinente ao verificar-se que, segundo a figura 6.24, é mais preponderante o acréscimo, em relação à tinta *Vinylsilk* sobre a amostra de madeira, na aplicação de duas demãos de tinta *Vinylsilk* com 3% de pó de cortiça do que o acréscimo da “tinta/massa” *Vinylsilk* com 5% de pó de cortiça embora a espessura desta última seja superior à da aplicação de duas demãos de tinta *Vinylsilk* com 3% de pó de cortiça.

Quanto à análise da tinta *KAR*, não se verificou qualquer aumento expressivo quando se aplicou a segunda camada, tal como é sugerido pelo fabricante (referido no capítulo 5). Este resultado veio

desapontar as expectativas relativamente a este produto, uma vez que a sua utilização não consegue reflectir as propriedades referidas na ficha técnica [31]. Face aos resultados obtidos, quer com uma ou duas demãos de aplicação deste produto, pode-se talvez concluir que tudo não passará de uma estratégia de *marketing* sem demonstrável fundamento científico ou experimental. Deve-se no entanto referir que aquando dos ensaios, era esperado obter valores de coeficiente de absorção sonora superiores aos da tinta *Vinylsilk* com incorporação de cortiça, pois esta tinta “acústica” da *KAR* apresentava-se mais rugosa e espessa para o mesmo nível de quantidade de aplicação, que são propriedades que influenciam o valor do coeficiente de absorção sonora. Prova-se desta forma a vantagem da tinta desenvolvida neste estudo em relação à actualmente comercializada, pois a tinta com incorporação de pó de cortiça, apesar de não apresentar incrementos significativos de forma a tornar-se um material absorvente, efectivamente melhora o desempenho acústico em relação a uma tinta normal.

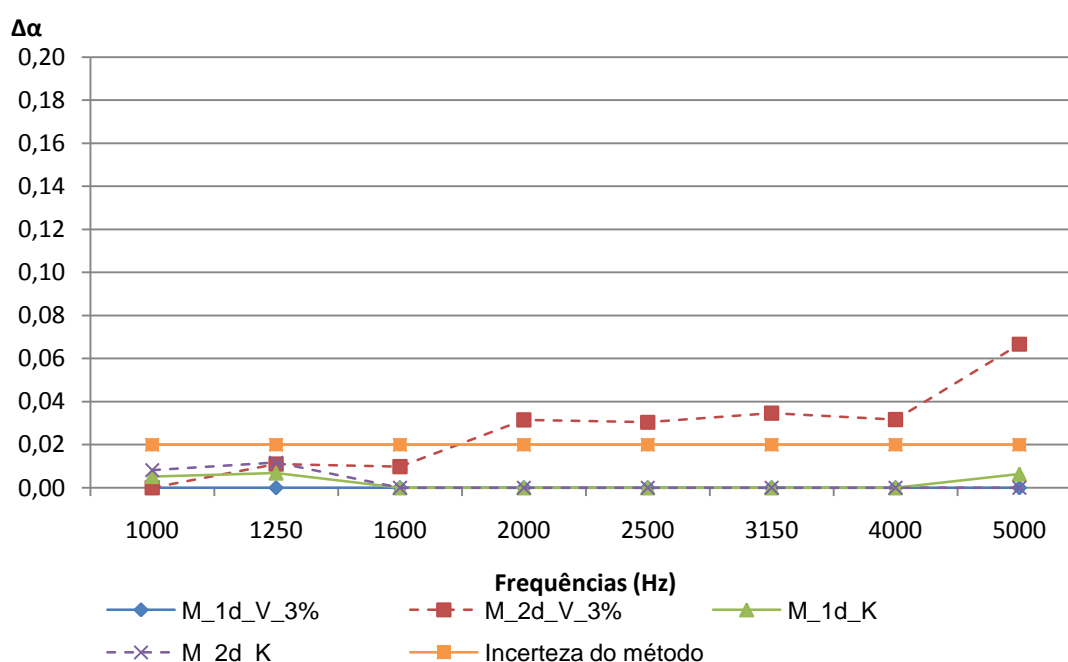


Figura 6.26 - Diferenças de coeficiente de absorção sonora, $\Delta\alpha$, entre a amostra de madeira com aplicação de uma demão de tinta *Vinylsilk* com 3% de incorporação de pó de cortiça, amostra de madeira com aplicação de duas demãos de tinta *Vinylsilk* com 3% de incorporação de pó de cortiça, amostra de madeira com aplicação de uma demão de tinta *KAR*, amostra de madeira com aplicação de duas demãos de tinta *KAR* e a amostra de madeira.

6.2.2.6. Absorção sonora do pó de cortiça

De forma a investigar todas as características que influenciariam o resultado do desempenho acústico desta nova “tinta” procedeu-se à caracterização do coeficiente de absorção sonora do pó de cortiça sobre uma subcamada de madeira.

Na figura 6.27 apresentam-se os resultados obtidos no ensaio em câmara reverberante do coeficiente de absorção sonora da amostra de madeira e na amostra de madeira com o pó de cortiça em emulsão.

Atribui-se esta designação de emulsão de pó de cortiça por se tratar de uma mistura de pó de cortiça com água. A quantidade de pó de cortiça a ser analisada na câmara reverberante desta mistura é de aproximadamente 90 a 100% pois esperou-se até que a água contida nesta mistura se evaporasse e só depois se realizou o ensaio.

Conforme se pode observar nesta figura, 6.27, a amostra de madeira com pó de cortiça em emulsão não apresenta o “pico” de absorção para a frequência de 1000 Hz, como acontece nas outras amostras com a subcamada de madeira, e que foi já explicado que se deverá ao efeito de ressoador/membrana. Neste caso, devido à forma como se procedeu para aplicar a emulsão de pó de cortiça, a “caixa-de-ar” residual que se manifestava nas restantes amostras não se proporcionou neste ensaio. Esta razão poderá ser explicada devido ao facto de a aplicação do pó de cortiça em emulsão ter sido aplicado sobre a amostra (subcamada) de madeira já dentro da câmara reverberante e ao aplicar-se a mistura de pó de cortiça com água se exercer pressão sobre a subcamada eliminando qualquer deformação residual que esta contivesse.

Assim, este resultado do coeficiente de absorção sonora do pó de cortiça apresenta um patamar nas altas frequências e assume claramente a responsabilidade do efeito do acréscimo de absorção nas frequências acima de 2000 Hz.

De qualquer forma, o resultado obtido neste ensaio foi decepcionante, uma vez que demonstra que o pó de cortiça não apresenta as potencialidades necessárias para se transformar num material absorvente sonoro, pois o valor de α é bastante diminuto.

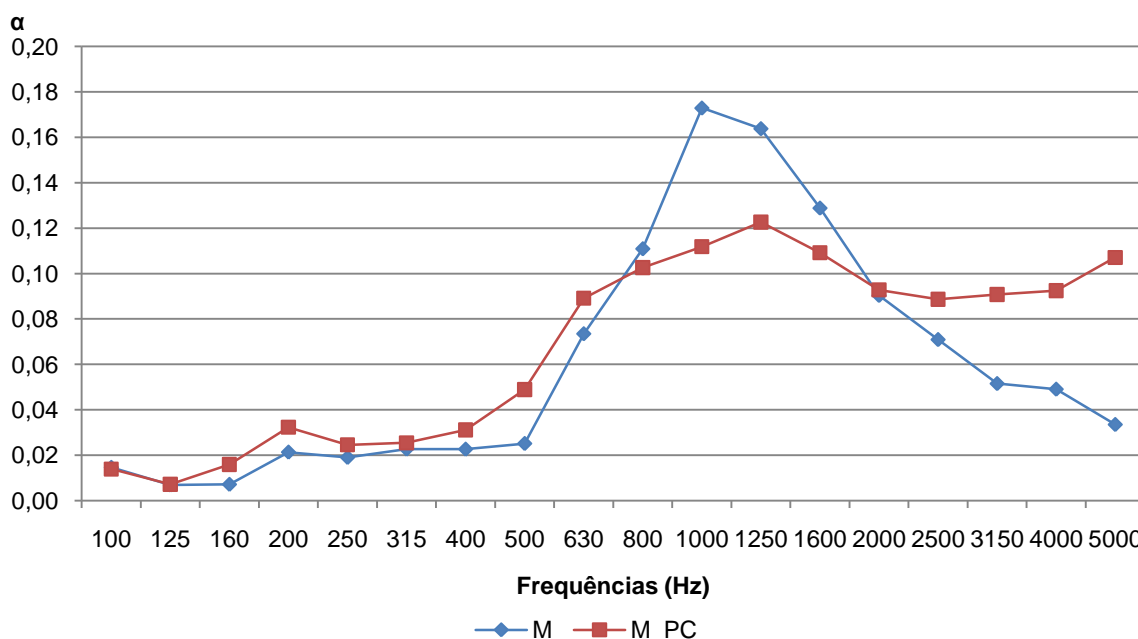


Figura 6.27 - Coeficientes de absorção sonora, α , para a amostra de madeira e amostra de madeira com pó de cortiça em emulsão.

Apresentam-se no quadro 6.6 os valores do coeficiente de absorção sonora por banda de 1/1 oitava para o aglomerado de cortiça com cerca de 3 mm de espessura, da amostra de madeira com pó de cortiça e o incremento dos coeficientes de absorção sonora, $\Delta\alpha$, da amostra de madeira com pó de

cortiça em relação à amostra de madeira de forma a proceder-se a uma comparação dos resultados do pó de cortiça com o aglomerado de cortiça. A espessura escolhida para o aglomerado prendeu-se por esta ser a mais aproximada com a espessura atingida na aplicação do pó de cortiça em emulsão (depois de seco) sobre a amostra de madeira.

Apresentam-se ainda na figura 6.28 os gráficos correspondentes aos valores dos coeficientes de absorção sonora apresentados no quadro 6.6 de forma a obter uma melhor visualização.

Quadro 6.6 – Coeficientes de absorção sonora, α , por banda de 1/1 oitava para o aglomerado de cortiça com 3mm de espessura [3], da amostra de madeira com pó de cortiça e o incremento da amostra de madeira com pó de cortiça em relação à amostra de madeira.

		Frequências (Hz)					
		125	250	500	1000	2000	4000
Aglomerado composto de cortiça com 3 mm de espessura	α	0,02	0,02	0,02	0,04	0,30	0,20
Amostra de madeira com pó de cortiça	α	0,01	0,03	0,06	0,11	0,10	0,10
Pó de cortiça (diferença de alfas em relação à subcamada de madeira)	$\Delta\alpha$	0,00	0,01	0,02	0,00	0,01	0,05

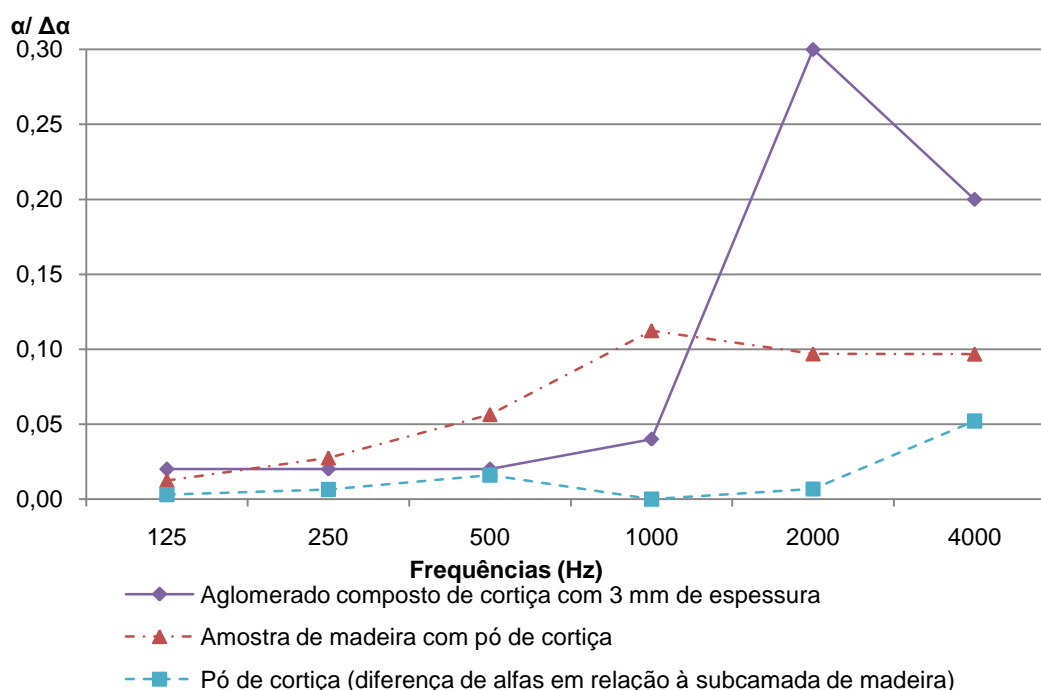


Figura 6.28 - Coeficientes de absorção sonora, α , por banda de 1/1 oitava para o aglomerado de cortiça com 3 mm de espessura, da amostra de madeira com pó de cortiça e o incremento da amostra de madeira com pó de cortiça em relação à amostra de madeira.

Ao analisar a figura 6.28 verifica-se que os valores do coeficiente de absorção sonora do aglomerado composto de cortiça (3 mm) são bastante superiores aos atingidos pelo pó de cortiça, e mesmo este aglomerado composto de cortiça não é um material utilizado como absorvente mas sim o aglomerado negro de cortiça. Desta forma pode-se depreender que o sistema de absorção sonora desenvolvido pela cortiça está essencialmente nos espaços vazios deixados pela agregação de partículas e não tanto na estrutura molecular da cortiça. Por esse motivo o pó de cortiça, de dimensões consideravelmente inferiores, preenche melhor os espaços vazios não permitindo a existência de ar que funcione como uma “mola” e dessa forma absorvesse o som.

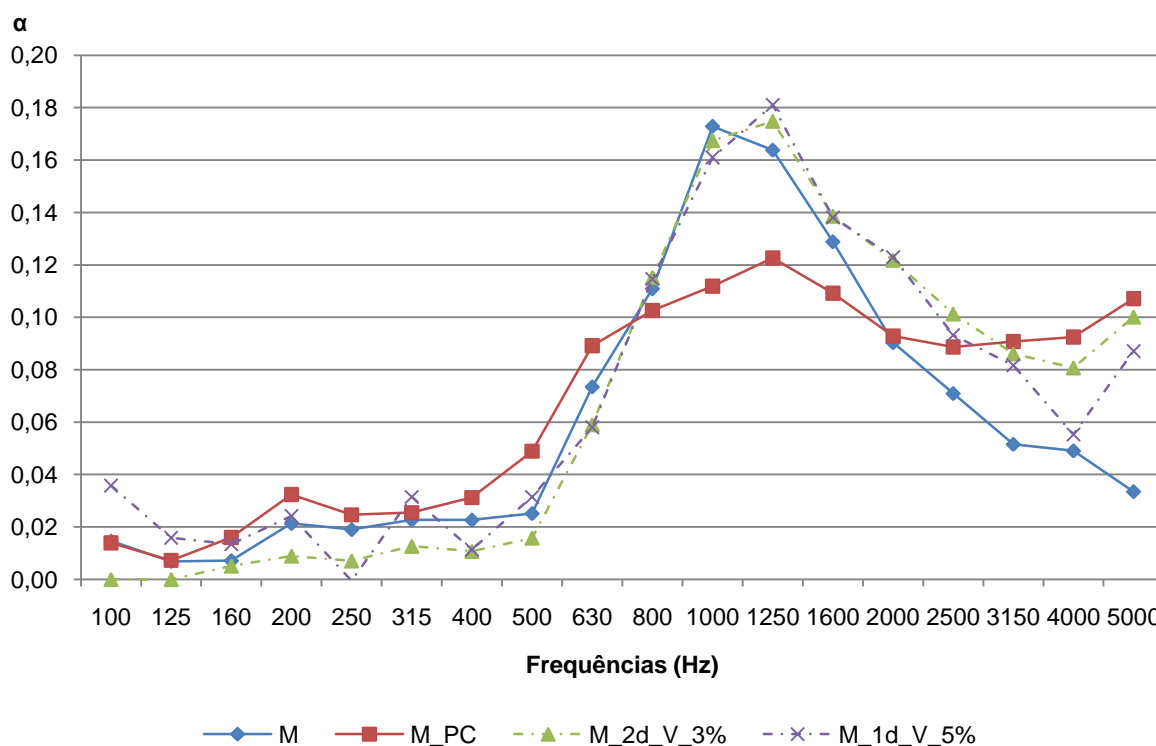


Figura 6.29 - Coeficientes de absorção sonora, α , para a amostra de madeira, amostra de madeira com pó de cortiça em emulsão, amostra de madeira com aplicação de duas demãos de tinta *Vinylsilk* com 3% de pó de cortiça e amostra de madeira com aplicação de uma “tinta/massa” *Vinylsilk* com 5% de incorporação de pó de cortiça.

Em forma de conclusão na análise e comparação de resultados apresenta-se na figura 6.29 os coeficientes de absorção sonora, α , para a amostra de madeira, amostra de madeira com pó de cortiça em emulsão, amostra de madeira com aplicação de duas demãos de tinta *Vinylsilk* com 3% de pó de cortiça e amostra de madeira com aplicação de uma “tinta/massa” *Vinylsilk* com 5% de incorporação de pó de cortiça.

Pode-se verificar que a partir da frequência 2500 Hz, o acréscimo do coeficiente de absorção para a amostra de madeira com aplicação de duas demãos de tinta *Vinylsilk* com 3% de pó de cortiça e da

amostra de madeira com aplicação de uma “tinta/massa” *Vinylsilk* com 5% de incorporação de pó de cortiça se aproxima da curva do pó de cortiça em emulsão. Daí pode-se depreender que as duas amostras atrás referenciadas reflectem o comportamento da amostra de madeira através do fenómeno de membrana na frequência de 1000 Hz, começando esse efeito a dissipar-se e a partir da frequência 2500 Hz acompanham o patamar da amostra de pó de cortiça. Assim, caso fossem realizados mais ensaios nos quais fossem adicionados crescentes percentagens de pó de cortiça, seria de esperar obter resultados compreendidos entre estes (hipóteses já ensaiadas) e o máximo atingido pelo pó de cortiça.

Desta forma se conclui que a utilização da incorporação de pó de cortiça em tinta aumenta o coeficiente de absorção sonora mas não em valores significativos para um uso eficaz e/ou comercial.

7

CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

7.1. CONCLUSÕES

A presente dissertação teve como objectivo o desenvolvimento de um novo produto fazendo uso do pó de cortiça cuja utilização não encontra ainda resposta suficiente para escoar toda a quantidade desperdiçada ao longo da produção dos diversos materiais que têm como matéria-prima a cortiça.

Pretendeu-se assim utilizar como material aglutinante do pó de cortiça diferentes formulações de tintas de forma a produzir um novo produto de revestimento de aplicação na Construção Civil com a potencialidade de influenciar as características acústicas dos espaços, corrigindo-as e melhorando-as.

Por este motivo, na temática da correcção acústica foram apresentados os vários mecanismos de absorção sonora bem como as suas gamas de frequências onde são mais eficazes (materiais porosos nas altas frequências, ressoadores nas médias frequências e membranas nas baixas frequências). Referiram-se ainda alguns parâmetros caracterizadores da absorção sonora, tais como o *Noise Reduction Coefficient*, NRC e o coeficiente de absorção sonora ponderado, α_w , e as respectivas classes de absorção sonora. Introduziu-se simultaneamente o conceito de tempo de reverberação, necessário para a determinação das características de absorção de elementos assim como o coeficiente de absorção sonora e área de absorção sonora equivalente.

De igual modo, foi pertinente o conhecimento mais aprofundado sobre as características e propriedades que as tintas contêm tendo sido uma mais-valia a oportunidade de receber uma formação em tintas e vernizes oferecida pelo grupo CIN que prontamente se disponibilizou por participar neste projecto. Assim, no decorrer desta dissertação apresentam-se as características mais importantes nas tintas de forma a clarificar um pouco mais a forma como se processam as ligações entre os diversos produtos existentes numa tinta.

Sendo o produto primitivo do desenvolvimento deste estudo, apresentaram-se igualmente as características e propriedades da cortiça desde o seu crescimento e formação, referindo o seu processo industrial e revelando as propriedades quer macro quer microscópicas que se encerram na estrutura molecular.

Tratando-se de um trabalho fundamentalmente experimental, descreveu-se as etapas percorridas até efectivar os produtos e combinações a serem testadas em câmara reverberante e posteriormente analisados os seus atributos acústicos.

Após devidamente aplicadas, várias hipóteses de “tintas” foram ensaiadas na câmara reverberante da FEUP procedendo-se ao ensaio de 12 amostras mais os ensaios necessários com a câmara vazia.

Durante os ensaios para determinação do coeficiente de absorção sonora das amostras foram utilizados quatro microfones e um altifalante em quatro posições distintas, constituindo 12 posições diferentes de pares emissor/receptor e, conseqüentemente, 12 curvas de decaimento distintas. Os ensaios foram realizados segundo a norma NP EN ISO 354:2007. Determinou-se, então, o coeficiente de absorção sonora, por banda de frequência de terço de oitava.

Efectuaram-se algumas comparações analisando a influência do tipo de material utilizado como subcamada, a influência do tipo de tinta utilizada como aglutinante, a influência da percentagem de incorporação de pó de cortiça, a influência do número de demãos aplicado assim como a comparação entre a tinta desenvolvida durante esta dissertação e uma já comercializada. Foi ainda realizada uma comparação entre os resultados obtidos para a amostra de madeira com pó de cortiça e os valores de coeficiente de absorção sonora por banda de 1/1 oitava do aglomerado de cortiça com 3 mm de espessura.

Da análise da influência do tipo de material e tinta utilizados conclui-se que os valores assim obtidos não diferem mais do que a própria incerteza máxima do método, cerca de 0,02, resultando assim que a sua influência não é preponderante no resultado. No caso de se utilizar a subcamada de chapa verifica-se que os coeficientes de absorção sonora aumentam até uma variação máxima de 0,02 ($\Delta\alpha$) da frequência 2500 à 5000 Hz, onde ocorre o valor máximo; quanto à amostra de madeira esta apenas denota uma subida de 0,02 ($\Delta\alpha$) no coeficiente de absorção sonora para a frequência de 1250 Hz. Esta análise foi realizada sobre as amostras de madeira e chapa com aplicação de uma demão de tinta *Contrato* com 2% de pó de cortiça incorporado.

Em relação à influência da tinta utilizada como aglutinante do pó de cortiça verificou-se que, para as amostras com aplicação de uma demão de tinta *Vinylsilk* e uma demão de tinta *Contrato*, nenhuma apresenta um acréscimo em relação à subcamada base superior à incerteza máxima do método, sendo que apenas a amostra com a aplicação de uma demão de tinta *Contrato* apresenta um acréscimo de 0,01 no coeficiente de absorção sonora para as frequências de 3150 a 5000 Hz.

Na análise das amostras com aplicação de uma demão de tinta *Contrato* com 2% de pó de cortiça incorporado e da aplicação de uma demão de tinta *Vinylsilk* com 3% de pó de cortiça incorporado, era esperado que a tinta com baixo PVC (*Vinylsilk*), resultado de possuir maior volume de veículo volátil disponível para preencher os espaços vazios do pó de cortiça, obtivesse valores inferiores aos da tinta *Contrato* (alto PVC). Tal não se verificou, obtendo ambas as amostras acréscimos de coeficiente de absorção sonora praticamente nulos, sendo que apenas, a amostra com aplicação de uma demão de tinta *Contrato* com 2% de pó de cortiça incorporado apresenta, para a frequência 1600 Hz um acréscimo de 0,02.

Quanto à quantidade de pó de cortiça adicionado, esta revela, como era esperado, que para crescentes valores de incorporação de pó de cortiça o valor do coeficiente de absorção é também aumentado. Estas variações são visíveis para a amostra de madeira com aplicação de duas demãos de tinta *Vinylsilk* com 3% de pó de cortiça que apresenta um aumento no coeficiente de absorção sonora de 0,03 a 0,07 (que representa um acréscimo de 35 a 199% em relação à amostra de madeira), e a mesma amostra apresenta um incremento de 0,03 a 0,07 mas que reflecte um aumento de 36 a 208% em relação à amostra de madeira com aplicação de uma demão de tinta *Vinylsilk*. Quanto à amostra de madeira com aplicação de uma “tinta/massa” *Vinylsilk* com 5% de pó de cortiça incorporado o aumento de coeficiente de absorção sonora em relação à amostra de madeira é de 0,02 a 0,05 (correspondendo a um incremento de 11 a 160%), e em relação à amostra de madeira com aplicação de uma demão de tinta *Vinylsilk* corresponde a um aumento do coeficiente de absorção sonora de 0,03 a 0,05 (correspondendo a um acréscimo de 38 a 168%).

Quadro 7.1 – Quadro resumo das variações do coeficiente de absorção sonora, $\Delta\alpha$, por frequência e em percentagem.

		Frequências (Hz)								
		1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	
Incremento influenciado pela percentagem de pó de cortiça	$\Delta\alpha [(M_2d_V_3\%)-(M)]$	$\Delta\alpha$	0,00	0,01	0,01	0,03	0,03	0,03	0,03	0,07
		%	0	7	8	35	43	67	65	199
	$\Delta\alpha [(M_2d_V_3\%)-(M_1d_V)]$	$\Delta\alpha$	0,01	0,01	0,01	0,03	0,04	0,05	0,05	0,07
		%	5	5	7	36	53	114	177	208
	$\Delta\alpha [(M_1d_V_5\%)-(M)]$	$\Delta\alpha$	0,00	0,02	0,01	0,03	0,02	0,03	0,01	0,05
		%	0	11	7	36	31	58	13	160
	$\Delta\alpha [(M_1d_V_5\%)-(M_1d_V)]$	$\Delta\alpha$	0,00	0,01	0,01	0,03	0,03	0,04	0,03	0,05
		%	1	9	7	38	40	102	90	168
Incremento devido ao número de demãos	$\Delta\alpha [(M_2d_V_3\%)-(M_1d_V_3\%)]$	$\Delta\alpha$	0,01	0,03	0,03	0,05	0,04	0,05	0,05	0,08
		%	4	18	25	62	67	116	141	401

As diferenças aqui referidas surgem a partir da frequência de 2000 Hz, onde ultrapassam a incerteza máxima do método permitindo concluir, que efectivamente a crescente incorporação de pó de cortiça produz um aumento no coeficiente de absorção sonora.

O interesse em criar e desenvolver uma tinta que reunisse propriedades acústicas seria em que essa tinta se revelasse superior às demais existentes no mercado, pois a escolha recairia sobre a aquisição de uma ou outra tinta e não sobre a hipótese de pintar com uma tinta “acústica” ou não pintar de todo. Logo, é importante ressaltar a decomposição, ou seja, demonstrar separadamente o incremento do coeficiente de absorção sonora das amostras em relação à camada base (amostra de madeira) e o aumento do coeficiente de absorção sonora das amostras em relação à amostra de madeira com aplicação de uma demão de tinta *Vinylsilk*.

Apesar do aumento do coeficiente de absorção sonora não parecer suficiente para ser comercialmente atractivo mostra que é o pó de cortiça o responsável pelas diferenças dos valores de coeficiente de absorção sonora.

Foi também demonstrado que o número de demãos aplicadas da “tinta” com pó de cortiça influencia no resultado não estando ainda claro se esta influência se deve ao aumento de espessura ou ao aumento subjacente do número de partículas de pó de cortiça.

Evidenciou-se que a variação do coeficiente de absorção sonora, ($\Delta\alpha$), aumenta de 0,03 a 0,07 em relação à amostra de madeira, correspondendo a um acréscimo de 35 a 199% quando é aplicado duas demãos de tinta *Vinylsilk* com 3% de pó de cortiça; e o valor do coeficiente de absorção sonora, ($\Delta\alpha$), aumenta de 0,03 a 0,08, em relação à amostra de madeira com aplicação de duas demãos de tinta *Vinylsilk* com 3% de pó de cortiça e a amostra em que esta tinta é aplicada apenas uma vez o que representa um incremento de 18 a 401%.

Fica no entanto ainda por clarificar se este aumento se deve exclusivamente ao aumento de espessura, ou se terá como influência subjacente o facto de ao aplicar uma nova demão de tinta *Vinylsilk* com 3% de pó de cortiça, acrescer também o número de partículas de pó. Considera-se plausível que o incremento se deva ao aumento do número de partículas de pó de cortiça.

Quanto à análise da tinta *KAR*, tinta “acústica” comercializada em Portugal, não se verificou qualquer aumento expressivo no valor do coeficiente de absorção sonora, sendo que a sua variação, $\Delta\alpha$, é inferior à incerteza máxima do método. Este resultado veio desapontar as expectativas relativamente a este produto, uma vez que a sua utilização não conseguiu reflectir as propriedades referidas na ficha técnica. Deve-se no entanto referir que aquando dos ensaios, era esperado obter valores de coeficiente de absorção sonora superiores aos da tinta *Vinylsilk* com incorporação de cortiça, pois esta tinta “acústica” da *KAR* apresentava-se mais rugosa e espessa para o mesmo nível de quantidade de aplicação, que são propriedades que influenciam o valor do coeficiente de absorção sonora.

Foi ainda realizado um ensaio ao pó de cortiça isoladamente, resultado de uma mistura de água e pó de cortiça onde este apresenta uma quantidade de aproximadamente 90 a 100% após a evaporação da água. Este ensaio demonstrou um patamar no valor do coeficiente de absorção sonora nas altas frequências apresentando um valor de 0,09 a 0,12 a partir da frequência dos 1000 Hz.

O resultado obtido neste ensaio não foi o esperado, uma vez que demonstra que o pó de cortiça não apresenta as potencialidades necessárias para se transformar num material absorvente sonoro, pois o valor de α é bastante diminuto.

Ao efectuar a comparação com os valores do coeficiente de absorção sonora do aglomerado composto de cortiça (3 mm) verifica-se que estes são bastante superiores aos atingidos pelo pó de cortiça, e mesmo este aglomerado composto de cortiça não é um material que deva ser utilizado como absorvente mas sim o aglomerado negro de cortiça. Desta forma pode-se depreender que o sistema de absorção sonora desenvolvido pela cortiça está essencialmente nos espaços vazios deixados pela agregação de partículas e não tanto na estrutura molecular da cortiça. Por esse motivo o pó de cortiça, de dimensões consideravelmente inferiores, preenche melhor os espaços vazios não permitindo muito a existência de ar que funcione como uma “mola” e dessa forma absorvesse melhor o som.

Em forma de conclusão na análise e comparação de resultados apresentou-se os coeficientes de absorção sonora, α , para a amostra de madeira, amostra de madeira com pó de cortiça em emulsão, amostra de madeira com aplicação de duas demãos de tinta *Vinylsilk* com 3% de pó de cortiça e amostra de madeira com aplicação de uma “tinta/massa” *Vinylsilk* com 5% de incorporação de pó de cortiça, onde se verificou que a partir da frequência 2500 Hz, o acréscimo do coeficiente de absorção para a amostra de madeira com aplicação de duas demãos de tinta *Vinylsilk* com 3% de pó de cortiça e da amostra de madeira com aplicação de uma “tinta/massa” *Vinylsilk* com 5% de incorporação de pó de cortiça se aproxima da curva do pó de cortiça unicamente em emulsão. Daí pode-se depreender que as duas amostras atrás referenciadas reflectem o comportamento do painel de madeira através do fenómeno de ressoador/membrana na frequência de 1000 Hz, começando esse efeito a dissipar-se e a partir da frequência 2500 Hz acompanham o patamar da amostra de pó de cortiça isolado. Assim, caso fossem realizados mais ensaios nos quais fossem adicionados crescentes percentagens de pó de cortiça, seria de esperar obter resultados compreendidos entre estes (hipóteses já ensaiadas) e o máximo atingido pelo pó de cortiça isolado.

Desta forma se conclui que a utilização da incorporação de pó de cortiça em “tinta” aumenta o coeficiente de absorção sonora mas não em valores significativos para um uso eficaz e/ou comercial.

É importante contudo ressaltar que esta dissertação, devido ao seu carácter experimental foi elaborada em parceria com o grupo CIN, que apesar de ter fornecido todo o auxílio e esclarecimento na fase de desenvolvimento teórico das “tintas”, quando foi necessário passar à efectiva preparação destas, devido a ser um grupo com outras prioridades e não se ter efectivado nenhum acordo formal da sua participação neste projecto, não correspondeu totalmente com a quantidade nem variedade de hipóteses inicialmente previstas.

Não se pretende minimizar o trabalho e parceria por eles desenvolvido, fundamental para este estudo, mas unicamente fazer notar as dificuldades sentidas quando se abraçam projectos que necessitam da interacção quer científica e laboratorial, geralmente realizada por parte do aluno, quer da prática e industrial pelo lado das empresas.

7.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Apesar dos objectivos finais do presente estudo terem sido cumpridos com o desenvolvimento e caracterização de “tinta” com pó de cortiça com desempenho acústico otimizado, através da realização de ensaios de absorção, este trabalho poderia ser mais aprofundado caso se dispusesse de mais tempo de modo a completá-lo.

Em primeiro lugar seria importante dissipar a dúvida remanescente entre o acréscimo de absorção na amostra de madeira com aplicação de duas demãos de tinta *Vinylsilk* com 3% de incorporação de pó de cortiça se deve ao aumento da espessura ou ao aumento do número de partículas de pó de cortiça aplicados.

Poder-se-ia ainda desenvolver uma nova “tinta” com pó de cortiça, sem recorrer à pós-adição mas sim, sendo realizada de raiz, já que esta era uma das hipóteses iniciais que infelizmente não pode vir a ser concretizada.

Seria também interessante tentar realizar novamente os ensaios cujas camadas base foram a amostra de madeira de forma a explorar formas de fixação para verificar se se mantinha ou não o efeito de ressoador/membrana. Uma outra forma de evitar este efeito seria realizar as amostras em paredes de alvenaria.

É importante contudo referir que apesar dos resultados alcançados não serem favoráveis é sempre um óptimo contributo à ciência o estudo e desenvolvimento de novos produtos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] www.apcor.pt/artigo.php?art=380 (acedido a 3 de Março de 2010).
- [2] www.amorim.pt (acedido a 3 de Março de 2010).
- [3] Carvalho, A. P. Oliveira de. *Acústica Ambiental e de Edifícios*, Edição 7.2. FEUP, 2009.
- [4] www.damadeira.pt/xFiles/scContentDeployerTimber_pt/docs/Doc134.pdf (acedido a 17 de Março de 2010).
- [5] Bies, David A., Hansen, Colin H., *Engineering Noise Control – Theory and Practice 4th Edition*. Spon Press, 2009.
- [6] Norma Portuguesa – 3225/1:1986 “*Acústica. Vocabulário. Parte 1: Definições Gerais*”.
- [7] Domingues, Odete. *A Acústica nos Edifícios – Materiais e sistemas Absorventes Sonoros*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 2005.
- [8] ISO 11654:1997 “*Acoustics - Sound absorbers for use in buildings - Rating of sound absorption*”.
- [9] Cox, T.J. e D’Antonio, P., *Acoustic Absorbers and Diffusers – Theory, Design and Application*, Spon Press, London, 2004.
- [10] ISO 10534-1:1996: “*Acoustics - Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes -- Part 1: Method using standing wave ratio*”.
- [11] Norma NP EN ISO 354:2007 “*Acústica – Medição da absorção sonora em câmara reverberante*”.
- [12] Everest, F. Alton, Pohlmann, Ken C., *Master Handbook of Acoustics 5th Edition*, McGraw Hill, 2009.
- [13] Silva, P.M., *Acústica de Edifícios*, LNEC, Lisboa, 1978.
- [14] Meisser, M., *La Correction Acoustique des Locaux*, CATED, Paris, 1986.
- [15] Kuttruff, H., *Room Acoustics – Fourth Edition*, Spon Press, London, 2000.
- [16] www.cyberpadres.com/educacion/arte/images/rup_altamira.jpg (acedido a 6 de Abril de 2010).
- [17] cilaschulman.files.wordpress.com/2008/09/cena-de-caca-pre-historica.jpg (acedido a 6 de Abril de 2010).
- [18] Martins, João Guerra, *Materiais de Construção – Tintas, Vernizes e Ceras 2ª edição*, 2005.
- [19] Silva, João Paulo, *Especificações de tratamentos de preservação para elementos de madeira*, Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, FEUP, 2008.
- [20] Norma Portuguesa 41 – “*Tintas e Vernizes: terminologia e definições*”, 1982.
- [21] www.brasilescola.com/upload/e/pigmento%20dos%20corantes%20-%20C.E..jpg (acedido a 6 de Abril de 2010).
- [22] Santos, Vítor, *Tintas e Vernizes*, Lisboa, 1998.
- [23] Fortes, Manuel A., Rosa, Maria Emília, Pereira, Helena, *A Cortiça*, Instituto Superior Técnico, 2004.
- [24] www.portugalambiente.com/wpcontent/uploads/2009/05/sobreiro.jpg (acedido a 12 de Maio de 2010).

- [25] Pereira, João Santos, *Do Sobreiro à Cortiça – Um sistema Sustentável*, Instituto Superior de Agronomia, 2008.
- [26] Gil, Luís, *A Cortiça como material de construção – Manual Técnico*, APCOR – Associação Portuguesa de Cortiça, 2006.
- [27] alfaconnection.net/pag_avsf/fqm0101.htm (acedido a 18 de Maio de 2010).
- [28] www.hytechsales.com (acedido a 22 de Fevereiro de 2010).
- [29] www.hytechsales.com/download/Acousti-Coat%20Product%20Description.pdf (acedido a 22 de Fevereiro de 2010).
- [30] www.tintaskar.com.pt (acedido a 17 de Março de 2010).
- [31] www.tintaskar.com.pt/construcao/bt/3048.pdf (acedido a 17 de Março de 2010).
- [32] www.ineti.pt (acedido a 17 de Março de 2010).
- [33] www.marcaspatentes.pt/files/collections/pt_PT/49/55/282/283/2010-01-25.pdf (acedido a 17 de Março de 2010).
- [34] www.cin.pt (acedido a 28 de Fevereiro de 2010).
- [35] Norma ISO 787 – 5: 1980: “*General methods of test for pigments and extenders - Part 5: Determination of oil absorption value*”.
- [36] www.beckmancoulter.com/coultercounter/product_LS13320.jsp (acedido a 10 de Maio de 2010).
- [37] Ensaio interno realizado no Laboratório do Departamento de Engenharia Química, FEUP, a 18 de Março de 2010, pelo Eng. Luís Carlos Matos.
- [38] Pilão, Rosa Barbosa, *Estudo da Explosão do Pó de Cortiça*, tese de Doutoramento em Ciências de Engenharia, FEUP, 2002.
- [39] www.cin.pt (fichas técnicas de produtos) (acedido a 10 de Maio de 2010).
- [40] www.sardinha-leite.pt (acedido a 19 de Maio de 2010).
- [41] www.jvcalves.pt (acedido a 7 de Junho de 2010).
- [42] Norma ISO 266: 1997 “*Acoustics - Preferred frequencies*”.
- [43] Norma IEC 61260 “*Electroacoustics - Octave-Band and Fractional-Octave-Band Filters*”.
- [44] Norma ISO 9613-1:1993 “*Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors - Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere*”.
- [45] Martins, Gonçalo, *Caracterização acústica de materiais fonoabsorventes à base de filmes de polímero monocomponentes sobre lâ fibrada*, Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, FEUP, 2008.
- [46] Fotografias cedidas pelo Eng. Paulo Renato Marques.
- [47] www.bksv.com (acedido a 18 de Maio de 2010).

ANEXO A

RESUMO DE RESULTADOS

Quadro A. 1 - Quadro resumo com o valor dos tempos de reverberação da câmara vazia (T_1) e com amostra (T_2) assim como o valor do coeficiente de absorção sonora, α , da amostra de chapa.

		Frequências (Hz)																	
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
T_1		14,18	14,16	13,35	12,21	12,36	13,18	13,02	12,33	11,01	10,63	9,35	8,61	7,42	6,36	5,71	4,67	4,03	3,03
Amostra de Chapa	T_2	14,76	13,18	13,22	12,67	12,27	13,01	12,44	11,43	9,50	8,80	7,35	6,73	6,17	5,52	5,11	4,40	3,90	2,96
	α	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,08	0,09	0,08	0,07	0,06	0,04	0,02	0,02

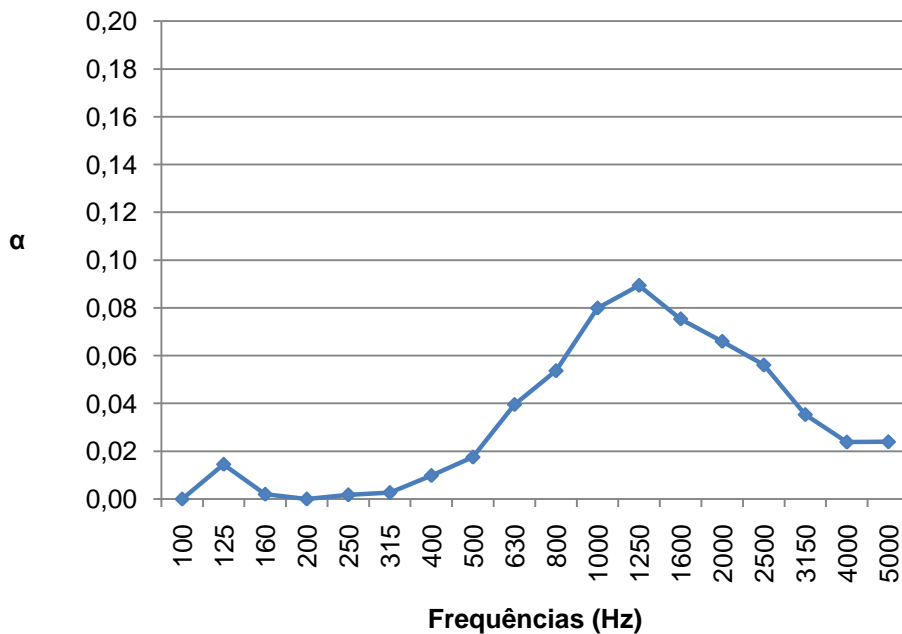


Figura A. 1 - Coeficiente de absorção sonora, α , por banda de frequência, obtido em câmara reverberante, da amostra de chapa.

Quadro A. 2 - Quadro resumo com o valor dos tempos de reverberação da câmara vazia (T_1) e com amostra (T_2) assim como o valor do coeficiente de absorção sonora, α , da amostra chapa com aplicação de uma demão de tinta *Contrato*.

		Frequências (Hz)																	
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Amostra de Chapa pintada com tinta	T_1	13,92	12,98	12,67	12,14	11,90	12,97	12,68	12,10	11,32	10,55	9,20	8,58	7,38	6,30	5,63	4,59	3,96	2,91
	T_2	13,83	12,68	12,35	11,51	11,37	12,42	12,28	10,88	9,49	8,78	7,32	6,86	6,12	5,50	5,07	4,27	3,77	2,81
<i>Contrato</i>	α	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,05	0,05	0,08	0,08	0,08	0,06	0,05	0,05	0,03	0,03

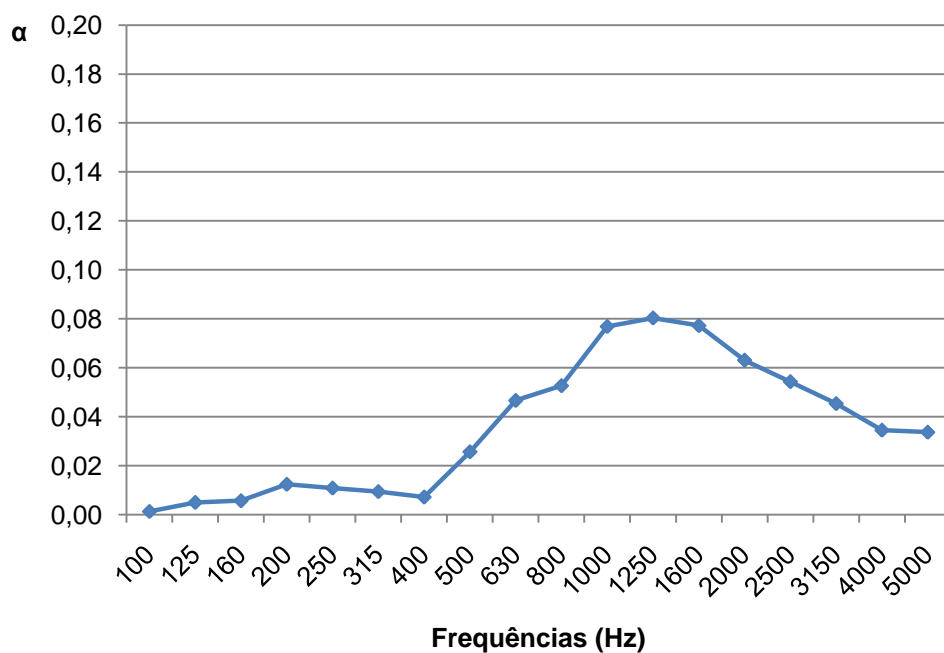


Figura A. 2 - Coeficiente de absorção sonora, α , por banda de frequência, obtido em câmara reverberante, da amostra de chapa com aplicação de uma demão de tinta *Contrato*.

Quadro A. 3 - Quadro resumo com o valor dos tempos de reverberação da câmara vazia (T_1) e com amostra (T_2) assim como o valor do coeficiente de absorção sonora, α , da amostra chapa com aplicação de uma demão de tinta *Contrato* com 2% de pó de cortiça.

		Frequências (Hz)																	
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Amostra de Chapa com uma demão de tinta <i>Contrato</i>	T_1	13,92	12,98	12,67	12,14	11,90	12,97	12,68	12,10	11,32	10,55	9,20	8,58	7,38	6,30	5,63	4,59	3,96	2,91
	T_2	14,22	12,88	12,42	11,23	11,57	12,40	11,99	10,99	9,15	8,60	7,36	6,80	6,14	5,51	5,07	4,26	3,74	2,78
	α	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,06	0,06	0,07	0,08	0,08	0,06	0,05	0,05	0,04	0,05

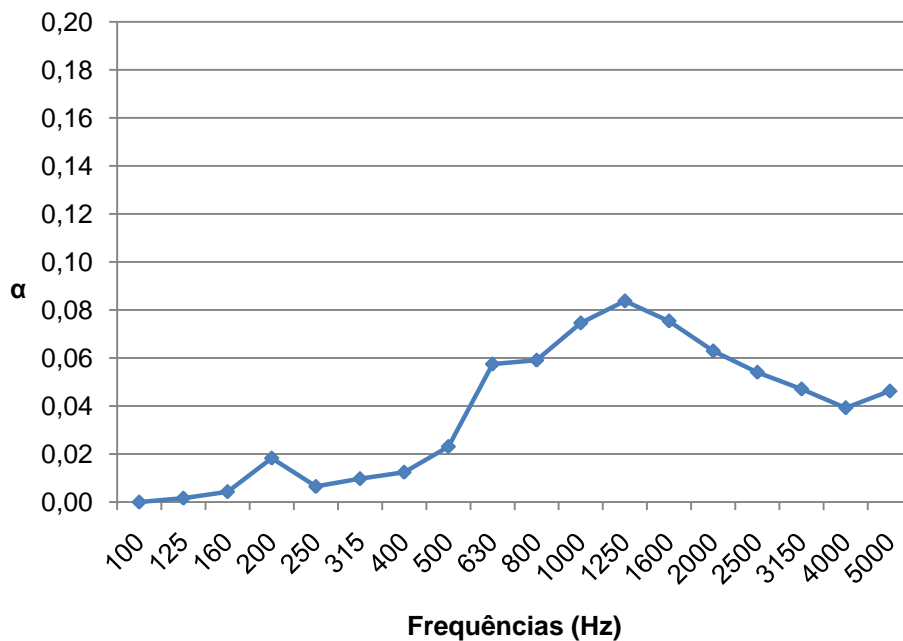


Figura A. 3 - Coeficiente de absorção sonora, α , por banda de frequência, obtido em câmara reverberante, da amostra chapa com aplicação de uma demão de tinta *Contrato* com 2% de pó de cortiça.

Quadro A. 4 Quadro resumo com o valor dos tempos de reverberação da câmara vazia (T_1) e com amostra (T_2) assim como o valor do coeficiente de absorção sonora, α , da amostra de madeira.

		Frequências (Hz)																	
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Amostra de Madeira	T_1	13,83	13,17	12,64	12,09	12,29	13,61	12,90	12,39	11,31	10,84	9,30	8,37	7,33	6,34	5,72	4,72	4,13	3,05
	T_2	12,76	12,69	12,18	10,91	11,20	12,06	11,50	10,97	8,40	7,22	5,57	5,33	5,26	5,12	4,89	4,29	3,81	2,92
	α	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,07	0,11	0,17	0,16	0,13	0,09	0,07	0,05	0,05	0,03

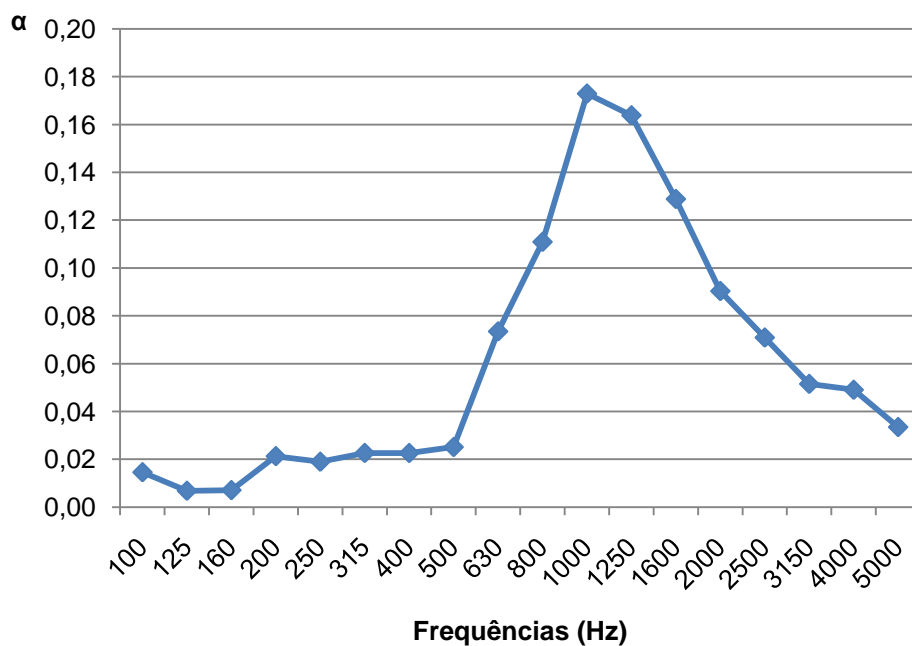


Figura A. 4 Coeficiente de absorção sonora, α , por banda de frequência, obtido em câmara reverberante, da amostra de madeira.

Quadro A. 5 - Quadro resumo com o valor dos tempos de reverberação da câmara vazia (T_1) e com amostra (T_2) assim como o valor do coeficiente de absorção sonora, α , da amostra madeira com aplicação de uma de demão de tinta *Contrato* com 2 % de incorporação de pó de cortiça.

		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Amostra de Madeira com uma de demão de tinta <i>Contrato</i> com 2 % de pó de cortiça.	T_1	13,95	13,31	12,68	12,01	11,89	12,61	12,21	12,21	11,62	11,09	9,28	8,59	7,43	6,40	5,72	4,71	4,12	3,05
	T_2	12,37	12,23	11,71	11,33	11,26	11,43	11,23	10,70	8,59	7,35	5,53	5,16	5,29	5,22	5,00	4,36	3,86	2,93
	α	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,07	0,11	0,18	0,19	0,13	0,08	0,06	0,04	0,04	0,03

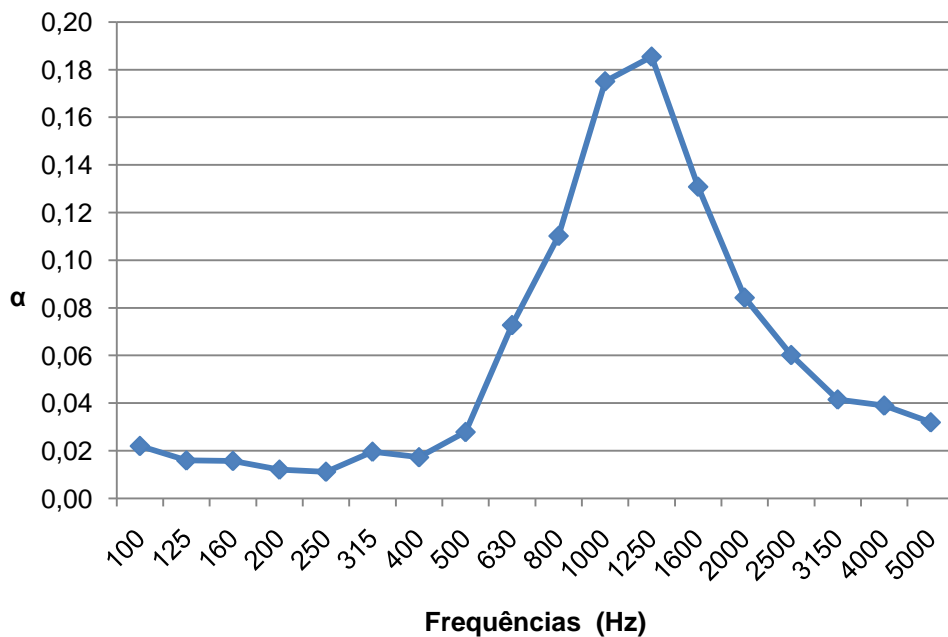


Figura A. 5 - Coeficiente de absorção sonora, α , por banda de frequência, obtido em câmara reverberante, da amostra de madeira com aplicação de uma de demão de tinta *Contrato* com 2 % de incorporação de pó de cortiça.

Quadro A. 6 - Quadro resumo com o valor dos tempos de reverberação da câmara vazia (T_1) e com amostra (T_2) assim como o valor do coeficiente de absorção sonora, α , da amostra madeira com pó de cortiça em emulsão.

		Frequências (Hz)																	
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Amostra de Madeira com Pó de cortiça em emulsão	T_1	13,92	12,98	12,67	12,14	11,90	12,97	12,68	12,10	11,32	10,55	9,20	8,58	7,38	6,30	5,63	4,59	3,96	2,91
	T_2	12,88	12,49	11,69	10,43	10,61	11,40	10,89	9,71	7,97	7,27	6,44	5,97	5,53	5,06	4,66	3,91	3,43	2,58
	α	0,01	0,01	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,05	0,09	0,10	0,11	0,12	0,11	0,09	0,09	0,09	0,09	0,11

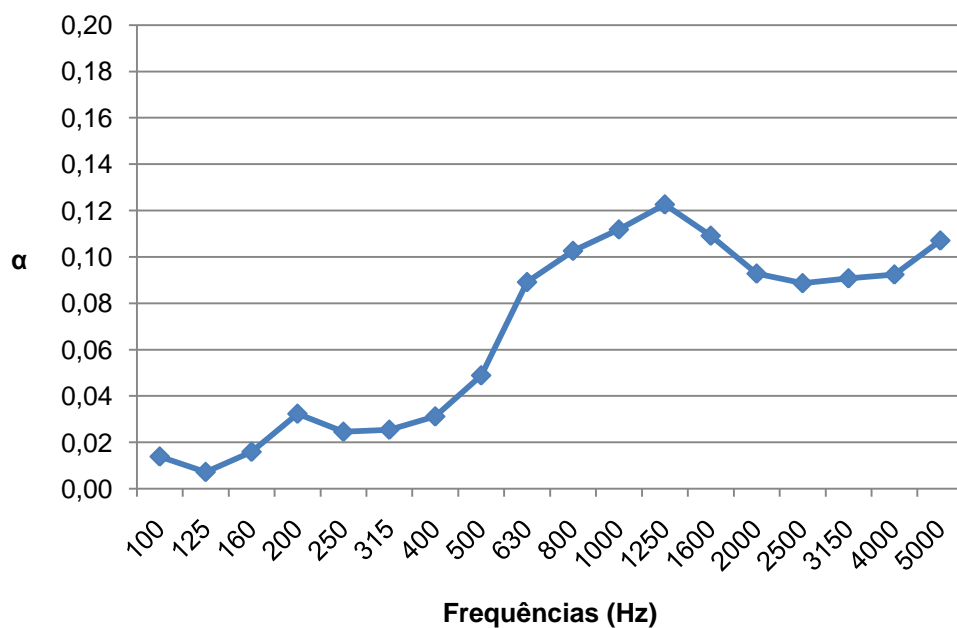


Figura A. 6 - Coeficiente de absorção sonora, α , por banda de frequência, obtido em câmara reverberante, da amostra de madeira com pó de cortiça em emulsão.

Quadro A. 7 - Quadro resumo com o valor dos tempos de reverberação da câmara vazia (T_1) e com amostra (T_2) assim como o valor do coeficiente de absorção sonora, α , da amostra de madeira com aplicação de uma demão de tinta KAR.

		Frequências (Hz)																	
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Amostra de Madeira com uma demão de tinta KAR	T_1	13,83	13,17	12,64	12,09	12,29	13,61	12,90	12,39	11,31	10,84	9,30	8,37	7,33	6,34	5,72	4,72	4,13	3,05
	T_2	13,18	12,92	12,61	11,84	11,53	11,99	11,61	10,91	9,05	7,55	5,50	5,25	5,29	5,15	4,90	4,25	3,81	2,90
	α	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02	0,03	0,05	0,10	0,18	0,17	0,13	0,09	0,07	0,06	0,05	0,04

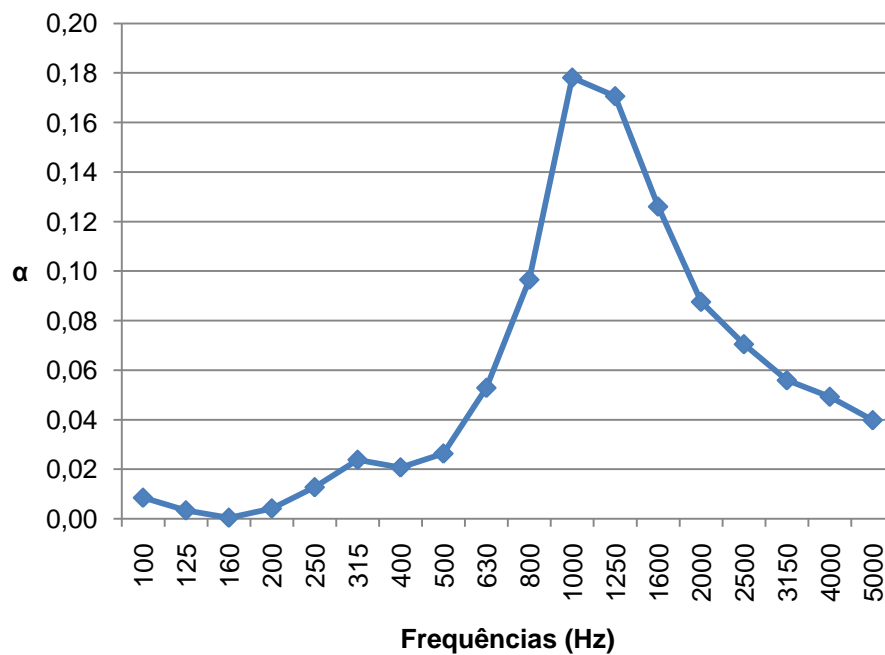


Figura A. 7 - Coeficiente de absorção sonora, α , por banda de frequência, obtido em câmara reverberante, da amostra de madeira com aplicação de uma demão de tinta KAR.

Quadro A. 8 - Quadro resumo com o valor dos tempos de reverberação da câmara vazia (T_1) e com amostra (T_2) assim como o valor do coeficiente de absorção sonora, α , da amostra de madeira com aplicação de duas demãos de tinta KAR.

		Frequências (Hz)																	
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Amostra de Madeira com duas demãos de tinta KAR	T_1	13,89	13,15	12,53	11,87	11,54	12,48	12,28	12,07	11,38	10,81	9,64	8,57	7,22	6,16	5,44	4,28	3,65	2,64
	T_2	12,64	12,80	12,54	11,36	10,98	11,68	11,36	10,77	8,80	7,16	5,58	5,27	5,22	5,01	4,71	3,97	3,50	2,54
	α	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,06	0,11	0,18	0,18	0,13	0,09	0,07	0,04	0,03	0,03

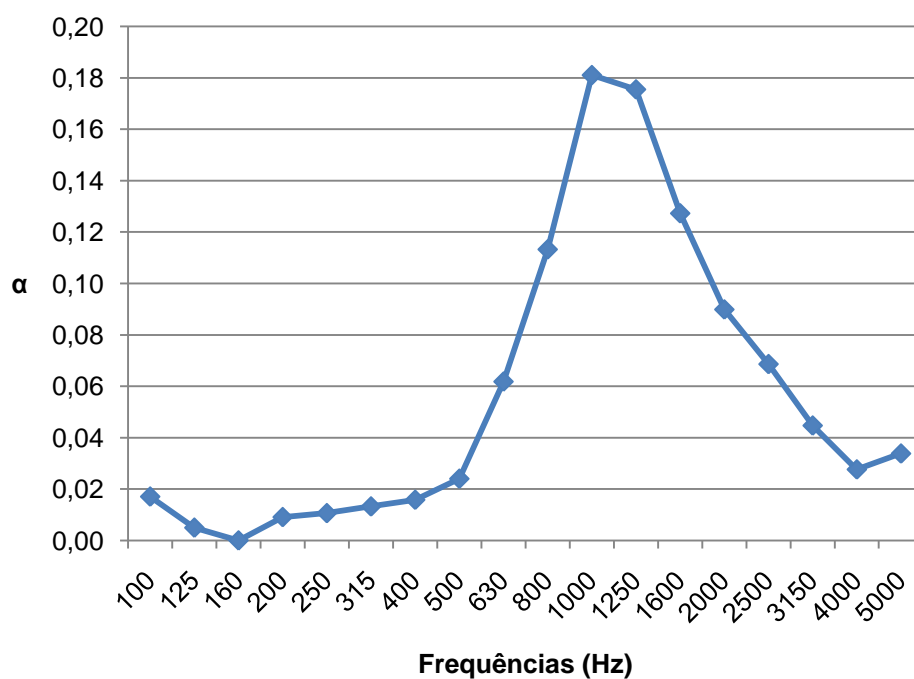


Figura A. 8 - Coeficiente de absorção sonora, α , por banda de frequência, obtido em câmara reverberante, da amostra de madeira com aplicação de duas demãos de tinta KAR.

Quadro A. 9 - Quadro resumo com o valor dos tempos de reverberação da câmara vazia (T_1) e com amostra (T_2) assim como o valor do coeficiente de absorção sonora, α , da amostra madeira com aplicação de uma massa com 5 % de pó de cortiça.

		Frequências (Hz)																	
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Amostra de Madeira com aplicação de uma massa com 5% de pó de cortiça	T_1	15,23	13,14	12,77	11,79	10,76	13,84	12,23	12,87	11,37	11,43	9,21	8,44	7,09	6,32	5,45	4,40	3,61	2,70
	T_2	12,41	12,09	11,92	10,54	10,78	11,71	11,57	11,02	8,92	7,40	5,69	5,16	5,04	4,77	4,50	3,82	3,34	2,46
	α	0,04	0,02	0,01	0,02	0,00	0,03	0,01	0,03	0,06	0,11	0,16	0,18	0,14	0,12	0,09	0,08	0,06	0,09

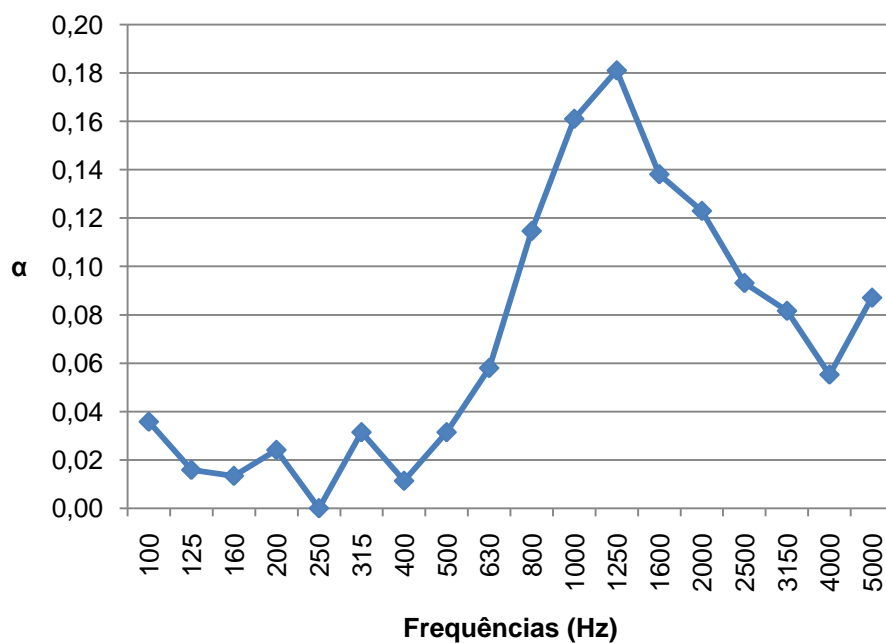


Figura A. 9 - Coeficiente de absorção sonora, α , por banda de frequência, obtido em câmara reverberante, da amostra de madeira com aplicação de uma massa com 5% de pó de cortiça.

Quadro A. 10 - Quadro resumo com o valor dos tempos de reverberação da câmara vazia (T_1) e com amostra (T_2) assim como o valor do coeficiente de absorção sonora, α , da amostra de madeira com aplicação de uma demão de tinta *Vinylsilk*.

		Frequências (Hz)																	
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Amostra de Madeira com aplicação de uma demão de tinta <i>Vinylsilk</i>	T_1	13,89	13,15	12,53	11,87	11,54	12,48	12,28	12,07	11,38	10,81	9,64	8,57	7,22	6,16	5,44	4,28	3,65	2,64
	T_2	13,39	12,50	12,30	11,28	11,25	11,84	11,47	10,76	9,02	7,64	5,88	5,37	5,20	5,01	4,73	4,00	3,49	2,55
	α	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,06	0,09	0,16	0,17	0,13	0,09	0,07	0,04	0,03	0,03

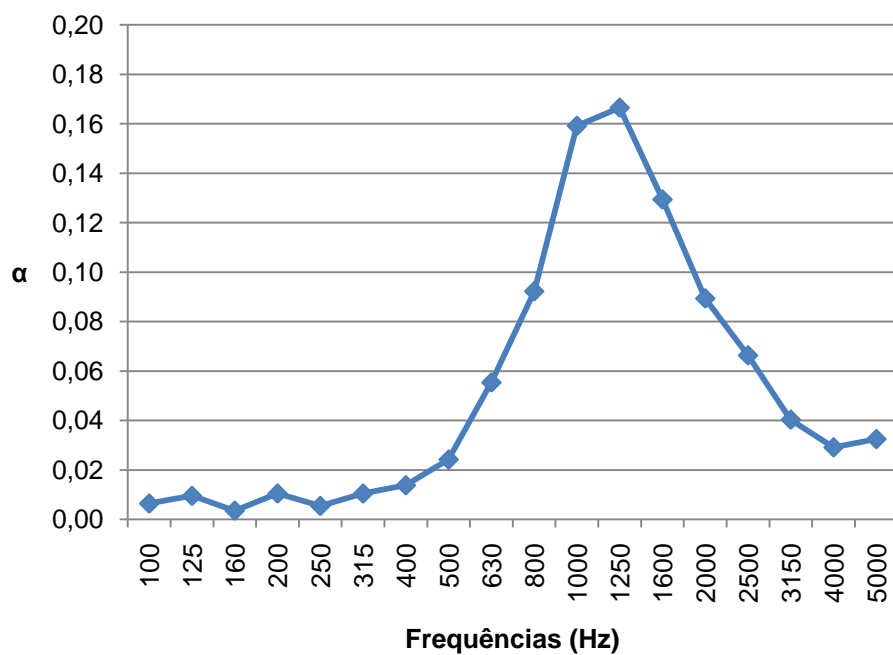


Figura A. 10 - Coeficiente de absorção sonora, α , por banda de frequência, obtido em câmara reverberante, da amostra de madeira com aplicação de uma demão de tinta *Vinylsilk*.

Quadro A. 11 - Quadro resumo com o valor dos tempos de reverberação da câmara vazia (T_1) e com amostra (T_2) assim como o valor do coeficiente de absorção sonora, α , da amostra de madeira com aplicação de uma demão de tinta *Vynilsilk* com 3 % de incorporação de pó de cortiça.

		Frequências (Hz)																	
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Amostra de Madeira com uma demão de tinta <i>Vynilsilk</i> com 3% de pó de cortiça	T_1	13,83	13,17	12,64	12,09	12,29	13,61	12,90	12,39	11,31	10,84	9,30	8,37	7,33	6,34	5,72	4,72	4,13	3,05
	T_2	12,93	12,79	12,73	11,44	11,87	12,30	11,71	10,68	7,84	6,56	5,73	5,52	5,48	5,29	5,00	4,38	3,91	2,97
	α	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,09	0,14	0,16	0,15	0,11	0,07	0,06	0,04	0,03	0,02

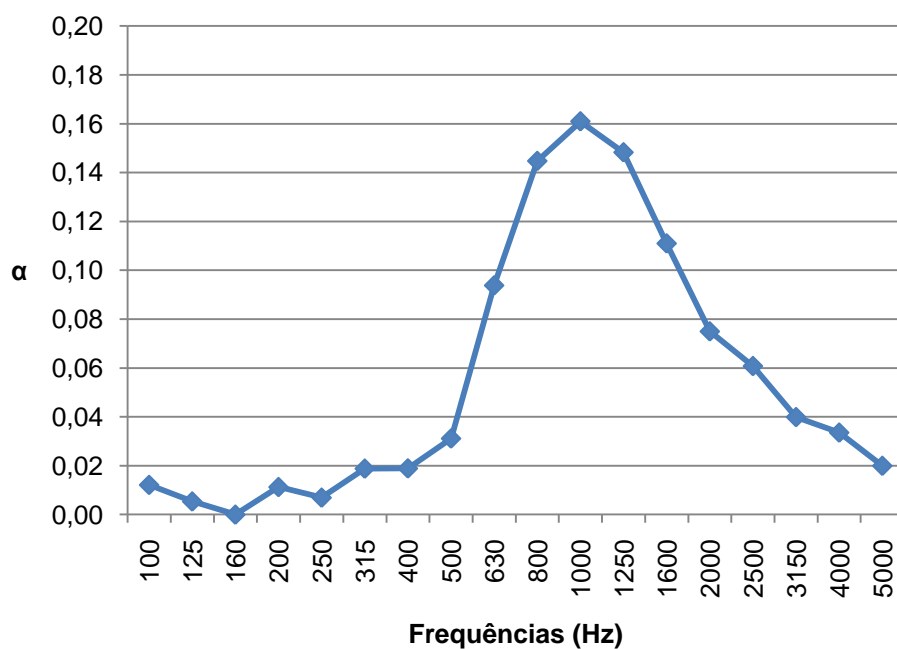


Figura A. 11 - Coeficiente de absorção sonora, α , por banda de frequência, obtido em câmara reverberante, da amostra de madeira com aplicação de uma demão de tinta *Vynilsilk* com 3 % de incorporação de pó de cortiça.

Quadro A. 12 - Quadro resumo com o valor dos tempos de reverberação da câmara vazia (T_1) e com amostra (T_2) assim como o valor do coeficiente de absorção sonora, α , da amostra de madeira com aplicação de duas demãos de tinta *Vynilsilk* com 3 % de incorporação de pó de cortiça.

		Frequências (Hz)																	
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Amostra de Madeira com duas demãos de tinta <i>Vynilsilk</i> com 3% de pó de cortiça	T_1	12,69	11,84	12,88	11,40	11,84	12,89	12,22	12,06	11,44	10,47	9,53	8,73	7,40	6,61	5,73	4,59	3,91	2,86
	T_2	13,27	12,38	12,54	10,93	11,44	12,07	11,59	11,18	8,93	6,97	5,72	5,34	5,19	4,95	4,62	3,94	3,45	2,55
	α	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,06	0,12	0,17	0,17	0,14	0,12	0,10	0,09	0,08	0,10

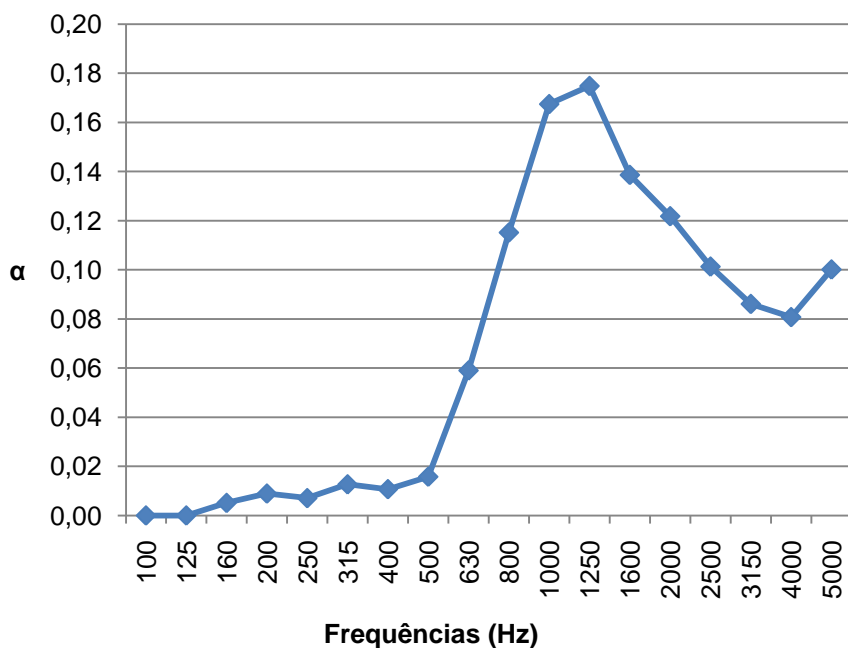


Figura A. 12 - Coeficiente de absorção sonora, α , por banda de frequência, obtido em câmara reverberante, da amostra de madeira com aplicação de duas demãos de tinta *Vynilsilk* com 3 % de incorporação de pó de cortiça.

ANEXO B

REGISTO FOTOGRÁFICO



Figura B.1 - Fotografia do Termo – Higrómetro utilizado durante os ensaios.



Figura B.2 – Pormenor do Termo – Higrómetro utilizado durante os ensaios.



Figura B.3 – Pormenor de um dos microfones *Brüel & Kjær* – tipo 4190 utilizados durante os ensaios.

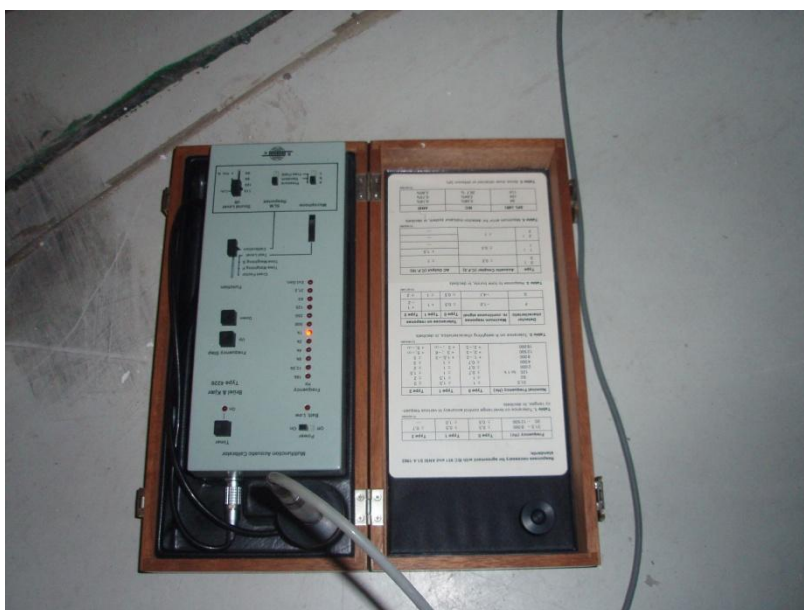


Figura B.4 – Pormenor do Calibrador *Brüel & Kjær* – tipo 4226 utilizado nos ensaios.



Figura B.5 – Fotografia de uma posição relativa da fonte sonora durante os ensaios com a câmara vazia.



Figura B.6 – Fotografia de uma posição relativa da fonte sonora durante o ensaio da amostra de madeira.



Figura B.7 – Fotografia de uma posição relativa da fonte sonora durante o ensaio da amostra de madeira com aplicação de uma “tinta/massa” *Vinylsilk* com 5% de pó de cortiça.



Figura B.8 – Fotografia de uma posição relativa da fonte sonora durante o ensaio da amostra de madeira com aplicação de duas demãos de tinta *Vinylsilk* com 3% de incorporação de pó de cortiça.



Figura B.9 – Fotografia de uma posição relativa da fonte sonora durante o ensaio da amostra de chapa com aplicação de uma demão de tinta *Contrato*.



Figura B.10 – Fotografia de uma posição relativa da fonte sonora durante o ensaio da amostra com Pó de Cortiça em emulsão.

