

INTERACÇÃO ENGENHARIA CIVIL / ACÚSTICA COM BASE NA VALIDAÇÃO EXPERIMENTAL DE MODELOS DE DESEMPENHO

Baffles Acústicos

PEDRO SOUSA RODRIGUES

Relatório de Projecto submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor Rui Manuel Gonçalves Calejo Rodrigues

JULHO DE 2008

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2007/2008

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 - 2007/2008 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2008*.

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.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todas as pessoas que contribuíram para a realização desta Tese de Mestrado, nomeadamente:

- Ao professor Doutor Rui Calejo, orientador deste trabalho, pelo incentivo, disponibilidade e sugestões prestadas;

-Aos meus colegas e amigos João Tomás, Gonçalo Poças Martins, Adriano Gonçalves, Agostinho Coutinho, Eduardo, Paulo Renato, e Luís Isidoro pela partilha e troca de conhecimentos;

-À empresa FLEX2000 pelo fornecimento do material em estudo, e em especial ao Eng. Sílvio Costa, pela disponibilidade e amabilidade na partilha de informação;

-A toda a minha família por todo o acompanhamento e incentivo manifestado.

RESUMO

O constante desenvolvimento e crescimento das cidades, fruto do progresso das tecnologias humanas, tem vindo a mudar os hábitos e costumes das populações, bem como as suas exigências. Problemas relacionados com o ruído são cada vez mais comuns, levando à degradação da qualidade de vida das pessoas.

Deste modo, torna-se inevitável o aparecimento de novas soluções construtivas capazes de minimizar esta problemática.

Pretende-se portanto, com este trabalho, avaliar o comportamento acústico de uma material à base de espumas de poliuretano, mais concretamente no que diz respeito à sua Absorção Sonora. As espumas de poliuretano são usualmente utilizadas no isolamento sonoro de paredes e pavimentos. Interessa agora estudar o seu comportamento acústico como elemento absorvente suspenso (Baffles), na correcção acústica de recintos.

Uma vez que se trata de um material que não tem imagem decorativa, com uma aparência um pouco desagradável, e pretende-se colocar à vista suspenso nos tectos, decidiu-se pintar o material como forma de tentar solucionar esse problema e daí terem sido suscitados problemas quanto à eventual afectação do comportamento acústico.

Para se proceder a tal avaliação previu-se primeiramente o valor do Coeficiente de Absorção Sonora por um método teórico já existente. Com a mesma finalidade, procede-se à determinação experimental do coeficiente de absorção sonora pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias.

Estimados os valores do Coeficiente de Absorção Sonora para toda a gama de fabrico, escolheu-se o material que se entendeu ser o mais adequado para ensaiar na Câmara Reverberante, não só como um elemento absorvente plano, mas também como um elemento absorvente suspenso (Baffles). Visto tratar-se de um ensaio mais fiável que reproduz melhor o real comportamento acústico do material, pretendia-se também comparar com os resultados obtidos nas outras metodologias. Procura-se assim conferir viabilidade às previsões efectuadas em fase de projecto.

Uma vez que as espumas de poliuretano (sem pintura) já se encontram caracterizadas acusticamente quanto ao valor do Coeficiente de Absorção Sonora, analisa-se também os efeitos que a pintura tem no material através da comparação dos resultados para os dois materiais

Apresenta-se um breve comentário sobre a aplicabilidade desta solução no panorama construtivo actual, atendendo ao seu desempenho acústico como elemento absorvente suspenso.

Por ultimo, são referidas algumas perspectivas de desenvolvimento futuro, assim como as conclusões mais pertinentes sobre o trabalho realizado.

PALAVRAS-CHAVE: Acústica, Reverberação, Absorção Sonora, Metodologia, Baffles.

ABSTRACT

The constant development and growth of cities, as fruit of human progress of technology, have changed the habits and customs of the people and their demands. Problems related to noise are increasingly common, leading to degradation of the quality of life of people.

Deal to this, it is inevitable the emergence of new constructive solutions able to minimize this problem.

It is therefore the aim of this work, assess the acoustic behavior of a material made of polyurethane foam, specifically with regard to its sound absorption. The polyurethane foams are usually used for sound isolation of walls and floors. Now the interest is to consider his behavior as an acoustic space absorbers (Baffles), in the correction of acoustics enclosures.

Since this is a material that has no decorative image, with a look a little uncomfortable, and seeks to place the order suspended in ceilings, it was decided to paint the material as a way of trying to resolve this problem and from there, have been raised problems concerning the allocation of acoustic behavior

To make such an assessment, first it was provided the value of the sound absorption coefficient by an existing theoretical method. With the same purpose, it is experimentally determinate the sound absorption coefficient by the method using standing wave ration.

Estimates of the values of sound absorption coefficient to all the types of manufacturing, it was chosen the material that seemed to be the most appropriate to test in the reverberation room, not only as an absorbent plan, but also as a space absorber (Baffles).

Since this is a more reliable test that better reflects the actual behavior of acoustic material, was also wanted to compare with the results obtained in other methodologies.

Searching thereby giving the feasibility forecasts made in draft.

In view of the fact that the polyurethane foam (not painted) are already characterized acoustically as the value of the sound absorption coefficient, was also examined the effects that the painting as in the material through the comparison of results for the two materials.

It is presented a brief comment on the applicability of this material in the current constructive background, given its acoustic performance as part of space absorbers.

Finally, there are quoted some prospects for future development as well as finding conclusions more relevant about the work done.

KEYWORDS: Acoustics, Reverberation, Sound Absorption, Methodology, Baffles.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
1.2. ENQUADRAMENTO DO TRABALHO	1
1.3. ESTRUTURA DA TESE	2
2. REVISÃO DO CONHECIMENTO.....	5
2.1. INTRODUÇÃO	5
2.2. ABORDAGEM HISTÓRICA	6
2.3. ENQUADRAMENTO LEGAL.....	8
2.4. CONDICIONAMENTO ACÚSTICO DE RECINTOS.....	10
2.4.1. CAMPO SONORO EM RECINTOS FECHADOS	12
2.4.1.1. Teoria Ondulatória.....	12
2.4.1.2. Teoria Geométrica.....	13
2.4.1.3. Teoria Estatística.....	13
2.4.1.4. Tempo de Reverberação	13
2.4.1.5. Fórmulas de Previsão	14
2.4.1.6. Efeitos do Tempo de Reverberação em recintos.....	16
2.4.2. ABSORÇÃO SONORA.....	17
2.4.3. MATERIAIS E SISTEMAS ABSORVENTES	19
2.4.3.1. Materiais texturados	19
2.4.3.2. Membranas ressonantes.....	23
2.4.3.3. Ressonadores de cavidade.....	24
3. ESTRUTURAÇÃO DA RESOLUÇÃO	27
3.1. ESTRUTURA DA RESOLUÇÃO	27
3.2. MATERIAL EM ESTUDO	29

4. METODOLOGIAS	33
4.1. INTRODUÇÃO	33
4.2. MODELOS TEÓRICOS PARA A DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORO	34
4.2.1. MODELO DE DELANY E BAZLEY	34
4.2.2. MODELO DE MECHEL	34
4.2.3. MODELO DE ATTENBOROUGH	34
4.2.4. MODELO DE ALLARD-JOHNSON	35
4.3. DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE ABSORÇÃO SONORA PELO TUBO DE ONDAS ESTACIONÁRIAS	35
4.3.1. INTRODUÇÃO	35
4.3.2. PRINCÍPIO DA METODOLOGIA	35
4.3.3. DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA	36
4.3.3.1. Intervalo de frequências de trabalho	36
4.3.3.2. Atenuação do Tubo de Ondas Estacionárias	37
4.3.3.3. Cálculo do Coeficiente de Absorção Sonoro da Amostra	37
4.4. DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE ABSORÇÃO SONORA PELA CÂMARA REVERBERANTE	38
4.4.1. PREPARAÇÃO DO ENSAIO	39
4.4.1.1. Características da Câmara Reverberante	39
4.4.1.2. Amostra a ensaiar	40
4.4.1.3. Temperatura e Humidade Relativa da Câmara Reverberante	40
4.4.2. MEDIÇÃO DO TEMPO DE REVERBERAÇÃO	41
4.4.2.1. Método do ruído interrompido	41
4.4.3. CÁLCULO DOS RESULTADOS	42
4.4.4 – APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E RELATÓRIO DE ENSAIO	43
4.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
 5. APLICAÇÃO DAS METODOLOGIAS	 45
5.1. INTRODUÇÃO	45
5.2. MODELO TEÓRICO MECHEL	46
5.2.1. INTRODUÇÃO	46
5.2.2. CÁLCULO DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORO	46
5.2.3. RESULTADOS OBTIDOS PELO MODELO TEÓRICO DE MECHEL	55
5.2.3.1. Valores do coeficiente de absorção sonora para densidade 60 Kg/m ³	55

5.3. ENSAIOS NO TUBO DE ONDAS ESTACIONÁRIAS	55
5.3.1. INTRODUÇÃO	55
5.3.2. EQUIPAMENTO UTILIZADO	55
5.3.3. ADOÇÃO DO TIPO DE TUBO A UTILIZAR CONSOANTE AS FREQUÊNCIAS DE TRABALHO A ESTUDAR	56
5.3.4. ATENUAÇÃO DO TUBO	58
5.3.5. CONDIÇÕES DE MONTAGEM DA AMOSTRA	59
5.3.6. ADEQUAÇÃO DO EQUIPAMENTO A UMA AMOSTRA DE TESTE	61
5.3.7. DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA DAS AMOSTRAS EM ESTUDO (AGLOMEX ACOUSTIC “PINTADO”)	64
5.3.8. RESULTADOS OBTIDOS PELO MÉTODO DO TUBO DE ONDAS ESTACIONÁRIAS	70
5.3.8.1. Valores do coeficiente de absorção sonora para densidade 60 kg/m ³	70
5.3.8.2. Valores do coeficiente de absorção sonora para densidade 90 kg/m ³	71
5.3.8.3. Valores do coeficiente de absorção sonora para densidade 120 kg/m ³	71
5.3.8.4. Valores do coeficiente de absorção sonora para densidade 200 kg/m ³	72
5.4. ENSAIOS NA CÂMARA REVERBERANTE	73
5.4.1. INTRODUÇÃO	73
5.4.2. CARACTERÍSTICAS DO MATERIAL UTILIZADO NOS OS ENSAIOS DA CÂMARA REVERBERANTE	73
5.4.3. MEIOS UTILIZADOS	74
5.4.4. CARACTERÍSTICAS DA CÂMARA REVERBERANTE	75
5.4.5. EQUIPAMENTO UTILIZADO	75
5.4.6. COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA DE ELEMENTOS ABSORVENTES PLANOS	75
5.4.7. COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA DE ELEMENTOS ABSORVENTES SUSPENSOS (BAFFLES)	80
5.4.8. RESULTADOS OBTIDOS PELO MÉTODO DA CÂMARA REVERBERANTE	90
5.4.8.1. Valores do Coeficiente de Absorção Sonora para o ensaio plano do Aglomex Acoustic “pintado” de espessura 100 mm e densidade 60 kg/m ³	90
5.4.8.2. Valores do Coeficiente de Absorção Sonora para o ensaio de Baffles, do Aglomex Acoustic “pintado” de espessura 100 mm e densidade 60 kg/m ³ , e afastamento D=1,0 e 0,6 m entre Baffles.	91
6. ANÁLISE DOS RESULTADOS	92
6.1. INTRODUÇÃO	92
6.2. COMPARAÇÃO ENTRE O MATERIAL AGLOMEX ACOUSTIC COM PINTURA E SEM PINTURA	92
6.2.1. EFEITOS DA PINTURA NO MATERIAL DE AGLOMEX ACOUSTIC COM D60E100 NO MÉTODO TEÓRICO DE MECHER	93
6.2.2. EFEITOS DA PINTURA NO MATERIAL DE AGLOMEX ACOUSTIC COM D60E100 NO MÉTODO DO TUBO DE ONDAS ESTACIONÁRIAS	93

6.2.3. EFEITOS DA PINTURA NO MATERIAL DE AGLOMEX ACOUSTIC COM D60E100 NO MÉTODO DA CÂMARA REVERBERANTE	94
--	----

6.3. COMPARAÇÃO ENTRE AS VÁRIAS METODOLOGIAS ESTUDADAS PARA O AGLOMEX ACOUSTIC “PINTADO” COM D60E100

95

6.3.1 COMPARAÇÃO ENTRE O MÉTODO TEÓRICO E O MÉTODO DA CÂMARA REVERBERANTE PARA O MATERIAL AGLOMEX ACOUSTIC “PINTADO” COM D60E100	96
--	----

6.3.1 COMPARAÇÃO ENTRE O MÉTODO DO TUBO DE ONDAS ESTACIONÁRIAS E O MÉTODO DA CÂMARA REVERBERANTE PARA O MATERIAL AGLOMEX ACOUSTIC “PINTADO” COM D60E100	96
---	----

6.3.2. RESUMO DOS RESULTADOS OBTIDOS PARA AS VÁRIAS METODOLOGIAS ESTUDADAS.....	97
---	----

6.4. ENQUADRAMENTO DO PRODUTO EM ESTUDO NO MERCADO ACTUAL (BAFFLES)

98

6.4.1 OUTRAS SOLUÇÕES DE BAFFLES ACÚSTICOS ENCONTRADAS NO MERCADO	103
---	-----

7. CONCLUSÕES

107

7.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS	107
---------------------------------	-----

7.2. PERSPECTIVAS DE DESENVOLVIMENTO FUTURO	108
---	-----

8. BIBLIOGRAFIA.....

109

ANEXOS

111

ANEXO 1 – NOTÍCIA RELACIONADA COM PROBLEMAS DE RUÍDO.....	113
---	-----

ANEXO 2 – FOLHAS DE CÁLCULO PARA DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA PELO TUBO DE ONDAS ESTACIONÁRIAS DO AGLOMEX ACOUSTIC “PINTADO” COM D60E100	117
--	-----

ANEXO 3 – BOLETIM DE ENSAIO DA CÂMARA REVERBERANTE.....	123
---	-----

ANEXO 4 – GRÁFICOS DE ABSORÇÃO SONORA	127
---	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1.1 – Esquema da Estrutura da tese.....	3
Fig. 2.1 – Ondas directas e reflectidas de um recinto	10
Fig. 2.2 – Diagrama de chegada das ondas directas e reflectidas ao receptor – reflectograma	11
Fig. 2.3 – Eliminação das ondas tardias para uma melhor compreensão na sala	12
Fig. 2.4 – Ilustração do tempo de reverberação	14
Fig. 2.5 – Tempos de reverberação ideais em função do uso e do volume	16
Fig. 2.6 -Valores do coeficiente de absorção sonora de uma alcatifa apoiada sobre uma laje de betão armado	20
Fig 2.7 – Valores do coeficiente de absorção sonora de um reposteiro de algodão com diferentes percentagens de franzido.....	20
Fig 2.8 – Tecto com fibras projectadas.....	21
Fig 2.9 – Valores do coeficiente de absorção sonora de uma massa porosa com espessuras nominais de 13 mm e 15 mm	21
Fig 2.10 - Lã mineral fibrada.....	22
Fig. 2.11 - Exemplo de aplicação de absorsores suspensos (Baffles) (imagem retirada da marca comercial UNGER Technologies.....	22
Fig 2.12 -Valores do coeficiente de absorção sonora do aglomerado negro e aglomerado composto de cortiça	23
Fig 2.13 – Amostra de aglomerado negro de cortiça.....	23
Fig. 2.14 – Esquema de uma membrana	24
Fig. 2.15 – Esquema de um ressoador	25
Fig. 2.16 – Exemplo de painel perfurado (ressoadores agrupados) para se aplicar nas paredes ou tectos.....	25
Fig 3.1 – Estrutura da resolução.....	28
Fig. 3.2 – Espumas de Aglomex Acoustic.....	29
Fig. 3.3 –provetes de Aglomex Acoustic (esq.) e Aglomex Acoustic “pintado” (dir.) para uso no Tubo de Ondas Estacionarias.....	30
Fig 4.1 - Onda estacionaria no tubo de impedância. A primeira pressão máxima deve ser determinada entre os dois primeiros mínimos	36
Fig. 5.1 – Imagem da interface do software.....	48
Fig 5.2. – Imagem da janela de input de dados do software.....	48
Fig. 5.3 – Imagem do output gráfico do software.....	49
Fig. 5.4– Imagem do equipamento utilizado para a determinação da resistência ao fluxo de ar.....	49

Fig. 5.5– Comparação de valores da resistência ao fluxo do ar, entre os diferentes materiais Aglomex Acoustic, Aglomex Acoustic “pintado” para Tubo de Ondas Estacionárias e Aglomex Acoustic “pintado” para a Câmara Reverberante.....	53
Fig. 5.6 - Gráfico dos valores do Coeficiente de Absorção Sonora, obtidos pelo Modelo Teórico, para a densidade de 60 kg/m^3 , com os valores de resistência ao fluxo de ar, medidos a partir dos provetes utilizados na Câmara Reverberante (CR), e com os provetes do Tubo de Ondas Estacionárias (tubo).	54
Fig. 5.7 - Gráfico dos valores do Coeficiente de Absorção Sonora, obtidos pelo Modelo Teórico, para a espessura ensaiada de 100mm e densidade 60 kg/m^3	55
Fig. 5.8 – Tubo de Ondas Estacionárias da F.E.U.P.	56
Fig. 5.9– Valores dos coeficientes de absorção medidos para a frequência dos 1250 Hz com utilização do tubo grande até aos 1000 Hz (T) e até aos 1250 Hz (t).....	58
Fig. 5.10 - Valores dos coeficientes de absorção sonora, para a amostra de densidade 30 kg/m^3 e espessura 30 mm, colocada de várias forma no Tubo de Ondas Estacionárias. “Dentro do Tubo” – amostra parcialmente no interior do Tubo de Ondas Estacionárias; “Afastada do tubo” – amostra colocada com afastamento à boca do Tubo de Ondas Estacionárias; “ Com Cx.-de-ar” – amostra colocada com uma caixa-de-ar na parte posterior; “Câmara Reverberante” – valores de referência..	60
Fig. 5.11– Valores dos coeficientes de absorção de uma amostra de Aglomex Acoustic “pintada”, para uma incidência normal, α_n , com caixa-de-ar variável.....	61
Fig. 5.12– Amostra de teste utilizada à base de espuma de poliuretano com 40 mm de espessura e 25 kg/m^3 de densidade.	62
Fig. 5.13– Gráfico dos valores do Coeficiente de Absorção Sonora da amostra de teste, para incidência normal e Câmara Reverberante.....	62
Fig. 5.14– Gráfico dos valores do Coeficiente de Absorção Sonora da amostra de teste, para incidência normal, difusa, e Câmara Reverberante.	63
Fig. 5.15 – Provetes de Aglomex Acoustic “pintado” com espessuras 30, 60 e 100 mm, e de diâmetros com 9.8 cm e 2.9 cm, para uso no Tubo de Ondas Estacionarias.	64
Fig. 5.16 – Número de medições efectuadas para a densidade 60 kg/m^3 com espessura de 30, 60, 100 mm.	65
Fig. 5.17– Gráfico dos valores do Coeficiente de Absorção Sonora das três amostras de densidade 60 kg/m^3 e espessura de 30 mm.	66
Fig. 5.18– Gráfico dos valores do Coeficiente de Absorção Sonora das três amostras de densidade 60 kg/m^3 e espessura de 60 mm.	66
Fig. 5.19– Gráfico dos valores do Coeficiente de Absorção Sonora das três amostras de densidade 60 kg/m^3 e espessura de 100 mm.	67
Fig. 5.20– Desvio entre o valor médio do Coeficiente de Absorção Sonora, e cada uma das réplicas de densidade 60 kg/m^3 e espessura de 30 mm.	67
Fig. 5.21– Desvio entre o valor médio do Coeficiente de Absorção Sonora, e cada uma das réplicas de densidade 60 kg/m^3 e espessura de 60 mm.	68

Fig. 5.22– Desvio entre o valor médio do Coeficiente de Absorção Sonora, e cada uma das réplicas de densidade 60 kg/m^3 e espessura de 100 mm.	68
Fig. 5.23– Número de medições efectuadas para as amostras de densidades de 90, 120 e 200 Kg/m^3 , e espessuras de 30, 60 e 100 mm.	69
Fig. 5.24 - Gráfico dos valores do Coeficiente de Absorção Sonora, obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias, para as espessuras de 30, 60 e 100 mm e densidade de 60 kg/m^3 , para uma incidência normal (α_n).	70
Fig. 5.25 - Gráfico dos valores do Coeficiente de Absorção Sonora, obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias, para as espessuras de 30, 60 e 100 mm e densidade de 90 kg/m^3 , para uma incidência normal (α_n).	71
Fig. 5.26 - Gráfico dos valores do Coeficiente de Absorção Sonora, obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias, para as espessuras de 30, 60 e 100 mm e densidade de 120 kg/m^3 , para uma incidência normal (α_n).	71
Fig. 5.27 - Gráfico dos valores do Coeficiente de Absorção Sonora, obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias, para as espessuras de 30, 60 e 100 mm e densidade de 200 kg/m^3 , para uma incidência normal (α_n).	72
Fig. 5.28 - Gráfico dos valores do Coeficiente de Absorção Sonora, obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias, para as espessuras de 30, 60 e 100 mm e densidade de 60 kg/m^3 , para um campo difuso (α_{difuso}).	74
Fig. 5.29 – Painel utilizado nos ensaios da Câmara Reverberante, de densidade 60 Kg/m^3 e espessura 100mm.	74
Fig. 5.30 - Esquema das Câmaras Reverberantes – corte transversal.	75
Fig. 5.31 – Esquema da montagem da amostra no pavimento (sem escala).	76
Fig. 5.32 – Foto do ensaio das espumas de Aglomex Acoustic “pintado” na Câmara Reverberante. .	76
Fig. 5.33 – Foto do ensaio das espumas de Aglomex Acoustic “pintado” na Câmara Reverberante. .	77
Fig. 5.34 – Exemplo de montagem do tipo J envolvida por uma barreira não absorvente (montagem em “poço”)	81
Fig. 5.35 - Exemplo de montagem do tipo J envolvida por uma barreira não absorvente (montagem em “poço profundo”)	81
Fig. 5.36 - Exemplo de montagem do tipo J envolvida por uma barreira não absorvente, usando a abordagem em “poço” (vista em corte)	82
Fig. 5.37- Exemplo de montagem do tipo J envolvida por uma barreira não absorvente, usando a abordagem em “poço profundo” (vista em corte)	82
Fig. 5.38- Esquema da montagem dos Baffles de Aglomex Acoustic “pintado” sem montagem tipo J de acordo com a norma EN ISO 354:2007.	83
Fig. 5.39 – Montagem “ em poço” efectuada com tijolos.	84
Fig. 5.40 – Planta da montagem tipo J em poço efectuada com D igual a 1,0 m (desenho sem escala).	85

Fig. 5.41 – Planta da montagem tipo J em poço efectuada com D igual a 0,6 m (desenho sem escala).	85
Fig. 5.42 – Colocação dos Baffles de Aglomex Acoustic “pintado” dentro da barreira não absorvente com D=1,0 m.	86
Fig. 5.43- Colocação dos Baffles de Aglomex Acoustic “pintado” dentro da barreira não absorvente com D=0,6m.	86
Fig. 5.45 - Gráfico dos valores do Coeficiente de Absorção Sonora, obtidos pelo Método da Câmara Reverberante para elementos absorventes planos, para a espessura ensaiada de 100mm e densidade 60 kg/m ³ .	90
Fig. 5.46 - Gráfico dos valores do Coeficiente de Absorção Sonora, obtidos pelo Método da Câmara Reverberante para os Baffles, com espessura de 100mm e densidade 60 kg/m ³ e afastamento D=1,0m e D=0,60 m entre Baffles.	91
Fig. 6.1- Gráfico dos valores do Coeficiente de Absorção Sonora, obtidos pelo Método Teórico de Mechel, para o Aglomex Acoustic “pintado” e “não pintado”, com espessura de 100mm e densidade 60 kg/m ³ .	93
Fig. 6.2- Gráfico dos valores do Coeficiente de Absorção Sonora para incidência normal, obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias, para o Aglomex Acoustic “pintado” e “não pintado”, com espessura de 100mm e densidade 60 kg/m ³ .	94
Fig. 6.3- Gráfico dos valores do Coeficiente de Absorção Sonora, obtidos pelo Método da Câmara Reverberante, para o Aglomex Acoustic “pintado” e “não pintado”, com espessura de 100mm e densidade 60 kg/m ³ .	95
Fig. 6.4- Gráfico dos valores do Coeficiente de Absorção Sonora, obtidos pelo Método da Câmara Reverberante e pelo Método Teórico de Mechel, para o Aglomex Acoustic “pintado” com espessura de 100mm e densidade 60 kg/m ³ .	96
Fig. 6.5- Gráfico dos valores do Coeficiente de Absorção Sonora, obtidos pelo Método da Câmara Reverberante e pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias, para o Aglomex Acoustic “pintado” com espessura de 100mm e densidade 60 kg/m ³ .	97
Fig. 6.6- Gráfico dos valores do Coeficiente de Absorção Sonora, obtidos pelos três métodos estudados, para o Aglomex Acoustic “pintado” com espessura de 100mm e densidade 60 kg/m ³ .	98
Fig. 6.7 – Colocação dos Baffles da SILÊNCIO dentro da barreira não absorvente com D=1,0 m.	99
Fig. 6.8 – Colocação dos Baffles da SILÊNCIO dentro da barreira não absorvente com D=0,6 m.	99
Fig. 6.9- Comparação dos resultados entre as duas soluções de Baffles ensaiadas.	101
Fig. 6.10- Curva de decaimento do tempo de reverberação para a frequência de 800 Hz, sem a amostra colocada na câmara.	101
Fig. 6.11- Curva de decaimento do tempo de reverberação para a frequência de 200 Hz, com a amostra colocada na câmara (D=1.0m).	102
Fig. 6.12- Correlação de valores entre as rectas traçadas no gráfico da curva e a própria curva de decaimento do tempo de reverberação do ensaio dos Baffles de Aglomex Acoustic “pintado” com afastamento D=1,0 m.	102

Fig. 6.13- Gráfico dos valores do Coeficiente de Absorção Sonora dos Baffles acústicos de designação comercial BAFFLESORBA ABSORVER ECO da empresa BAFFLESORBA™	103
Fig. 6.14- Gráfico dos valores do Coeficiente de Absorção Sonora dos Baffles acústicos de designação comercial BAFFLESORBA T ABSORVER da empresa BAFFLESORBA™	104
Fig. 6.15- Gráfico dos valores do Coeficiente de Absorção Sonora dos Baffles acústicos de designação comercial BAFFLESORBA RONDO ABSORVER da empresa BAFFLESORBA™	104
Fig. 6.16- Gráfico dos valores do Coeficiente de Absorção Sonora dos Baffles acústicos de designação comercial SONEX ACOUSTIC BAFFLE da empresa SONEX ACOUSTIC ^R	105
Fig. 6.17- Gráfico dos valores do Coeficiente de Absorção Sonora dos Baffles acústicos de designação comercial UNGER TECHNOLOGIES PVC BAFFLE da empresa UNGER TECHNOLOGIES	105

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 – Lista de densidades comercializadas do material Aglomex Acoustic.....	30
Tabela 3.2 – Lista da porosidade e resistência ao fluxo do ar do material Aglomex Acoustic.....	31
Tabela 4.2 - Requisitos para os valores da Temperatura e da Humidade Relativa durante a medição do Tempo de Reverberação	41
Tabela 5.1 – Valores do ponto de transição E_x	47
Tabela 5.2 – Dados de input no software do material Aglomex Acoustic “pintado” inicialmente determinados.....	51
Tabela 5.3 – Dados de input no software do material Aglomex Acoustic “pintado”, D60E60, determinados a partir das amostras da Câmara Reverberante (valores adoptados para o calculo deste Modelo Teórico).	52
Tabela 5.4 – Gama de frequências que se podem medir com o Tubo de Ondas Estacionárias disponível.	57
Tabela 5.5 – Atenuação do tubo Ko” considerada para o cálculo dos valores de absorção sonora... ..	59
Tabela 5.6 – Dimensões da caixa-de-ar imposta pela norma.	59
Tabela 5.7 – Área de absorção sonora equivalente da Câmara Reverberante, sem amostra (A1).....	77
Tabela 5.8 – Verificação da área de absorção sonora equivalente máxima admitida, para a Câmara Reverberante vazia.	78
Tabela 5.9 – Cumprimento das disposições legais em vigor, para as distâncias relativas entre os diversos elementos utilizados no ensaio.....	79
Tabela 5.10 – Cumprimento das disposições legais em vigor, para a Humidade Relativa e a Temperatura.....	79
Tabela 5.11 – Coeficiente de Absorção Sonora do Aglomex Acoustic “pintado”, de D60E100.	80
Tabela 5.12 – Resultados obtidos do Coeficiente de Absorção Sonora, para o Aglomex Acoustic “pintado” sem a consideração da barreira não absorvente.	83
Tabela 5.13 – Área de absorção sonora equivalente da Câmara Reverberante, sem amostra (A1)....	87
Tabela 5.14 – Verificação da área de absorção sonora equivalente máxima admitida, para a Câmara Reverberante vazia	88
Tabela 5.15 – Resultados dos Coeficientes de Absorção Sonora obtidos para os Baffles de Aglomex Acoustic, com D=1,0 m.	89
Tabela 5.16 – Resultados dos Coeficientes de Absorção Sonora obtidos para os Baffles de Aglomex Acoustic, com D=0,6 m.	89
Tabela 6.1 – Resultados obtidos do Coeficiente de Absorção Sonora para os Baffles da SILÊNCIO, com D=1,0 m.	100
Tabela 6.2 – Resultados obtidos do Coeficiente de Absorção Sonora para os Baffles da SILÊNCIO, com D=0,6 m.	100

1

INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O ruído como poluente atinge o Homem a toda a hora, em especial aquele que vive nos centros urbanos, seja na rua com o tráfego urbano, seja no local de trabalho, ou mesmo na sua própria casa, a qual não possui muitas das vezes as condições ideais de conforto acústico. Esta situação tem levado a um aumento significativo dos casos de indivíduos com sinais de stress, pelo que é considerada por muitos como a doença do século XXI.

Neste contexto a qualidade e conforto proporcionada pelos edifícios tem um papel vital para o bem-estar e qualidade de vida dos seus utentes.

Hoje em dia, e felizmente, o critério de qualidade de conforto acústico como parâmetro de qualidade dos edifícios para habitação, ou mesmo para o exercício de outras actividades, é um factor de preocupação dos projectistas, durante todo o processo construtivo. Também aqui, e como na maioria das situações, vale mais prevenir do que remediar, sendo o remédio normalmente de eficácia reduzida e por vezes dispendiosa.

Situações indesejáveis como são o caso de uma palestra inaudível num auditório, ou o ruído ensurdecedor provocado por uma discoteca vizinha, podem ser evitadas, desde que sejam estudadas e analisadas previamente. Importa por isso conhecer bem as propriedades acústicas dos materiais, elementos e componentes utilizados nos edifícios.

Um dos objectivos deste trabalho é a de apelar à necessidade do conhecimento profundo das propriedades acústicas dos materiais a empregar na construção, nomeadamente a absorção sonora.

Os resultados obtidos pelos diferentes métodos de obtenção do Coeficiente de Absorção Sonora, devem ser equacionados, independentemente da maior ou menor correlação dos valores obtidos. O importante é pois aprofundar o conhecimento de toda esta temática, e de interiorizar toda a lógica do seu funcionamento.

1.2. ENQUADRAMENTO DO TRABALHO

Pretende-se com o presente trabalho, estudar um material resiliente à base de espumas de poliuretano, sob a forma de elementos absorventes suspensos, ou também conhecidos por Baffles.

Iremos proceder à pintura deste material, uma vez que este não apresenta imagem decorativa e pretende-se a sua colocação a vista sob a forma de elemento suspenso.

Avaliaremos os efeitos que a pintura tem neste tipo de material, de uma forma simplificada, e aproveitando o facto de este material já se encontrar estudado e caracterizado acusticamente quanto à absorção sonora.

Procederemos então à determinação do valor do coeficiente de absorção sonora deste material pintado através de metodologias teóricas já existentes, e através de duas metodologias experimentais bem distintas: o Método do Tubo de Ondas Estacionárias e o Método da Câmara Reverberante.

Um dos objectivos deste trabalho assenta desta forma na comparação dos coeficientes de absorção sonora do material com pintura e sem pintura, e das várias metodologias utilizadas.

Comparados os materiais e as metodologias, passaremos à caracterização da absorção Sonora, sob a forma de elementos absorventes suspensos (Baffles), utilizando uma vez mais a Câmara Reverberante.

Como forma de avaliar uma possível integração no mercado deste material, iremos fazer uma pequena comparação com outros Baffles já existentes no mercado.

1.3. ESTRUTURA DA TESE

O presente trabalho encontra-se dividido em 7 capítulos, referências bibliográficas e anexos.

No capítulo 1 faz-se uma introdução geral ao tema abordado no presente trabalho, descrevendo-se os objectivos do trabalho realizado, e estrutura organizativa.

No capítulo 2 aborda-se o estado do conhecimento da Acústica, fazendo referência histórica sobre o tema, para depois se abordarem aspectos ligados à legislação em vigor em Portugal e aos fenómenos teóricos ligados mais com o tema do presente trabalho. É o caso do comportamento acústico dos recintos fechados, e dos processos de absorção sonora existentes bem como dos materiais existentes para a correcção acústica de recintos.

No capítulo 3 apresenta-se o material que se irá estudar no presente trabalho e suas características principais. Apresenta-se ainda um esquema geral do procedimento efectuado, para a sua caracterização acústica.

No capítulo 4 aborda-se a teoria da absorção sonora, referindo-se algumas metodologias teóricas existentes para o cálculo da mesma, bem como dos métodos experimentais utilizados para o mesmo fim: Tubo de Ondas Estacionárias e o Método da Câmara Reverberante.

No capítulo 5 desenvolve-se em concreto os métodos abordados no capítulo anterior, de forma a obter os valores do Coeficiente de Absorção Sonora, para cada uma das metodologias, do material em estudo. No final do capítulo estuda-se o material como elemento absorvente suspenso (Baffle).

No capítulo 6 compara-se os resultados obtidos entre as várias metodologias, tirando as principais conclusões dessa mesma análise. No final do capítulo enquadra-se o produto em estudo no mercado actual (Baffles).

No capítulo 7 apresenta-se as principais conclusões que se retiram após a realização deste trabalho, fazendo alusão às dificuldades encontradas na sua execução, deixando em aberto propostas de desenvolvimento e investigação futuras.

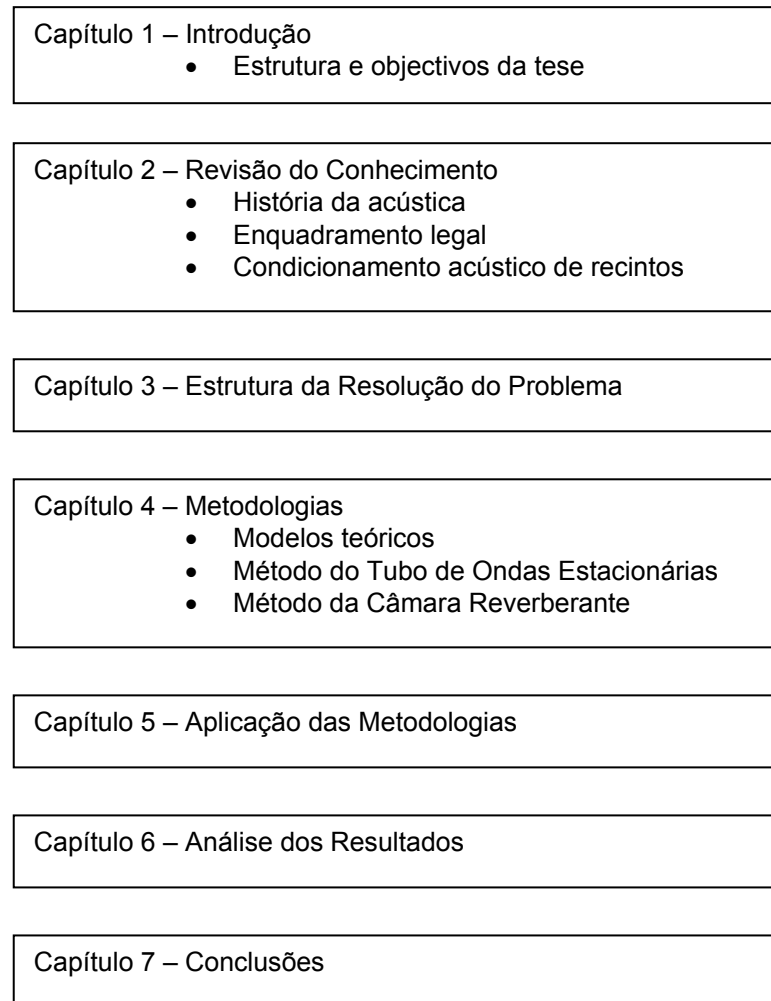


Fig. 1.1 – Esquema da Estrutura da tese

2

REVISÃO DO CONHECIMENTO

2.1. INTRODUÇÃO

Pretende-se com este capítulo sintetizar a evolução do conhecimento na área da acústica arquitectónica, desde a antiguidade até aos nossos dias, não deixando de abordar os problemas que lhe estão associados, dos conceitos teóricos necessários para o seu estudo e compreensão, mais concretamente dos fenómenos acústicos que ocorrem em recintos fechados, assim como as formas e técnicas de os corrigir uma vez que o principal objectivo deste trabalho é o de estudar o comportamento acústico de um material com vista a uma possível utilização na correcção acústica de recintos (elementos absorventes suspensos, Baffles).

Nesta introdução, é ainda apresentada uma ideia geral sobre acústica arquitectónica. A acústica arquitectónica é o ramo da acústica aplicada, a qual trata dos problemas inerentes à construção dos vários tipos de edifícios, em especial aqueles onde o tratamento acústico é mais importante, como é o caso dos locais para grandes audiências (salas de grandes espectáculos, igrejas, tribunais, etc.). As preocupações deste ramo da acústica centram-se fundamentalmente na localização, construção e organização dos edifícios, de forma a evitar ou pelo menos, minimizar os inconvenientes resultantes de um ambiente acústico inadequado. Com isto pretende-se proporcionar aos edifícios não só conforto visual e estético, mas também conforto acústico que se considere adequado às actividades a eles destinados.

Um dos problemas que se verificava nos projectos de construção, mas que felizmente tem vindo a ser ultrapassado, era o do completo desprezo da acústica do edifício por parte dos arquitectos, onde o principal e único objectivo, era o de criar uma “sala” com estética e por isso com pouca funcionalidade. Nos anos 80 as salas de espectáculos, não tinham qualquer projecto acústico, ou eram muito “deficientes” no que toca a este aspecto. Hoje em dia, já se encontram alguns projectos de grande investimento acústico, como são os casos mais recentes da Casa da Música e do novo Santuário de Fátima.

De seguida apresentar-se-á uma breve evolução histórica da acústica em geral, desde o tempo da Grécia antiga até aos decorrer dos nossos dias, abordando também a evolução histórica da legislação em Portugal.

Por último introduzir-se-á os principais fundamentos teóricos para a compreensão deste presente trabalho, como é o caso do comportamento acústico de recintos fechados, dos fenómenos existentes de absorção sonora e dos materiais existentes para a correcção acústica.

2.2. ABORDAGEM HISTÓRICA

A acústica sempre teve uma forte ligação com a construção e arquitectura. Foi no período Grego que surgiram os primeiros anfiteatros exteriores. Estes localizavam-se em colinas com a finalidade de reduzir o ruído de fundo, bem como de impedir que as cabeças das pessoas interferissem com a transmissão directa do som para os locais mais distantes. Houve ainda a percepção de construir os anfiteatros com uma forma semicircular, que permitiria assim uma maior aproximação dos espectadores ao palco [1].

Um dos primeiros filósofos gregos a estudar a origem do som, foi Pitágoras (VI a.C.). Através do estudo da relação entre o comprimento de cordas em vibração e o som produzido, viria a dar início à “matematização” do som. Também o filósofo Aristóteles seria um dos primeiros a tentar explicar o som como consequência da vibração dos corpos [2].

Outra civilização que contribuiu para o campo da acústica, foi a romana. Foi o caso do romano Marcus Vitruvius Pollio (27 a.C.) que sugeriu em “*De Architectura*”, várias soluções com vista ao melhoramento das condições acústicas de teatros como por exemplo o uso de vasos ressonantes [1].

No século XVII o monge francês Marin Mersene (1588-1648) viria a determinar a velocidade do som através do tempo de retorno de um eco [1]. É neste período que surgem as chamadas academias científicas, da qual se destaca a “*Academia del Cimento*”, a qual se dedicou ao estudo dos problemas formulados por Galileu Galilei (1564-1642), bem como a determinação da velocidade do som, já realizada por Merssene [3].

O século XVIII foi o período da história em que houve uma maior revolução ao nível da acústica teórica. O matemático Brook Taylor desenvolveu modelos de cálculo capazes de descrever a vibração em cordas. Logo a seguir surgem também trabalhos de Isaac Newton e Gottfried Leibniz, que embora não relacionados com a acústica, permitiriam depois ao francês Jean Le Rond d’Alembert chegar à derivação da equação da onda.

O desenvolvimento da acústica como ciência, teve início com o trabalho de Chladini (1758 – 1827). Sem recurso à matemática, observou a propagação de sons em metais, chegando mesmo a introduzir uma técnica de observação de ondas estacionárias em painéis, através da areia.

A análise de ondas sonoras e sua representação tornou-se possível através de Jean-Baptiste-Joseph Fourier, que através do estudo do calor, apresenta as séries que têm o seu nome, estabelecendo com estas a base matemática da acústica fisiológica e musical [4].

Nos inícios do século XIX George Simon Ohm inicia as suas teorias sobre a sensibilidade do ouvido humano. Para Ohm o ouvido só era sensível às vibrações sinusoidais, e por isso todo o som perceptível seria composto por uma série de tons.

Os problemas acústicos sobre análise harmónica originados por Ohm nas suas teorias viriam a ser resolvidas por Hermam Von Helmholtz, com a sua “Teoria de Ressonância do ouvido”, editada em 1867 [1].

O enunciado dos princípios acústicos teóricos deve-se a Rayleigh, em 1877 e 1878 com a publicação de dois volumes, “*theory of sound*”, e às primeiras aplicações à arquitectura a W.C.Sabine, no início do século XX, o qual viria a desenvolver a sua já clássica Equação da Reverberação [5]. Sabine é considerado o pai da acústica arquitectónica desenvolvendo estudos sobre a acústica do auditório da Universidade onde leccionava (Harvard, Boston) elaborando ainda o projecto de uma das melhores salas de música de todos os tempos, a Boston Symphony Hall.

Frederick Vinton Hunt com o desenvolvimento e aperfeiçoamento de um aparelho capaz de traçar com precisão as curvas de decaimento do som, estudou o comportamento de campos sonoros de espaços fechados. Em 1936 Philip M. Morse do instituto de Tecnologia de Massachussetts, publicou “*Vibration and Sound*”, onde explicou a teoria por trás dos modos de vibração em recintos rectangulares.

Só em meados do século XX, com o desenvolvimento de novos aparelhos mais precisos, capazes de desenvolver novas teorias e métodos, é que a acústica passaria a ser efectivamente uma ciência da engenharia. Todas estas novas descobertas permitiriam aprofundar o estudo do campo sonoro de recintos fechados. Graças a estes avanços, efectuaram-se estudos sobre o significado na difusão do som nos auditórios, como por exemplo a relação de energias sonoras directa/reverberante, tempo óptimo de reverberação para diferentes dimensões e usos de auditórios, relações óptimas entre tempos de reverberação com diferentes frequências, etc.

Com a chegada da 2ª Guerra Mundial, cresce a necessidade de se obterem melhores telecomunicações, quer na aviação, quer nos veículos de combate, bem como na detecção de submarinos submersos, surgindo com essa necessidade grandes laboratórios de desenvolvimento de equipamentos e tecnologias, levando a que o campo da acústica atingisse proporções nunca antes imagináveis [6].

No final da guerra a construção “dispara” em todo o mundo. Constroem-se novos edifícios, nomeadamente grandes salas de espectáculos, e a necessidade de realizar novos estudos relativos aos requisitos acústicos do campo sonoro das salas também aumenta.

Com o crescer dos centros urbanos, aumentou também o ruído urbano, sendo que o isolamento dos edifícios passou a ser factor cada vez mais importante, no que diz respeito ao conforto acústico, ocupando juntamente com outros critérios de qualidade, factor a ter em conta nos projectos de edifícios.

Até dado momento a acústica arquitectónica havia-se desenvolvido apenas por princípios e fórmulas gerais determinadas unicamente pela via experimental. Surgiu com isso novas teorias relativas ao comportamento acústico em recintos fechados, permitindo criar uma vasta gama de regras e fórmulas capazes de explicarem estes fenómenos acústicos inerentes aos recintos fechados.

Em salas de grande volume, nem sempre se consegue obter uma boa acústica. O tempo que o som demora a atingir o receptor, bem como o do tempo de reverberação do espaço produzem um efeito desagradável. Durante muitos anos assumiu-se que os tempos de reverberação ideais para as diversas funções ou actividades dos locais eram dependentes do volume. Actualmente tal metodologia já caiu em desuso para a maioria dos locais: *“O tempo de reverberação constitui a grandeza com mais frequência para caracterizar a acústica de salas, embora de há muito seja reconhecido que a preferência pelo tempo de reverberação resulta, essencialmente, da comodidade de emprego e da não disponibilidade de um critério eficaz e sintético de apreciação”* [7].

Em determinados espaços a comunicação oral impõe características acústicas específicas como é no caso dos auditórios. A uniformidade da distribuição do campo sonoro e a inteligibilidade da mensagem acústica são requisitos fundamentais. Quanto às salas de música, temos de ter em conta que as condições acústicas influenciam bastante todo o processo musical, desde a composição, à execução e à audição, e que por esse motivo, devem ser alvo de um tratamento acústico rigoroso e cauteloso.

A acústica arquitectónica é por todas estas razões um factor cada vez mais a ter em conta nos projectos dos edifícios de hoje em dia. Nestes últimos anos, ocorreu um enorme desenvolvimento nesta área da acústica arquitectónica, assim como em muitas diversas áreas de interesse. Refere-se de seguida algumas das secções especializadas desta ciência, que têm vindo a ser objecto de estudo: Acústica de

Edifícios; Acústica Ambiental; Acústica Fisiológica e Psicológica; Acústica Musical; Acústica Subaquática; Bioacústica; Electroacústica, entre outros.

Conclui-se assim, que esta ciência tem vindo a ser alvo de atenção das mais diversas áreas, como por exemplo a Biologia, a Medicina e a Engenharia, sendo que quanto maior for o seu desenvolvimento, melhor será certamente a nossa qualidade de vida.

2.3. ENQUADRAMENTO LEGAL

O ruído como poluidor, emitido pelos meios de transporte, pelos vizinhos ou mesmo no local de trabalho, leva a inúmeros problemas nomeadamente situações de stress, nervosismo, o que por sua vez leva a transtornos psicológicos, doenças cardiovasculares, etc. São por isso inúmeros os problemas associados ao ruído na sociedade. No Anexo 1 apresenta-se uma notícia relacionada com os problemas de ruído.

Torna-se por isso imprescindível a regulamentação neste campo, cabendo por isso ao estado a criação de leis capazes de minimizar os efeitos negativos do ruído, garantindo deste modo uma melhor qualidade de vida todos os cidadãos.

Desde cedo que na constituição Portuguesa de 2 de Abril de 1976, são salvaguardadas ao abrigo do artigo 66º, direitos e deveres directamente relacionados com o ambiente e qualidade de vida dos cidadãos:

“1. Todos têm direito a um ambiente de vida humano, sadio e ecologicamente equilibrado e o dever de o defender.

2. Para assegurar o direito ao ambiente, no quadro de um desenvolvimento sustentável, incumbe ao Estado, por meio de organismos próprios e com o envolvimento e a participação dos cidadãos:

a) Prevenir e controlar a poluição e os seus efeitos e as formas prejudiciais de erosão; (...).”

É com base nestes princípios enunciados anteriormente que a 7 de Abril de 1987 se cria a Lei de Bases do Ambiente, no qual se faz referencia pela primeira vez ao ruído (artigo 22º):

“1 – A luta contra o ruído visa a salvaguarda da saúde e bem-estar das populações e faz-se através, designadamente:

a) Da normalização dos métodos de medida do ruído;

b) Do estabelecimento de níveis sonoros máximos, tendo em conta os avanços científicos e tecnológicos nesta matéria;

c) Da redução do nível sonoro na origem, através da fixação de normas de emissão aplicáveis as diferentes fontes;

d) Dos incentivos à utilização de equipamentos cuja produção de ruídos esteja contida dentro dos níveis máximos admissíveis para cada caso;

e) Da obrigação dos fabricantes de máquinas e electro-domésticos apresentarem informações detalhadas, homologadas, sobre o nível sonoro dos mesmos nas instruções de uso e facilitarem a execução das inspecções oficiais;

f) Da introdução nas autorizações de construção de edifícios, utilização de equipamento ou exercício de actividades da obrigatoriedade de adoptar medidas preventivas para eliminação da propagação do ruído exterior e interior, bem como das trepidações;

g) *Da sensibilização da opinião publica para os problemas de ruído;*

h) *Da localização adequada no território das actividades causadoras de ruído.*

2- *Os veículos motorizados, incluindo as embarcações, as aeronaves e os transportes ferroviários estão sujeitos a homologação e controle no que se refere às características do ruído que produzem.*

3- *Os avisadores sonoros estão sujeitos a homologação e controle no que se refere às características dos sinais acústicos que produzem.*

4- *Os equipamentos electro-mecânicos deverão ter especificadas as características do ruído que produzem. (...)*[8]

Surge passado pouco tempo com o DL 251/87 de 24 de Julho de 1987, o primeiro documento em Portugal, com o objectivo de enquadrar e dar resposta ao problema da poluição sonora já enunciado na Lei de Bases do Ambiente, que deu pelo nome de “Regulamento Geral Sobre o Ruído”, onde se ditou estratégias e prevenções com intuito de salvarguardar a saúde e qualidade de vida das pessoas.

Decorridos dois anos desde a aprovação do Regulamento Geral do Ruído, torna-se necessário introduzir pequenas alterações ao citado regulamento, com o intuito de “ (...) esclarecer alguns aspectos sobre os quais foram suscitados questões e tornar mais exequíveis algumas das suas disposições (...)”[9], aprovando-se para isso o DL292/89 de 2 de Setembro.

Este regulamento manteve-se em vigor durante aproximadamente 12 anos, até ao aparecimento de um novo regulamento a 14 de Maio de 2001 com o DL 292/2000 de 14 de Novembro, que tem com o objectivo de dar resposta à crescente exigência nos padrões de qualidade acústica, já que se demonstrou uma vez mais que o seu antecessor se mostrava “ (...) claramente insuficiente para a salvaguarda da saúde e do bem estar das pessoas (...)” e começava a existir uma “ (...) conflitualidade social gerada por situações ligadas ao ruído (...)” [10]. Preconizou-se ainda uma nova designação, para além de se manter a designação primeiramente usada em 1987 (Regulamento Geral do Ruído), “ (...) com o intuito de salientar a força jurídica do normativo (...)” [10]: Regime Legal sobre a Poluição Sonora.

Novamente passado dois anos, e na sequência da aprovação da lei nº 159/99 de 14 de Setembro, que estabelece o quadro de transferências de atribuições e competências para as autarquias locais aprova-se o DL 259/2002 de 23 de Novembro visando conferir aos municípios “ (...) um papel mais relevante, nomeadamente em matéria de ruído de vizinhança (...)” [11].

Três anos mais tarde, na sequência da “ (...) transposição da directiva nº 2002/497CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de Junho, relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente, tornou-se premente proceder a ajustamentos ao regime legal sobre poluição sonora (...) de modo a compatibilizá-lo com as normas ora aprovadas, em especial a adopção de indicadores de ruído ambiente harmonizados. (...) “. Surge então o DL 9/2007 de 17 de Janeiro, o qual se encontra actualmente em vigor, ao qual se conferiu novamente e exclusivamente a primeira designação dada em 1987: Regulamento Geral do Ruído.

O Regulamento Geral do Ruído remete para diversos regulamentos complementares como por exemplo o ruído no trabalho, ruído nos equipamentos exteriores, ruído nos aeroportos e requisitos acústicos de edifícios.

No âmbito do nosso trabalho, importa salientar o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) que foi recentemente actualizado pelo DL 96/2008 de 9 de Junho o novo RRAE, uma vez que se tornou necessário compatibilizar a versão anterior de 2002 com o novo Regulamento Geral do Ruído de 2007. Tem como principal objectivo “ (...) melhorar as condições de qualidade acústica dos

edifícios”, sendo aplicado aos seguintes edifícios, consoante os usos a que estes se destinam (edifícios esses habitacionais, comerciais, industriais, hospitalares, escolares, etc.) [12].

Para cumprir tais objectivos, o RRAE fixa parâmetros:

- a) Isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado, $D_{2,m,nT}$;
- b) Isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado, D_{nT} ;
- c) Nível sonoro de percussão padronizado, L'_{nT} ;
- d) Nível de avaliação padronizado, $L_{Ar nT}$;
- e) Tempo de Reverberação, T “ [12]

Além dos parâmetros atrás enunciados, também um parâmetro de grande importância para o presente trabalho é fixado neste regulamento: “ (...) Área de absorção sonora equivalente, A (...) ”.

Podemos com isto concluir que as propriedades acústicas dos materiais, nomeadamente os seus coeficientes de absorção sonora têm um papel preponderante para o cumprimento do RRAE, no que diz respeito não só à verificação dos tempos de reverberação máximos admissíveis, mas também às áreas de absorção sonora equivalentes mínimas aceitáveis.

2.4. CONDICIONAMENTO ACÚSTICO DE RECINTOS

Uma fonte sonora em funcionamento cria ondas sonoras que se propagam em todas as direcções a partir desta. Estas ondas ao encontrarem um obstáculo ou uma superfície, como por exemplo uma parede, pavimento ou tecto alteram a sua direcção, isto é, são reflectidas. No caso teórico da superfície ser completamente impermeável ao ar e perfeitamente rígida, não haverá perda de energia na reflexão. Sendo assim duas ondas sonoras, provenientes de fontes com iguais potências sonoras, produzem a mesma pressão num dado ponto do recinto após reflexão. Na realidade isto não se verifica, nenhuma superfície é um reflector perfeito. Em cada reflexão parte da energia dissipa-se, ou porque a onda penetra nas fibras do material (no caso deste ser poroso), ou então porque a superfície entra em movimento devido a solicitação da onda. Deste modo qualquer onda reflectida possui sempre menor energia do que a onda incidente, ou seja, parte da onda incidente é absorvida pela superfície [13].

Uma fonte sonora produz ondas sonoras as quais vão chegando progressivamente ao receptor ao longo do tempo. A primeira onda sonora a atingir o receptor é o “som directo”, seguindo-se-lhe as ondas que são reflectidas nas superfícies da envolvente, “som reflectido” (Fig. 2.1).

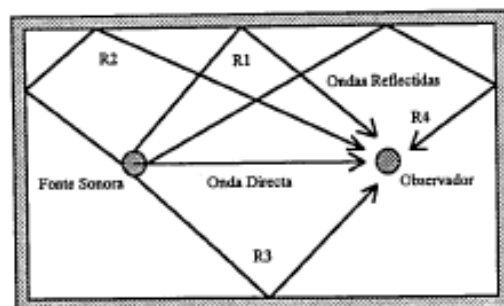


Fig. 2.1 – Ondas directas e reflectidas de um recinto [13].

O campo sonoro determina-se a partir da potência da fonte sonora e das propriedades reflectoras das superfícies do recinto. Quando existe uma reflexão perfeita, o número de reflexões tende para infinito, situação que na realidade não se verifica, como já referimos anteriormente. No entanto, é de assinalar que a combinação do som directo com o som reflectido pode por vezes elevar muito o nível de pressão sonora num dado ponto, caso as superfícies do recinto sejam muito reflectoras, situação que pode até ser favorável dependendo da utilização e características do recinto. Com isto podemos afirmar que o nível de pressão sonora no interior de um recinto não é uniforme em virtude da sobreposição de ondas que provem de todas as direcções.

Supondo agora que o tamanho da fonte é pequeno comparado com as dimensões do recinto, vamos encontrar diferenças entre o efeito do som directo e o da combinação deste com o reflectido. Em pontos próximos da fonte predominará o som directo, enquanto que nos pontos mais afastados predominará o som reflectido, sendo esta zona denominada por campo reverberante. A potência acústica, o tamanho e característica direccional da fonte, associada a absorção das superfícies do recinto, influenciam o campo sonoro produzido no recinto.

As ondas sonoras são ainda classificadas consoante o tempo que demoram a atingir o receptor. As ondas que chegam nos primeiros 80 ms são designadas de som inicial (*early sound*), e as restantes de som tardio (*late sound*). Ao intervalo de tempo entre a chegada do som directo e a primeira reflexão denomina-se de “tempo de atraso inicial” (*inicial time delay gap – ITDG*). Podemos ver a representação das reflexões num gráfico tempo vs. Intensidade sonora, denominado de reflectograma na Fig. 2.2.

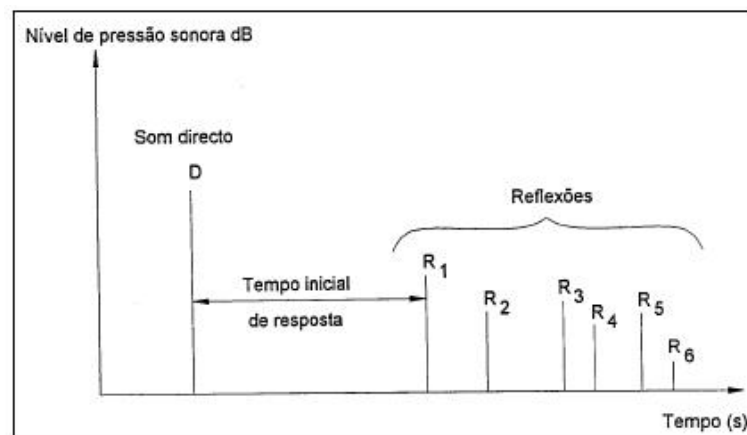


Fig. 2.2 – Diagrama de chegada das ondas directas e reflectidas ao receptor – reflectograma [13].

Nem todas as reflexões são favoráveis à criação de um espaço acusticamente agradável. Algumas dessas reflexões são as designadas de ecos. O eco é então uma onda sonora reflectida atrasada que chega ao ouvido humano com força suficientemente para ser claramente perceptível. Tal efeito pode acontecer em salas muito grandes com as ondas reflectidas nas paredes mais afastadas. Outro tipo de defeito acústico é o eco repetido (*flutter echo*). Este efeito ocorre quando o som é emitido entre duas paredes paralelas não muito afastadas, reflectindo constantemente o som inicial. Acontece muito em auditórios com paredes laterais muito pouco absorventes e próximas umas das outras [14].

Existem várias formas de eliminar as ondas tardias, nomeadamente os ecos. Essas técnicas vão desde aumentar a absorção do local, à colocação de difusores, ou mesmo à alteração do ângulo das superfícies, que permitem desviar as trajetórias das ondas para locais não prejudiciais. No entanto, o aumento da absorção sonora leva a uma diminuição do campo reverberante, que por sua vez leva a uma diminuição do nível de intensidade sonora perceptível do espaço situação nem sempre

conveniente. Os difusores não eliminam as ondas sonoras tardias, o que permite que o campo reverberante se mantenha elevado, assim como o nível de intensidade sonora perceptível do espaço, situação que também nem sempre será a mais indicada. A melhor forma será sempre a de transformar as ondas tardias em ondas iniciais, ajudando assim na compreensão do som directo, visível na Fig. 2.3. Com isto conseguimos obter um tempo ideal entre a chegada do som directo e a primeira onda reflectida, que levará a um aumento da compreensão da palavra [15].

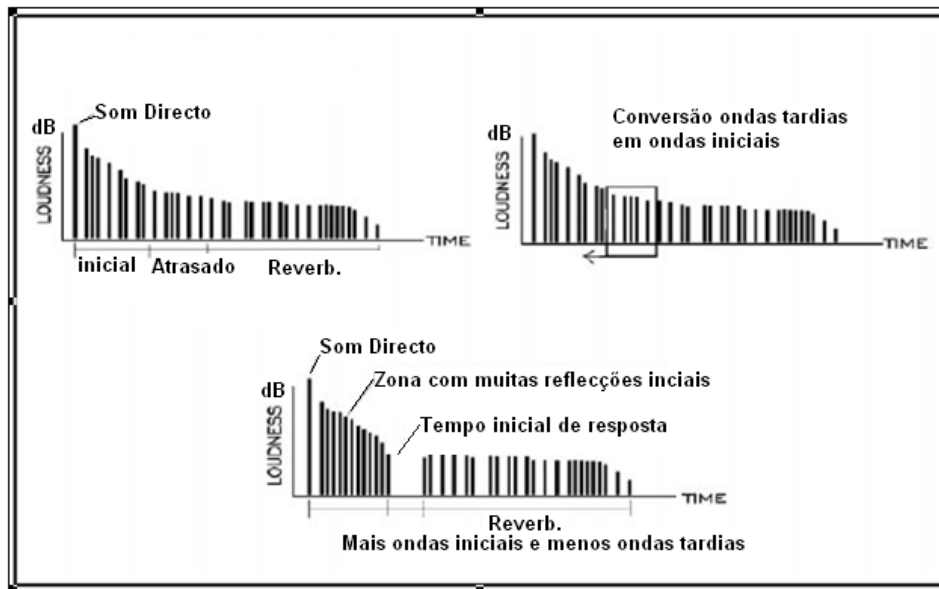


Fig. 2.3 – Eliminação das ondas tardias para uma melhor compreensão na sala [15].

2.4.1. CAMPO SONORO EM RECINTOS FECHADOS

A descrição do campo sonoro no interior de um recinto fechado não constitui tarefa fácil, por um lado devido à natureza matemática e física para o tratamento do problema, por outro pela complexidade em traduzir quantitativamente os processos de dissipação de energia sonora no ar e na envolvente, com forma geométrica muitas vezes com contornos complexos, e em estimar as alterações das características direccionais das fontes sonoras quando emitem em recintos fechados [7].

Existem três teorias básicas para a descrição do campo sonoro:

- Teoria Ondulatória.
- Teoria Geométrica.
- Teoria Estatística.

2.4.1.1. Teoria Ondulatória

A teoria ondulatória baseia-se no princípio de que um recinto se comporta como um sistema vibratório que é excitado mediante o sinal de uma fonte sonora. Estuda-se o fenómeno físico real que tem lugar no recinto e obtém-se as expressões que permitem conhecer as frequências dos modos próprios, assim como as densidades do espectro de frequências, sendo por isso possível descrever o campo sonoro em termos de uma distribuição espectral da pressão sonora. Esta teoria é normalmente utilizada para recintos de dimensões reduzidas, com contornos geométricos simples, e com absorção uniforme, onde

a “descrição ondulatória” permite por em evidencia e fornecer os princípios de explicação para os fenómenos que ocorrem em grandes espaços, onde essa “descrição ondulatória” não é possível [7].

2.4.1.2. Teoria Geométrica

A teoria Geométrica aplica-se quando não se pode aplicar a teoria estatística. O campo sonoro é considerado como uma combinação de raios, construídos a partir das leis da acústica geométrica. Desta forma, a onda sonora foi substituída por um raio, pelo qual se propaga a energia sonora. Com esta teoria pode-se determinar os pontos de incidência dos raios sobre as superfícies limite do recinto, assim como as perdas de energia devidas à absorção dos materiais que as recobrem. Isto tem uma enorme vantagem quando as superfícies interiores estão cobertas com materiais com diferentes propriedades absorventes. Neste caso, o estudo do campo sonoro do recinto é efectuado pela medição da energia sonora, determinada num ponto qualquer, calculando-se as perdas de todos os raios que depois de reflectidos passam por esse ponto. A teoria geométrica permite determinar a posição de superfícies prejudiciais para as condições acústicas da sala, as quais podem produzir concentração elevada de energia. Esta teoria permite construir diagramas que mostram os caminhos dos raios sonoros reflectidos. Esta teoria não é apenas utilizada para localizar e anular os problemas devidos à reflexões de ondas sonoras, pode também ser útil para intensificar o som em determinados pontos com o atraso necessário caso seja necessário, melhorando assim a audição nesse local, com o recurso à reflexão de ondas sonoras [16].

2.4.1.3. Teoria Estatística

A teoria estatística é aquela que tem maior aplicação nos recintos que encontramos hoje em dia. Para que esta teoria possa ser aplicável, os recintos devem possuir determinadas características:

- absorção sonora apreciável;
- distribuição de forma irregular da absorção;
- existência de um campo sonoro difuso em que a descrição do campo sonoro estabelecido possa ser feita através da média espacial do valor eficaz da pressão sonora no interior do recinto, verificando-se a propagação da energia em todos os sentidos, com incidência no contorno sob todos os ângulos possíveis. Nesta situação o campo sonoro difuso, é semelhante á criada por uma onda hipotética, em propagação livre no recinto, após sofrer sucessíveis e múltiplas reflexões no contorno.

Esta descrição estatística permite obter equações simples e de fácil aplicação ao estudo de recintos, com validade suficiente capazes de cobrir uma vasta gama de situações práticas [7].

2.4.1.4. Tempo de Reverberação

A reverberação numa sala é o prolongamento do som causado pelas várias reflexões nas superfícies da sala. Em cada reflexão parte da energia sonora é absorvida pelas superfícies absorventes, e o som extingue-se gradualmente. A reverberação de cada sala depende da frequência e da constante de “amortecimento”. Usualmente mede-se a reverberação de uma sala através do conceito “tempo de reverberação” introduzido por Sabine. Este é o principal parâmetro caracterizador do condicionamento acústico de um recinto. O tempo de reverberação é definido como o tempo necessário para que a intensidade ou nível de pressão sonora decaia 60 dB abaixo do seu valor inicial (Fig.2.4). Isto

representa uma variação na intensidade sonora ou na potência sonora de um milhão ($10 \log 1000000 = 60 \text{ dB}$), ou a variação de pressão sonora ou do nível sonora de 1000 ($20 \log 1000 = 60 \text{ dB}$). O tempo de reverberação depende do volume e da área de absorção do recinto.

Em termos práticos, devido ao nível de fundo nas salas, torna-se difícil medir um decaimento de 60 dB, a não ser que seja emitido um ruído bastante intenso. Assim, torna-se mais funcional calcular um decaimento de 30 dB ou até mesmo 20 dB e extrapolar para os 60 dB (TR30 e TR20, respectivamente). Tal extrapolação torna-se viável na medida em que, num meio totalmente difuso o decaimento é linear e portanto as medidas de TR60, TR30 e TR20 serão equivalentes. A teoria estatística é aquela que tem maior aplicação nos recintos que encontramos hoje em dia. Para que esta teoria possa ser aplicável, os recintos devem possuir determinadas características:

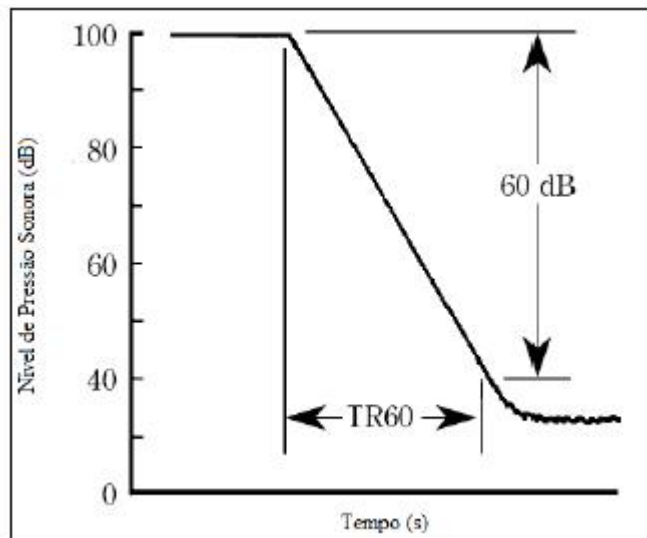


Fig. 2.4 – Ilustração do tempo de reverberação [17].

2.4.1.5. Fórmulas de Previsão

Para o cálculo do tempo de reverberação existem várias expressões, nomeadamente as de Sabine, Millington e Eyring. A escolha da expressão deve assentar no tipo de materiais que revestem o recinto, visto as expressões assentarem sobre hipóteses diferentes de funcionamento do campo sonoro reverberado.

A área de absorção sonora do recinto, relativo a uma dada frequência, é obtida através da ponderação da área da envolvente com o coeficiente de absorção sonora, expressão 2.1.

$$A_f = \sum_{i=1}^n \alpha_{fi} \cdot S_i \quad (\text{m}^2) \quad 2.1)$$

Em que:

A_f - Área de absorção sonora do recinto para dada frequência, m^2 .

α_{fi} - Coeficiente de absorção sonora do material i , para dada frequência

S_i - Área do elemento i , m^2

O valor do tempo de reverberação de um recinto para uma determinada frequência, indicado por Sabine, é obtido pela expressão 2.2. Esta expressão pressupõe que estamos na presença de um recinto reverberante, onde o coeficiente de absorção sonora média é inferior a 0,20. O valor constante de 0,16 pode variar consoante a celeridade que depende da temperatura do ar.

$$T_f = 0,161 \frac{V}{A_f} \quad (s) \quad (2.2)$$

Em que:

A_f - Área de absorção sonora do recinto para dada frequência, m^2 .

V - Volume do recinto, m^3 .

T_f - Tempo de reverberação, em segundos.

No caso de estarmos na presença de um recinto com revestimentos aonde os coeficientes de absorção sonora dos vários materiais apresentam valores numéricos muito semelhantes, podemos utilizar a expressão de Eyring, 2.3, para a determinação do tempo de reverberação.

$$T_f = 0,161 \frac{V}{-S \cdot \ln(1 - \alpha_m)} \quad (s) \quad (2.3)$$

Em que:

V - Volume do recinto, m^3 .

T_f - Tempo de reverberação, em segundos.

S - Área da envolvente, m^2 .

α_m - Coeficiente de absorção sonora médio dos materiais da envolvente, para dada frequência.

Millington obteve uma maior aproximação, através da expressão 2.4, para o tempo de reverberação quando a variedade dos materiais no recinto é muito grande sob o ponto de vista do coeficiente de absorção sonora.

$$T_f = 0,161 \frac{V}{\sum S_i \cdot \ln(1 - \alpha_i)} \quad (s) \quad (2.4)$$

Em que:

V - Volume do recinto, m^3 .

T_f - Tempo de reverberação, em segundos.

S_i - Área do elemento i , m^2 .

α_{fi} - Coeficiente de absorção sonora do material i , para dada frequência.

2.4.1.6. Efeitos do Tempo de Reverberação em recintos

Um dos principais problemas de um tempo de reverberação excessivo é a redução da inteligibilidade das palavras. Isto acontece uma vez que o baixo nível sonoro das consoantes e o seu curto período de duração são suplantados pelo “rasto sonoro” de vogais imediatamente antecedentes, uma vez que estas são emitidas com maior duração e com um maior nível sonoro. Uma sala de boas condições acústicas para palavra deve assegurar a inteligibilidade adequada do que o locutor diz, bem como salvaguardar a naturalidade da sua voz. Em salas para palavra convém que os tempos de reverberação se situem entre os 0,5 s e 1,0 s situação que se consegue facilmente em auditórios pequenos, situação que não é tão facilmente conseguida nos auditórios grandes. Nestes casos, para conseguir-mos garantir estes requisitos, teríamos de colocar materiais absorventes, o que poderia levar a uma perda de inteligibilidade devido a acção mascarante do ruído ambiente, ficando o som útil muito atenuado. A solução nestes casos passa pelo emprego de sistemas de amplificação e distribuição sonoras [7].

De assinalar que no próprio regulamento são explicitadas exigências relativas à limitação da reverberação com intuito de preservar a inteligibilidade (RRAE):

$$\bar{T} \leq 0,15V^{1/3} \text{ para espaços sem sonorização;}$$

$$\bar{T} \leq 0,12V^{1/3} \text{ para espaços com sonorização.}$$

Em que:

V - Volume do recinto, m^3 .

$\bar{T}$ - Parâmetro que representa a media aritmética dos valores assumidos pelo tempo de reverberação para as bandas de oitava de frequências centrais 500 Hz, 1000 Hz e 2000 Hz.

Em salas para música, o tempo de reverberação deve ser um pouco superior ao das salas para palavra. As peças musicais soam ligeiramente melhor se existir um pouco de reverberação conseguindo-se assim notas musicais com uma maior clareza [14]

O tempo de reverberação varia muito consoante o tipo de musica a que se destina o espaço. Temos o exemplo dos espectáculos de ópera, que requerem tempos de reverberação baixos, ao contrário de música sinfónica romântica que requerem valores bem altos [14].

Apresenta-se o diagrama da Fig. 2.5, construído com base em indicações fornecidas por diversos autores, onde é possível observar os valores do tempo de reverberação médio em função do uso e do volume.

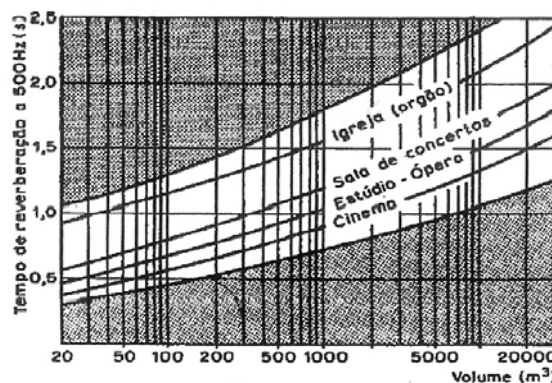


Fig. 2.5 – Tempos de reverberação ideais em função do uso e do volume [14].

Observa-se então que o tempo de reverberação deve aumentar com o volume do recinto, por forma a compensar os efeitos do acréscimo de atenuação devido ao facto de serem mais elevadas, em média, as distâncias a percorrer pelas ondas sonoras entre a fonte e os auditores.

2.4.2. ABSORÇÃO SONORA

A um campo sonoro num recinto vem sempre associada uma dissipação de energia. Essa energia é dissipada nas superfícies da envolvente, nos elementos contidos no recinto e no próprio ar. A dissipação processa-se a uma taxa directamente proporcional à densidade de energia do campo sonoro, evidenciando-se uma propriedade a que designamos de absorção sonora [7].

Deste modo quando uma fonte sonora começa a emitir no recinto, o conteúdo energético do campo vai crescendo até atingir um valor para o qual a taxa de dissipação iguala o débito da fonte. Nestas condições, o nível de pressão sonora em qualquer ponto do espaço integra duas contribuições dependentes das características de emissão da fonte. Uma diz respeito ao campo sonoro directo, que é função da posição do ponto relativamente à fonte, e o outro é o campo sonoro difuso, que é função da absorção sonora que ocorre no recinto [7].

Quando a emissão da fonte termina o conteúdo do campo decresce, devido à dissipação, ocorrendo a chamada reverberação sonora, terminando o processo quando a energia sonora dissipada iguala a existente no campo. Durante este processo, o nível de pressão sonora em qualquer ponto decresce no tempo tanto mais rapidamente quanto maior for a absorção sonora [7].

A capacidade de absorção sonora deve-se às perdas de energia sonora nas superfícies ou na espessura do material, dependendo de muitos factores como por exemplo a natureza dos materiais, do modo como estão aplicados, da frequência dos estímulos incidentes e do modo como ocorra a incidência das ondas sonoras, isto é, do ângulo de incidência da onda sonora no material. Os materiais são caracterizados quanto à absorção sonora pelo seu coeficiente de absorção sonora. Por definição o coeficiente de absorção sonora é a razão entre a energia que, por unidade de tempo, se dissipa numa dada área da superfície do material em causa e a energia que, durante o mesmo intervalo de tempo incide nessa área.

Uma vez que este valor depende de muitos factores como afirmamos anteriormente, é natural que surjam por vezes vários valores do coeficiente de absorção para o mesmo material, dependendo do modo como foi analisado e estudado. Sabemos que o tempo de reverberação, elemento fundamental na caracterização acústica de um recinto depende dos coeficientes de absorção. No entanto o confronto da noção de coeficiente de absorção com a realidade vem levantar algumas dúvidas sobre esta matéria. A determinação experimental do coeficiente de absorção sonora a partir dos processos de reverberação, nomeadamente da Câmara Reverberante, processa-se a partir do conhecimento da reverberação antes e depois da colocação do material em estudo na câmara. No entanto este procedimento não é tão linear como aparenta ser. A descida do nível de pressão com vista à determinação do tempo de reverberação e o emprego das formulas de Sabine ou mesmo de Millington, vão conduzir a um valor determinado a partir de um conjunto de hipóteses que dão suporte ao processo experimental seguido e não a um valor igual ao que a sua definição diz ser. Sendo assim o verdadeiro valor que se obtém não é mais do que as formulas de Sabine ou Millington, incluindo as hipóteses e teorias em que se baseiam, pelo que se torna complicado estabelecer algumas relações físicas específicas do material, e explica o porquê de os valores por vezes diferirem de laboratório para laboratório [7].

Outra dificuldade é a de garantir um local de ensaio suficientemente difuso, pelo que os resultados ficam dependentes das características acústicas do local onde foram ensaiados.

Para além disto, o coeficiente de absorção sonoro depende ainda do ângulo de incidência das ondas sonoras como já tínhamos dito, e da forma como é colocado o material. No caso de uma onda plana com uma incidência normal a uma superfície, o coeficiente de reflexão, isto é, o quociente da energia reflectida por unidade de tempo pela energia incidente durante o mesmo intervalo de tempo é igual a:

$$|r| = \frac{p_r^2}{p_i^2} = \left| \frac{\bar{Z} - \rho c}{\bar{Z} + \rho c} \right|^2 \quad (2.5)$$

Em que:

r - coeficiente de reflexão;

p_r e p_i - Pressão sonora da onda reflectida e incidente;

$\bar{Z}$ - Impedância acústica oferecida pelo material à onda incidente e que será a sua impedância específica ao tratar-se de um meio indefinido;

ρc - Impedância específica do ar.

O coeficiente de absorção α (admitindo o meio em causa como indefinido) será o complementar para a unidade, ou seja:

$$\alpha = 1 - r \quad (2.6)$$

No caso de termos uma incidência oblíqua no material, segundo um ângulo φ com a normal à onda incidente, obtemos a expressão:

$$\alpha = 1 - \left| \frac{\bar{Z} \cos \varphi - \rho c}{\bar{Z} \cos \varphi + \rho c} \right|^2 \quad (2.7)$$

Estas considerações feitas são validas para uma determinada frequência, uma vez que a impedância acústica do material depende deste parâmetro, e uma vez que o coeficiente de absorção depende do ângulo de incidência das ondas, não é correcto afirmar que um determinado material possui apenas um único valor do coeficiente de absorção sonora para cada gama de frequências. O correcto será dizer que existe um valor médio de absorção sonora, admitindo que todas as incidências ocorrem com probabilidade igual [7].

Existem vários factores a ter em conta para que a absorção do material seja elevada. Por um lado deve verificar-se a adaptação da impedância, ou seja, a impedância do material relativa à onda nele incidente deve ser próxima da impedância específica do ar. Por outro lado o amortecimento interno no material deve ser elevado. No entanto, estas duas condições nem sempre se verificam simultaneamente, como é o caso dos materiais porosos [7].

A absorção ocorre em consequência de todos estes mecanismos provocarem um amortecimento da onda sonora. Uma maneira simples de provocar a dissipação de energia, é a de provocar o escoamento pelas fendas, canais e poros finos, locais esses onde ocorre fricção das partículas com as paredes, como é o caso dos materiais porosos. Outra forma é a de colocar painéis em vibração, onde são absorvidas as frequências correspondentes as frequências naturais de vibração destes, como é o caso das membranas ressonantes [7].

2.4.3. MATERIAIS E SISTEMAS ABSORVENTES

Os materiais absorventes utilizados para o condicionamento acústico de recintos estão relacionados com a gama de frequências que absorvem, podendo estes dividir-se de uma forma muito sucinta em:

- Materiais texturados (também designados por porosos e fibrosos);
- membranas ressonantes;
- ressoadores de cavidade.

Sendo assim, os materiais texturados serão indicados para as altas-frequências, as membranas para as baixas frequências e por ultimo os ressoadores de cavidade para as medias frequências.

2.4.3.1. Materiais texturados

Estes materiais asseguram a permeabilidade e a propagação das ondas sonoras de frequências altas, uma vez que possuem fendas, canais e poros finos por onde a onda penetra. A onda incidente, faz com que o ar contido nos poros entre em movimento oscilatório, gerando-se atrito nas paredes sólidas, ocorrendo assim perda de energia sobe a forma de calor [18].

Embora estes materiais dependam fundamentalmente da sua espessura e densidade, existem limites, e por isso valores extremos não serão tão eficazes como seria de esperar. Fibras muito soltas e afastadas levariam a uma menor dissipação da energia uma vez que o atrito gerado seria menor, e fibras muito densas, a penetração da onda no material seria difícil, sendo neste caso o movimento do ar pequeno para gerar atrito nas paredes sólidas [18].

Outro factor a ter em conta para o bom desempenho destes materiais é no tipo de pintura. Esta não deve tapar os poros sob pena de impermeabilizar o material e assim diminuir a capacidade absorvente destes materiais.

Salientam-se agora alguns exemplos de materiais texturados:

- Alcatifas e Tecidos

O coeficiente de absorção sonora das alcatifas varia fundamentalmente com a espessura do pelo, textura e existência ou não de forro, permitindo este melhorar as características de resiliência e as condições de aplicação do próprio revestimento. A espessura e massa volúmica do suporte também influenciam na absorção sonora do sistema. Na Fig 2.6 apresentam-se valores do coeficiente de absorção sonora de uma alcatifa apoiada sobre uma laje de betão armado.

No caso dos tecidos decorativos, isto é, cortinados, não é só a textura que interfere na absorção sonora. Também o número de pregas, e a distância a que é colocado da parede ou janela fazem variar estes valores. Na Fig 2.7 apresentam-se valores do coeficiente de absorção sonora de um reposteiro de algodão com diferentes percentagens de franzido.

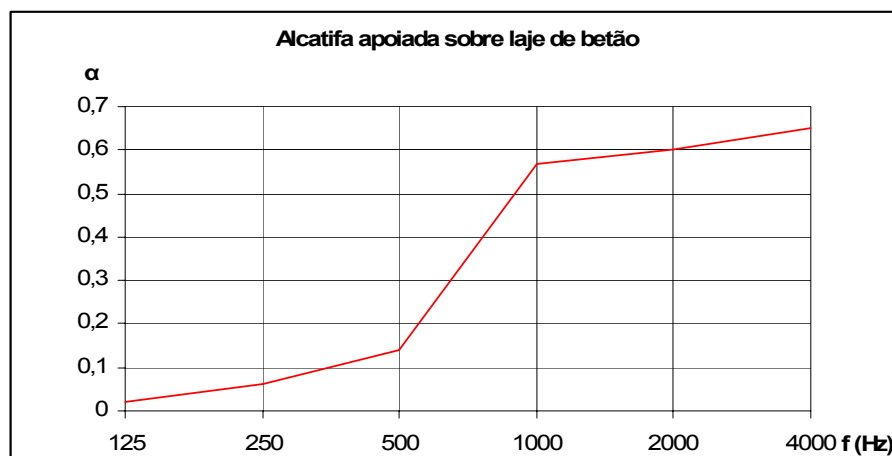


Fig. 2.6 -Valores do coeficiente de absorção sonora de uma alcatifa apoiada sobre uma laje de betão armado [19].

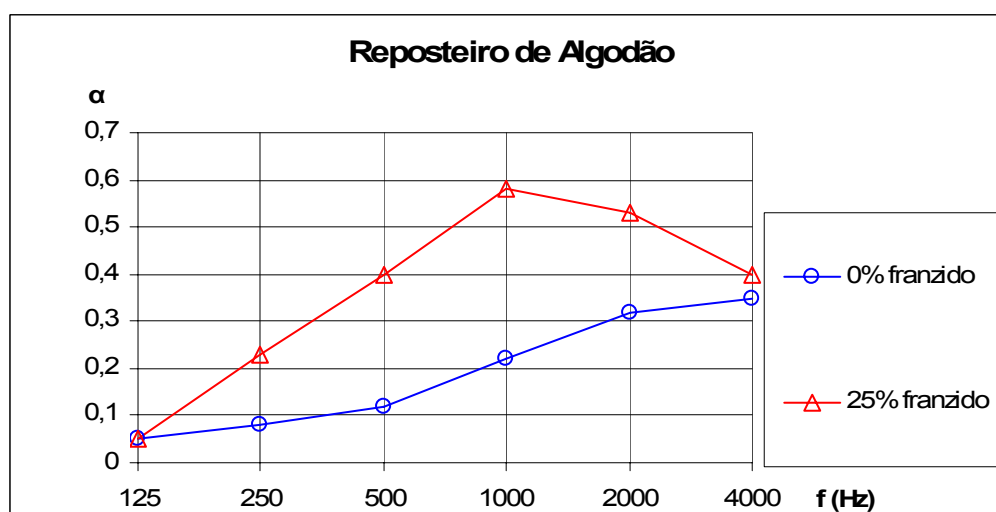


Fig 2.7 – Valores do coeficiente de absorção sonora de um reposteiro de algodão com diferentes percentagens de franzido [18].

- Massas porosas

Este tipo de material é composto normalmente por fibras ou granulados minerais e aglutinantes apropriados e aplica-se sobre os tectos das paredes e dos tectos, por projecção. A massa específica deste material ronda aproximadamente os 150 kg/m^3 , e verifica-se que um aumento da sua espessura acarreta um aumento da absorção sonora nas baixas frequências, sendo que nas altas frequências a absorção mantém-se constante. Apresenta-se a seguir um exemplo da aplicação deste produto e os respectivos coeficientes de absorção sonora destes tipos de materiais (Fig.2.8 e Fig.2.9) [18].



Fig 2.8 – Tecto com fibras projectadas.

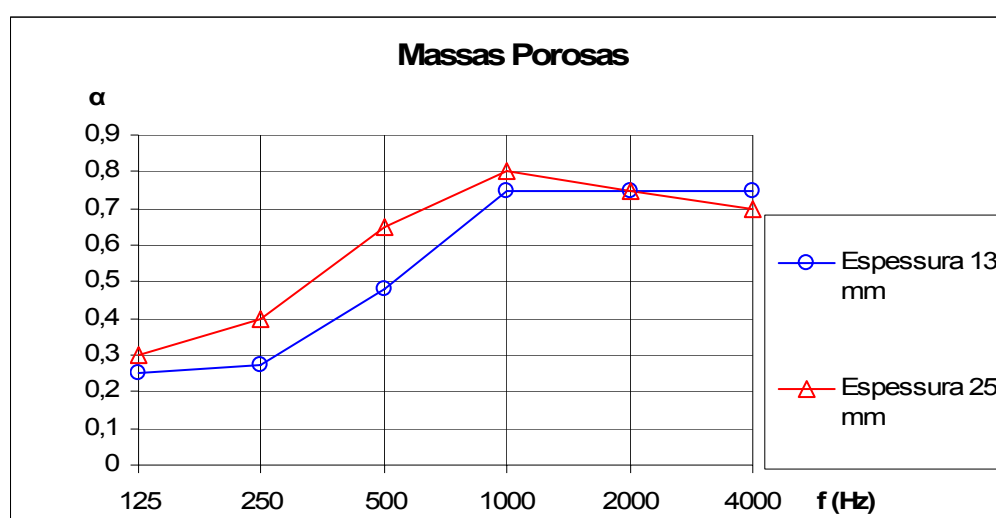


Fig 2.9 – Valores do coeficiente de absorção sonora de uma massa porosa com espessuras nominais de 13 mm e 15 mm [18].

- Lãs minerais

Aparecem no mercado sob a forma de mantas ou placas, conforme a sua flexibilidade e dimensões. As placas podem ser elementos rígidos ou semi-rígidos, auto-portantes, fornecidos em unidades pré-fabricadas de dimensões faciais e espessura fixas. A principal diferença entre as várias placas existentes no mercado, diz respeito fundamentalmente na composição e textura da superfície.

Quanto à composição, estas podem ser constituídas por lã de rocha, vidro ou escoria de alto forno. No que diz respeito à textura da superfície exposta, pode ser lisa, perfurado, fissurado ou estriado. As placas semi-rígidas podem ser protegidas com um tecido fibroso de forma a melhorar o aspecto da aparência exterior, bem como proteger a degradação das fibras.

Quanto à flexibilidade estas dividem-se normalmente em três, consoante a sua massa volúmica:

- flexíveis - mantas com massa volúmica inferior a 55 kg/m³;
- semi-rígidos – placas com massa volúmica inferior a 55 kg/m³;
- rígidos – placas com massa volúmica superior a 55 kg/m³.



Fig 2.10 - Lã mineral fibrada.

Estes materiais são eficazes como sabemos para frequências altas. No entanto, ligeiras modificações na forma como é aplicado, permite melhorar o seu desempenho também nas baixas frequências, como é o simples caso da colocação do material com um certo espaçamento da parede.

- “Baffles”

Os “Baffles” são dispositivos constituídos por materiais absorventes, na sua maioria porosos, ou fibrosos (sendo o mecanismo de absorção inerente ao material absorvente utilizado), que são utilizados no tratamento acústico de espaços, normalmente de grande volume, como é o caso de pavilhões industriais, ou mesmo pavilhões desportivos, melhorando muito os tempos de reverberação destes locais. Para além de terem como função primordial o melhoramento dos tempos de reverberação dos locais, podem também ser utilizados como elementos decorativos [18].

O princípio fundamental da utilização de “Baffles” é o aumento da área absorvente. A sua disposição deve permitir que a área exposta ao ruído esteja maximizada, sendo normalmente o somatório de todas as faces do elemento. Apresenta-se na Fig. 2.11, um exemplo de Baffles.



Fig. 2.11 - Exemplo de aplicação de absorsores suspensos (Baffles) (imagem retirada da marca comercial UNGER Technologies).

- Aglomerados de cortiça

Existem dois tipos de aglomerados de cortiça, os aglomerados negros de cortiça e os aglomerados compostos de cortiça. Apenas a cortiça de aglomerados negros, também por vezes designado de aglomerados puros expandidos, possui características de um bom absorvente acústico. A diferença de absorção destes dois tipos d aglomerados, deve-se fundamentalmente ao tipo de fabrico: no caso dos aglomerados negros de cortiça, os grânulos são expandidos em autoclave, sendo aglomerados sob pressão e temperatura enquanto que os grânulos dos aglomerados compostos de cortiça são prensados e aglomerados com resina sintética.

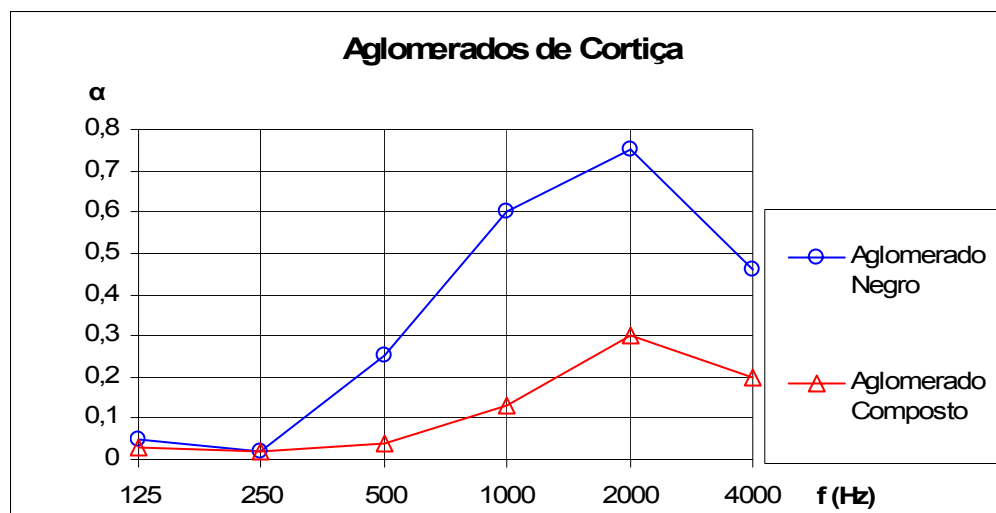


Fig 2.12 -Valores do coeficiente de absorção sonora do aglomerado negro e aglomerado composto de cortiça [18].



Fig 2.13 – Amostra de aglomerado negro de cortiça.

2.4.3.2. Membranas ressonantes

As membranas ressoantes ou painéis vibrantes são sistemas com maior utilidade para as baixas frequências. Nestes sistemas intervêm não só a porosidade do material mas também a ressonância do próprio sistema. Estes absorvem a energia sonora das ondas através da sua vibração, sendo parte da

energia convertida em energia mecânica, transformando-se a outra parte em energia térmica, devido ao atrito interno de deformação.

A frequência f para a qual a membrana tem um coeficiente de absorção sonora máximo, ou seja, para a frequência de ressonância, é dada pela expressão:

$$f = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{\rho}{md}} \quad (2.8)$$

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 .

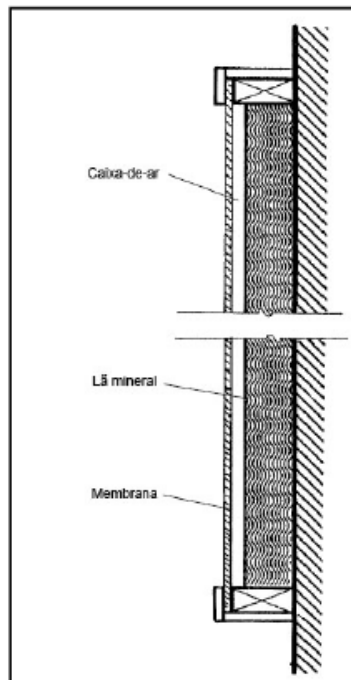


Fig. 2.14 – Esquema de uma membrana [17].

2.4.3.3. Ressonadores de cavidade

Os ressoadores, também denominados por ressoadores de cavidade ou ressoadores de Helmholtz, são sistemas com maior utilidade para as médias frequências. Podem surgir agrupados sob a forma de painéis perfurados, ou isolados, como é o caso dos ressoadores utilizados nas igrejas na idade Média. Estes consistem num volume de ar no interior de uma cavidade, ligado à atmosfera geral por um pequeno volume de ar semelhante ao contido numa garrafa. O ar no gargalo é colocado em vibração, imprimindo-se deslocamentos alternados à massa de ar contida no mesmo, acompanhados de dissipação de energia devido ao atrito do ar contra as suas paredes. A determinação da frequência de ressonância, corresponde à amplitude máxima do deslocamento da massa de ar no corpo do sistema,

permitindo delimitar a gama de frequências onde o sistema é eficaz. Esta gama de frequências, pode ainda ser alargada com a introdução de material absorvente na caixa-de-ar, embora se perca amplitude de absorção. Podemos estimar a frequência f , para a qual o ressoador de cavidade tem o coeficiente de absorção sonora máxima, utilizando para isso a expressão seguinte:

$$f = \frac{c}{2\pi} \cdot \frac{S}{(vV)^{1/2}} \quad (2.9)$$

Em que:

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

v – volume da cavidade, em m^3 ;

V – volume da abertura de passagem, em m^3 ;

S – secção da abertura de passagem, em m^2 ;

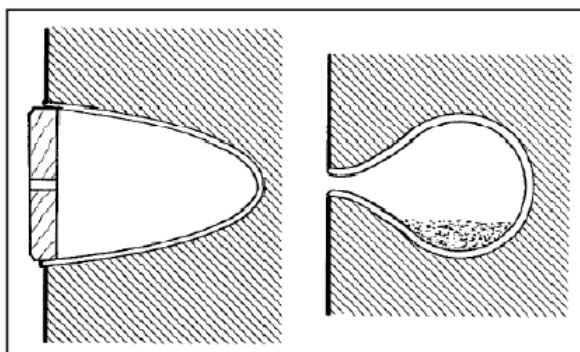


Fig. 2.15 – Esquema de um ressoador [17].

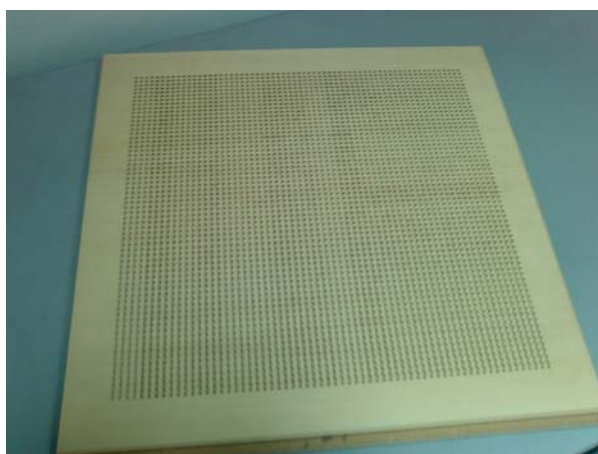


Fig. 2.16 – Exemplo de painel perfurado (ressoadores agrupados) para se aplicar nas paredes ou tectos.

3

ESTRUTURAÇÃO DA RESOLUÇÃO

3.1. ESTRUTURA DA RESOLUÇÃO

Na Fig. 3.1, apresenta-se a estrutura da resolução que se propõe cumprir no presente trabalho. Em primeiro lugar, realizar-se-ão ensaios no Tubo de Ondas Estacionárias com os provetes cilíndricos de poliuretano “pintados” bem como ensaios através de um Método Teórico Com base nos resultados obtidos nestes ensaios, conceberemos vários provetes para serem testados na Câmara Reverberante quer como elementos absorventes planos, quer como elementos absorventes suspensos (Baffles), obtendo-se assim os Coeficientes de Absorção Sonora deste material em estudo.

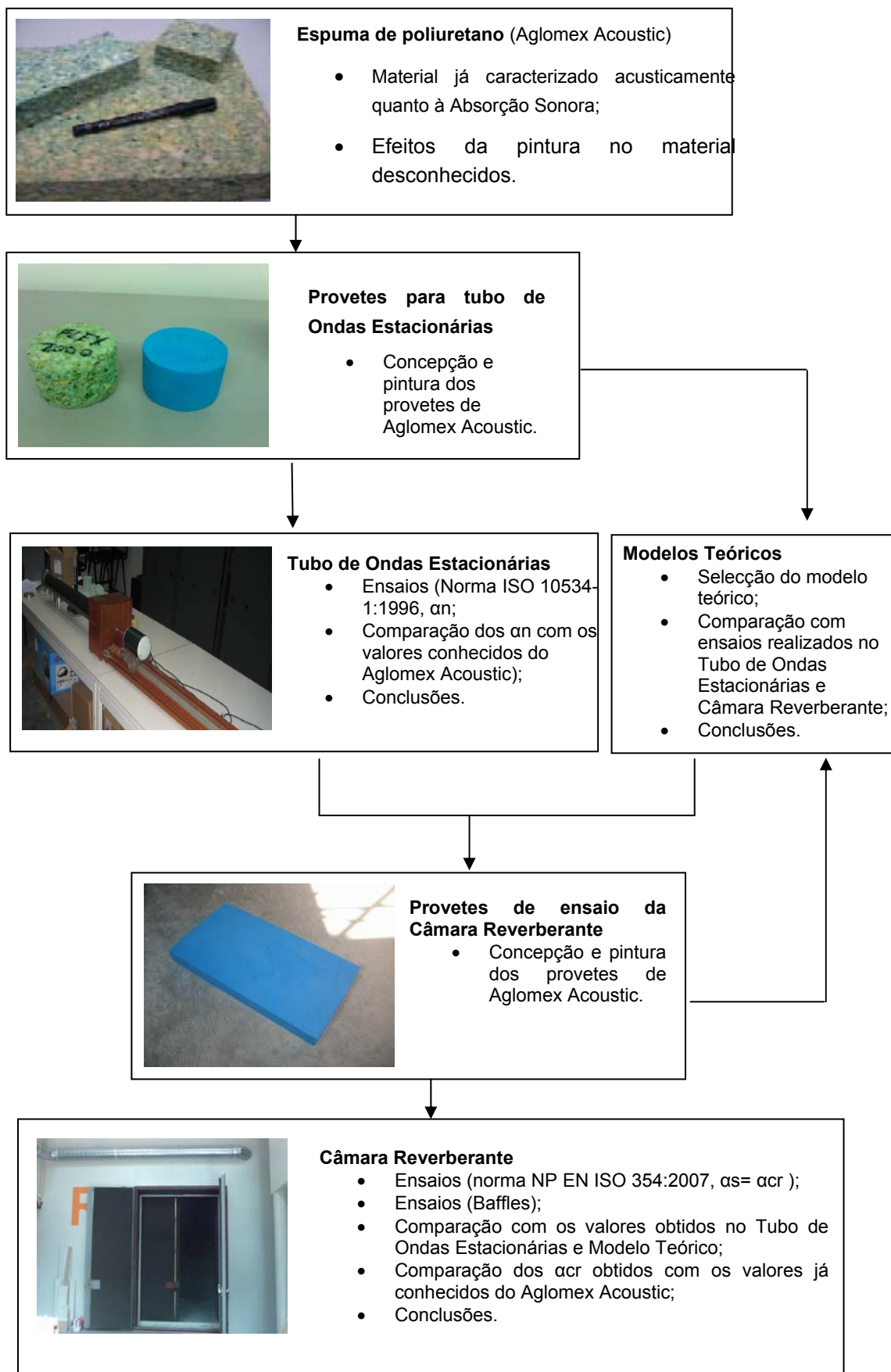


Fig 3.1 – Estrutura da resolução.

3.2. MATERIAL EM ESTUDO

O material já ensaiado e testado em estudos já anteriormente efectuados, é um aglomerado de espumas de poliuretano com a designação comercial de Aglomex Acoustic, produzido pela fábrica de espumas FLEX2000. É o produto de uma reutilização de espumas de poliuretano dos mais variados usos, desde colchões até esfregões de vários tipos, e é utilizado principalmente no isolamento sonoro de pavimentos e paredes.



Fig. 3.2 – Espumas de Aglomex Acoustic

Apesar das grandes propriedades acústicas que este material possui, é um material que tem alguns problemas ao nível estético, quando colocado a vista num determinados recinto. A própria acção dos raios solares degrada este material, tornando-o mais escuro e por isso ainda mais desagradável. É por isso extremamente vantajoso para a empresa a descoberta de novas soluções que minimizem estes problemas permitindo assim dar uma nova utilidade a este tipo de produto, e com isto rentabiliza-lo ainda mais.

Uma das soluções a adoptar para tentar corrigir este problema é através da pintura.

Sabe-se que a pintura condiciona as propriedades absorventes de um material devido à colmatação dos poros. No entanto, o material pode continuar a desempenhar um bom papel relativamente à absorção sonora. Interessa por isso efectuar um primeiro estudo sobre os efeitos que a pintura tem nestas espumas de poliuretano (*Aglomex Acoustic*), de uma forma simplificada, utilizando para isso um só tipo de pintura e de tinta. Trata-se também da primeira vez que se irá efectuar uma pintura neste material de Aglomex Acoustic, pelo que não se sabe quais os efeitos que esta irá ter nas suas propriedades acústicas, nomeadamente na absorção sonora.

A tinta utilizada na pintura dos provetes utilizados no Tubo de Ondas Estacionárias e nos da Câmara Reverberante (Baffles), foi a da marca comercial *Sika – Farbpaste H-B 3460/66* com um endurecedor *Sika – Tivoflex 3560/01*. A tinta escolhida para revestir o material de Aglomex Acoustic foi escolhida pela empresa FLEX2000, por já ter sido utilizada noutras pinturas que não neste material de aglomerados, Aglomex Acoustic.

Apresenta-se na Fig.3.3, uma imagem dos provetes utilizados no Tubo de Ondas Estacionárias, sem pintura (Aglomex Acoustic), e com pintura (Aglomex Acoustic “pintado”).



Fig. 3.3 –provetes de Aglomex Acoustic (esq.) e Aglomex Acoustic “pintado” (dir.) para uso no Tubo de Ondas Estacionarias.

É importante deixar uma nota sobre a importância ambiental do produto Aglomex Acoustic, pois resulta do aproveitamento de desperdícios de outros produtos que seriam depositados como resíduo industrial.

Na tabela que se segue, Tabela 3.1, apresentam-se as densidades comercializadas e características corporal do produto Aglomex Acoustic e os valores da resistência ao fluxo do ar e porosidade na Tabela 3.2.

Tabela 3.1 – Lista de densidades comercializadas do material Aglomex Acoustic

Designação	Densidade [kg/m ³]	Resistência à compressão [KPa]	Combustibilidade ISO 3795 [mm/min]
AGL 60	60	12	≥100
AGL 80	80	15	≥100
AGL 90	90	19	≥100
AGL 100	100	23	≥100
AGL 120	120	40	≥100
AGL 140	140	60	≥100
AGL 150	150	60	≥100
AGL 180	180	65	≥100
AGL 200	200	70	≥100

Tabela 3.2 – Lista da porosidade e resistência ao fluxo do ar do material Aglomex Acoustic

Densidade (kg/m ³)	Espessura (mm)	Valores medidos (l/dm ² /min)			Média	Porosidade, h (%)	Resistência ao fluxo Ξ (KPa.s./m ²)
60	30	104	116	129	116,3	94	8,356611
	60	160	162	179	167,0		5,998083
	100	184	175	179	179,3		3,864633
90	30	100	111	106	105,7	91	7,590389
	60	129	128	150	135,7		4,872694
	100	118	123	114	118,3		2,550083
120	30	67,6	75,2	90,3	77,7	88	5,58145
	60	96,3	105	113	104,8		3,762869
	100	168	141	154	154,3		3,325883
200	30	55,4	54,3	46,1	51,9	80	3,730544
	60	41,6	48,8	54,3	48,2		1,732381
	100	59	73,6	51,3	61,3		1,321015

4

METODOLOGIAS

4.1. INTRODUÇÃO

O processo de desenvolvimento de um determinado material começa normalmente pela investigação científica, baseada nos modelos teóricos existentes, a partir dos quais se traçam metas produtivas para que o material se comporte da maneira desejada.

Existem situações em que surgem obstáculos neste tipo de procedimento, pelo que se opta também por uma via experimental. É precisamente este o método utilizado no presente trabalho.

O método experimental baseia-se na experimentação de uma vasta gama de amostras produzidas, que representam toda a variabilidade produtiva possível. Os resultados obtidos nos ensaios experimentais, ditarão quais os parâmetros que permitirão obter o máximo desempenho deste material.

Assim, foram produzidas amostras que contemplam uma análise às variáveis produtivas do material. Foram elas a densidade e a espessura. A pintura foi efectuada de um modo uniforme para tentar eliminar possíveis discrepâncias entre as várias amostras.

Os métodos experimentais utilizados foram o Método do Tubo de Ondas Estacionárias e o da Câmara Reverberante.

É de grande interesse comparar os resultados obtidos entre estes dois métodos, sendo de referir que o Método do Tubo de Ondas Estacionárias caiu um pouco em desuso, tendo sofrido apenas algumas alterações ao nível da automatização do próprio equipamento e de sistematização no processo de cálculo, sendo que se opta normalmente pelo Método da Câmara Reverberante. É uma metodologia prática, cujas principais vantagens assentam na possibilidade de caracterização de diferentes amostras de um mesmo produto, sendo necessárias apenas amostras de pequenas dimensões. A curta duração necessária para a realização de um ensaio é também um ponto forte desta metodologia (isto para o caso de se tratar de um ensaio simples, com poucas amostras de material).

O Método da Câmara Reverberante reproduz com mais fiabilidade a realidade, mas tem o inconveniente de necessitar de uma amostra de grandes dimensões, sendo por isso mais dispendiosa. Existe também por vezes a necessidade de serem executadas instalações com arquitectura e propriedades muito específicas (como por exemplo montagens especiais para ensaios de Baffles).

É precisamente por estas razões que se optou inicialmente por estudar o material pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias, para depois ser seleccionada aquela que nos pareça ser a ideal para se testar na Câmara Reverberante.

A modelação teórica é de grande interesse e assume grande importância na estimativa de valores para utilização em fase de estudo, ou em projecto. No entanto, nem sempre os modelos teóricos existentes se adaptam às características dos materiais, sendo importante a sua comparação com os ensaios laboratoriais.

4.2. MODELOS TEORICOS PARA A DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORO

4.2.1. MODELO DE DELANY E BAZLEY

O modelo desenvolvido na Grã-Bretanha por M. E. Delany e por E.N. Bazley, no ano de 1969, surgiu através da análise das propriedades acústicas de uma vasta gama de materiais absorventes porosos. Medidos os valores da impedância característica (Z_0) e do coeficiente de propagação (γ) dos materiais em estudo, conseguiram-se normalizar estas propriedades através de uma função da frequência dividida pela resistência à passagem do ar (σ).

Conhecidos os valores destas duas propriedades que podem ser estimados conhecendo apenas a resistência à passagem do ar, pode-se assim estimar o valor do coeficiente de absorção sonora de um determinado material, consoante a sua espessura [20].

4.2.2. MODELO DE MECHEL

Outra formulação desenvolvida para a determinação da absorção sonora de materiais porosos, foi elaborada por F.P. Mechel, em que desenvolveu a formulação atrás apresentada de Delaney-Bazley, propondo equações distintas consoante se trate de baixas ou médias/altas-frequências.

Este modelo utiliza assim expressões teóricas para o comportamento dos materiais nas baixas frequências, recorrendo ainda à combinação de formulação teórica com a regressão de dados experimentais para caracterizar um determinado material, no que diz respeito às frequências médias e altas.

Um novo parâmetro é necessário em relação ao modelo de Delaney-Bazley: a porosidade [21].

4.2.3. MODELO DE ATTENBOROUGH

O trabalho desenvolvido por Attenborough é dirigido essencialmente para a previsão da propagação das ondas sonoras no exterior. Contudo, esta metodologia pode ser também utilizada para a determinação do coeficiente de absorção sonora de um determinado material.

Além dos dois parâmetros que necessitam também de ser quantificados no modelo de Mechel, a porosidade e a resistência ao fluxo de ar, o autor deste modelo introduz ainda dois novos parâmetros que não podem ser medidos mas sim estimados: o primeiro tem como objectivo ter em conta a forma dos poros do material em estudo, designado por factor de forma dos poros, sendo que o segundo pretende ter em conta a orientação dos mesmos, denominando-se por sinuosidade ou mais comumente por tortuosidade [22].

4.2.4. MODELO DE ALLARD-JOHNSON

De todos os modelos já abordados, o modelo proposto por Allard-Johnson é o mais complexo, sendo o que necessita de um maior número de variáveis para a determinação do coeficiente de absorção sonora. Assim sendo, são introduzidos dois parâmetros que visam caracterizar os poros do material: “characteristic viscous length, Λ ” e “characteristic thermal length, Λ' ”. Para materiais cujos poros se assemelham a tubos rectilíneos, os parâmetros têm a mesma magnitude enquanto que, quando os poros estão interligados por tubos filiformes, tem-se que $\Lambda \ll \Lambda'$.

Além destas novas duas variáveis já referidas, o referido modelo entra também em conta com as seguintes propriedades do material, já enumeradas anteriormente: espessura, resistividade, porosidade e tortuosidade [23].

4.3. DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE ABSORÇÃO SONORA PELO TUBO DE ONDAS ESTACIONÁRIAS

4.3.1. INTRODUÇÃO

A determinação do coeficiente de absorção sonora de um material pode ser obtida utilizando um tubo de ondas estacionárias, de acordo com o especificado na norma ISO 10534-1:1996.

Com a metodologia descrita na norma internacional ISO 10534, é possível determinar o coeficiente de absorção sonora do material em estudo, para uma incidência normal, bem como outras características como é o caso da impedância, admitância e factor de reflexão do material.

A diferença entre este método e o Método da Câmara Reverberante (ponto 4.4), reside no facto do som incidir perpendicularmente à amostra em estudo, enquanto que na Câmara Reverberante, a onda atinge a amostra de todos os ângulos (campo difuso). Sendo assim, é apenas necessária uma amostra de pequena dimensão (com a dimensão da secção do tubo), ao contrário da Câmara Reverberante onde é necessário uma amostra com 10 m^2 a 12 m^2 , sendo então a dimensão da amostra a principal vantagem do método do tubo de ondas estacionárias. A norma permite no entanto transformar os resultados obtidos numa situação mais realista que é a do campo sonoro difuso (ISO 10534-1:1996-Anexo D).

4.3.2. PRINCÍPIO DA METODOLOGIA

O tubo de ondas estacionárias consiste num tubo metálico, onde se coloca numa das extremidades uma amostra do material em estudo, e na outra extremidade existe um pequeno altifalante com um orifício por onde passa uma vareta com um microfone na ponta, a qual está ligada a um carrinho que desliza sobre rodas nuns carris. Liga-se então o gerador de sinal que faz com que seja emitida uma onda sonora sinusoidal a partir do altifalante. A sobreposição da onda sonora emitida com a onda sonora reflectida na amostra em estudo dá origem à formação de uma onda estacionária dentro do tubo.

Com o auxílio de um sonómetro, determina-se as pressões máximas ($p_{\text{máx}}$) e mínimas ($p_{\text{mín}}$) da onda estacionária e regista-se ainda a distância a que a primeira pressão mínima ocorre da amostra ($x_{\text{mín},1}$), visível na Fig. 4.1. Com estes dados é então possível determinar as propriedades acústicas do material em estudo já citadas anteriormente.

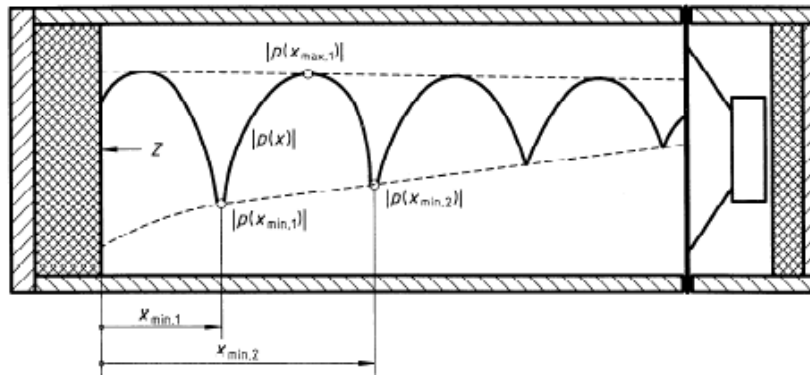


Fig 4.1 - Onda estacionária no tubo de impedância. A primeira pressão máxima deve ser determinada entre os dois primeiros mínimos [24].

4.3.3. DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA

Uma vez que este trabalho tem como principal objectivo a determinação de uma das propriedades acústicas do material em estudo, ou seja, o coeficiente de absorção sonora, vamos neste ponto descrever os procedimentos analíticos necessários para a sua determinação.

4.3.3.1. Intervalo de frequências de trabalho

O intervalo de frequências de trabalho num tubo de impedância, $f_l < f < f_u$, é determinado em função da dimensão e da secção transversal do tubo.

Para se obterem duas pressões mínimas num tubo de impedância na frequência limite inferior, f_l , o comprimento do tubo, l , deve ter uma relação com o comprimento de onda (λ_0) de:

$$l \geq 3\lambda_0 / 4 \quad (4.1)$$

Deve ainda ter um comprimento entre a face da amostra em estudo e o altifalante, l , com o comprimento mínimo de:

$$l \geq \frac{250}{f} + 3d \quad (4.2)$$

Em que:

d – diâmetro interior do tubo circular, em metros;

f – frequência, em Hertz.

A limitação inferior tem como principal objectivo, fazer com que, na eventualidade de surgirem frequências superiores as que estamos a estudar (geradas pelo altifalante ou por objectos cujas propriedades variem lateralmente), não venham a influenciar os resultados obtidos nas medições.

O limite superior da frequência, f_u , tem como objectivo o de impedir o aparecimento de ondas transversais no tubo, que possam vir a afectar as medições. Deste modo, tubos circulares com um diâmetro d (metros), devem verificar as seguintes condições:

$$d \leq 0,58\lambda_0 \quad (4.3)$$

e,

$$d \leq \frac{200}{f_u} \quad (4.4)$$

4.3.3.2. Atenuação do Tubo de Ondas Estacionárias

O cálculo do coeficiente de absorção sonora deve ter em conta as atenuações do próprio tubo para evitar erros nas medições. Torna-se por isso necessário calcular a atenuação do tubo, k_0'' , para cada uma das frequências em estudo com o tubo vazio. Medem-se as pressões mínimas $p_{(\min, n)}$ e $p_{(\min, n+1)}$ com $n=1,2,3\dots$, e determina-se a expressão seguinte:

$$\Delta_n = \frac{|p(x_{\min, n+1})| + |p(x_{\min, n})|}{|p(x_{\max, n})|} = 2 \sinh\left(\frac{k_0'' \lambda_0}{4}\right) \quad (4.5)$$

obtendo-se assim,

$$k_0'' = \frac{4}{\lambda_0} \operatorname{arcsinh} \frac{\Delta_n}{2} \quad (4.6)$$

No caso em que não seja possível determinar dois valores de pressão mínima com precisão suficiente (como é por exemplo caso das baixas frequências onde é necessário um comprimento do tubo elevado devido ao elevado comprimento de onda para essas frequências), o valor da constante de atenuação do tubo pode ser determinada usando a expressão seguinte:

$$k_0'' = 1,94 \times 10^{-2} \left(\sqrt{\frac{f}{c_0}} \times d \right) \quad (4.7)$$

Em que:

d – corresponde ao diâmetro para tubos circulares, em metros;

f – frequência, em Hertz;

c_0 – velocidade de propagação do som, em m/s .

4.3.3.3. Cálculo do Coeficiente de Absorção Sonoro da Amostra

Após se colocar a amostra em estudo no tubo de impedância, registam-se para as frequências emitidas pelo gerador de sinal, os valores da pressão mínima, $p_{\min, n}$, a distancia para o qual este ocorre, $x_{\min}$, e por ultimo o valor da pressão máxima, $p_{\max, n}$. Nos casos em que os valores do tubo de impedância serem medidos numa escala logarítmica, (em dB), é possível determinar a variação de pressão entre o máximo e o mínimo registado ΔL , em dB, bem como o rácio da onda estacionaria, S_n , a qual permite obter a magnitude do factor de reflexão, $|r|$:

$$S_n = 10^{\Delta L/20} \quad (4.8)$$

$$|r|=e^{2k_0 x_{\min,n}} \frac{S_n - e^{k_0 \lambda_0/4}}{S_n + e^{-k_0 \lambda_0/4}} \quad (4.9)$$

Com o valor da magnitude do factor de reflexão $|r|$, podemos finalmente determinar o coeficiente de absorção sonora para uma incidência normal, α_n , da seguinte forma:

$$\alpha_n = 1 - |r|^2 \quad (4.10)$$

A norma prevê uma fórmula para a determinação do Coeficiente de Absorção Sonora para o campo difuso, α_{st} , no seu anexo D. A fórmula é a que se apresenta em seguida:

$$\alpha_{st} = 8 \cdot \frac{z'}{z'^2 + z''^2} \left[1 - \frac{z'}{z'^2 + z''^2} \cdot \ln(1 + 2z' + z'^2 + z''^2) + \frac{1}{z''} \cdot \frac{z'^2 - z''^2}{z'^2 + z''^2} \cdot \arctan \frac{z''}{1 + z'} \right] \quad (4.11)$$

4.4. DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE ABSORÇÃO SONORA PELA CÂMARA REVERBERANTE

A determinação do coeficiente de absorção sonora de um material pode ser obtida utilizando uma Câmara Reverberante de acordo com o especificado na norma NP EN ISO 354:2007.

Esta norma especifica o método para determinar o coeficiente de absorção sonora de materiais utilizados no acondicionamento de tectos e paredes, bem como do coeficiente de absorção sonora equivalente de objectos, como peças de mobiliário, pessoas ou elementos absorventes, na Câmara Reverberante. Não é no entanto aplicável à medição das características de absorção sonora de ressoadores com amortecimento baixo.

A principal vantagem da utilização da Câmara Reverberante, é que esta permite simular condições muito próximas das observadas num campo difuso, permitindo assim obter valores mais rigorosos e correctos, comparativamente aos conseguidos por exemplo num tubo de ondas estacionárias, para uma onda com incidência normal relativamente ao material em estudo.

O princípio básico do funcionamento de uma Câmara Reverberante, consiste na medição dos tempos de reverberação médios na câmara sem e com a amostra em estudo. Com os resultados obtidos para os tempos de reverberação, é então possível determinar a área de absorção equivalente recorrendo à fórmula de Sabine.

As medições acústicas devem ser efectuadas para as bandas de um terço de oitava com as seguintes frequências centrais, em hertz, preconizadas na norma ISO 266 [25]:

100 125 160 200 250 315 400 500 630
800 1000 1250 1600 2000 2500 3150 4000 5000

Podem ser feitas medições fora deste intervalo de frequências, desde que efectuadas para as bandas de terço de oitava centrais. No entanto, poderá ser difícil de obter valores rigorosas especialmente para as baixas frequências (abaixo dos 100 Hz), devido à baixa densidade modal da Câmara Reverberante.

4.4.1. PREPARAÇÃO DO ENSAIO

4.4.1.1. Características da Câmara Reverberante

Segundo a norma o volume da Câmara Reverberante deve ser de, pelo menos, 150 m³ e para o caso de novas construções deve ter aproximadamente 200 m³. No caso de câmaras com mais d 500 m³, a norma salienta que pode não ser possível medir com rigor a absorção sonora nas altas frequências devido ao efeito de absorção do ar.

A forma da Câmara Reverberante deve ser tal que permita verificar a condição seguinte:

$$l_{\text{máx}} < 1,9V^{1/3} \quad (4.12)$$

Em que,

$l_{\text{máx}}$ - é o comprimento da maior linha recta contida nos limites da câmara (por exemplo a diagonal principal no caso de uma câmara rectangular), em metros;

V – é o volume da Câmara Reverberante, em m³.

O campo sonoro na Câmara Reverberante deve ser suficientemente difuso. Para isso devem-se usar dispositivos como é o caso de difusores fixos, suspensos, ou reflectores rotativos, de acordo com o anexo A da norma.

Relativamente à área de absorção sonora equivalente da Câmara Reverberante sem a amostra em estudo, designada por A_1 , em bandas de terços de oitava, não deve exceder os valores indicados no Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Área máxima de absorção sonora para uma Câmara Reverberante com $v=200\text{m}^3$ [26].

Frequência, Hz	100	125	160	200	250	315	400	500	630
Área de absorção sonora equivalente, A_1 (m ²)	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5

Frequência, Hz	800	1 000	1 250	1 600	2 000	2 500	3 150	4 000	5 000
Área de absorção sonora equivalente, A_1 (m ²)	6,5	7,0	7,5	8,0	9,5	10,5	12,0	13,0	14,0

Caso o volume V da Câmara Reverberante seja diferente de 200 m^3 , os valores do Quadro 4.1 devem ser multiplicados pelo factor $(V / 200)^{2/3}$. É ainda referido na norma que não devem existir picos nem depressões de amplitudes superiores a 15% da média dos valores correspondentes as duas bandas de terços de oitava adjacentes.

4.4.1.2. Amostra a ensaiar

As amostras a ensaiar distinguem-se em elementos absorventes planos e em elementos absorventes discretos (onde se incluem os Baffles).

No primeiro caso, a amostra deve ter uma área compreendida entre 6 m^2 e 12 m^2 , e no caso de o volume da Câmara Reverberante ser superior a 200 m^3 , o limite superior da área do provete deve ser multiplicado pelo factor $(V / 200)^{2/3}$. A amostra a ensaiar deve ter uma forma rectangular e uma relação entre a largura e o comprimento compreendida entre 0,7 e 1. Esta deve ser colocada na câmara de tal forma que qualquer um dos seus pontos diste no mínimo um metro de distância as paredes da câmara (a distancia mínima não deve ser inferior a 0,75m). Excepto casos em que o fornecedor exija montagens específicas do material na câmara, estes devem respeitar as instruções contidas no anexo B da Norma [26].

No segundo caso temos então os elementos discretos, ou seja, cadeiras, pessoas ou biombos, e devem ser instalados do mesmo modo que estariam montados na realidade.

No caso de elementos discretos do tipo painel absorventes (por exemplo no caso de Baffles), devem ser instalados de acordo com o esquema de montagem tipo J especificado no anexo B [26].

Devem ser colocados no mínimo de três objectos do mesmo tipo que se pretenda estudar, de forma a provocar uma variação significativa da absorção sonora equivalente, a qual deve ter no mínimo 1 m^2 e no máximo 12 m^2 . Caso a câmara tenha mais que 200 m^3 os valores devem ser multiplicados pelo factor $(V/200)^{2/3}$. Elementos absorventes suspensos devem ser montados, pelo menos a 1 m de distância das paredes ou dos elementos difusores, e pelo menos a 1 m de qualquer microfone [26].

4.4.1.3. Temperatura e Humidade Relativa da Câmara Reverberante

Na realização de um 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 40%, devendo a temperatura ser sempre igual ou superior a 10°C . No caso de as variações de temperatura e humidade relativa, durante os ensaios, excederem os valores que constam na Tabela 4.2, devem ser efectuadas correcções que tenham em conta a absorção sonora do ar, conforme se verá adiante. Caso contrário, poderão omitir-se tais correcções [26].

Tabela 4.2 - Requisitos para os valores da Temperatura e da Humidade Relativa durante a medição do Tempo de Reverberação [26].

Humidade Relativa durante as medições	Variação permitida da Humidade Relativa	Variação permitida da Temperatura	Temperatura mínima permitida
Inferior a 60%	3 %	3 °C	10 °C
Superior a 60%	5 %	5 °C	10 °C

De salientar que as variações permitidas na segunda e terceira colunas do Tabela 4.2, correspondem à diferença entre os valores máximos e mínimos medidos durante todo o ensaio, da Humidade Relativa e Temperatura, respectivamente.

4.4.2. MEDIÇÃO DO TEMPO DE REVERBERAÇÃO

Existem dois métodos preconizados na norma em vigor, nomeadamente o método do ruído interrompido e o método da resposta impulsiva integrada. No primeiro método, a curva de decaimento medida é consequência de um tratamento estatístico, sendo por isso necessário calcular a média de varias curvas de decaimento, ou tempos de reverberação, medidos para uma posição de fonte/microfone de forma a obter uma repetitibilidade adequada. O método da resposta impulsiva integrada de um compartimento, é uma função determinística sem propensão a desvios estatísticos, não sendo necessário calcular médias. Este método necessita de equipamentos mais sofisticados em consequência de utilizar também métodos de processamento de resultados mais sofisticados [26].

Os microfones a utilizar nos ensaios, devem ser omnidireccionais devendo os registos ser feitos com diferentes posições dos microfones, com um afastamento entre si, no mínimo de 1,5 metros, 2 metros da fonte sonora e a 1 metro de distancia das superfícies das paredes da câmara e do material em estudo [26].

A fonte sonora deve também ser omnidireccional, devendo-se utilizar também várias posições para a fonte sonora, com um espaçamento mínimo de 3 metros.

Por ultimo, relativamente ao número de posições dos microfones e da fonte, devem ser no mínimo de três para os microfones, e de duas para a fonte sonora. O numero de posições dos microfones vezes o numero de posições da fonte sonora deve ser pelo menos de 12, conseguindo-se assim obter as 12 curvas de decaimento independentes (no espaço) [26].

4.4.2.1. Método do ruído interrompido

Neste método, a fonte sonora deve emitir um som que apresente um espectro contínuo de banda larga ou banda estreita. No caso de se utilizar um ruído de banda larga, o espectro do ruído usado deve ser tal que as diferenças nos níveis de pressão sonora resultantes na câmara sejam menores que 6 dB em bandas de terço de oitava adjacentes. Quando se utilizar um ruído de banda limitada, a largura de banda deve ser pelo menos um terço de oitava [26].

O sinal de excitação deve ter uma duração suficiente para que se possam produzir níveis de pressão sonora constantes nas diferentes bandas de frequência, antes de este ser interrompido. O tempo de

excitação deve ser pelo menos metade do tempo de reverberação esperado de modo a se obterem valores constantes nas medições [26].

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 obtido utilizam-se para calcular a média aritmética [26].

O sistema de aquisição deve ser um registrador de nível sonoro ou qualquer outro equipamento adequado à determinação da 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, nalguns casos com pausas de duração considerável entre a determinação dessas médias.

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

4.4.3. CÁLCULO DOS RESULTADOS

O tempo de reverberação da Câmara Reverberante sem e com amostra, T_1 e T_2 respectivamente, podem ser determinados pela média aritmética do número total de medições, em cada banda de frequência, e devem apresentar no mínimo duas casas decimais.

Calculados T_1 e T_2 , procede-se ao cálculo das áreas de absorção das áreas de absorção sonora equivalente N_a para $n=1$ no caso da câmara vazia, e $n=2$ para o caso da câmara com a amostra [26], utilizando para isso a expressão seguinte:

$$A_n = \frac{55.3V}{c_n T_n} - 4Vm_n \quad (4.13)$$

em que,

V – é o volume da Câmara Reverberante, em metros cúbicos;

c_n – é a velocidade de propagação do som no ar em metros por segundo e pode ser calculada pela seguinte expressão: $c=331 + 0.6t_n$ (m/s), sendo t_n a temperatura do ar, em °C (variando entre 15 °C e 30 °C);

T_n – tempo de reverberação, em segundos;

m_n – coeficiente de absorção sonora do ar, em 1/m, calculada de acordo com a ISO 9613-1, usando as condições climáticas da Câmara Reverberante.

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 [26]:

$$A=A_1-A_2=55.3V\left(\frac{1}{c_2T_2}-\frac{1}{c_1T_1}\right)-4V(m_2-m_1) \quad (4.14)$$

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

$$\alpha_s = \frac{A}{S} \quad (4.15)$$

em que,

A – é área de absorção sonora equivalente do material, em metros quadrados;

S – é a área da amostra, em metros quadrados (no caso de existir uma montagem tipo J, a área da amostra, é a área envolta pela estrutura).

4.4.4 – APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E RELATÓRIO DE ENSAIO

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

- a) *Nome da organização que efectuou o ensaio;*
- b) *Data do teste;*
- c) *Descrição da amostra e a sua área, o tipo de montagem e a sua posição na câmara, de preferência através de desenhos;*
- d) *a forma da Câmara Reverberante, o seu tratamento de difusão (numero e tamanho dos difusores), o numero de microfones/fontes sonoras e as suas posições;*
- e) *as dimensões da Câmara Reverberante, o seu volume V, e a área total das suas superfícies (paredes, laje e tecto), S_i ;*
- f) *a temperatura e a humidade relativa durante as medições da Câmara Reverberante, vazia e com as amostras;*
- g) *a média dos Tempos de reverberação T1 e T2, para cada frequência;*
- h) *os resultados do teste.*

No que diz respeito à alínea h) 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).

4.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No capítulo seguinte, iremos aplicar as diversas metodologias que aqui foram abordadas, para se obterem os valores dos coeficientes de Absorção Sonora.

Futuramente, para além dos tradicionais ensaios de obtenção do Coeficiente de Absorção Sonora pelo Método da Câmara Reverberante, descritos neste capítulo (elementos absorventes planos), iremos também ensaiar o mesmo material mas sob a forma de absorventes suspensos (Baffles).

5

APLICAÇÃO DAS METODOLOGIAS

5.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo pretende-se calcular o valor do coeficiente de absorção sonora do material em estudo, aplicando as diferentes metodologias apresentadas no capítulo anterior, subdividindo-se assim em três sub capítulos:

O primeiro onde se explica como se aplicou o método teórico de Mechel, através da utilização de um software de cálculo, o WinFLAG. A escolha deste modelo prendeu-se com o facto de ser um modelo que necessita de um número reduzido de propriedades físicas do material em estudo, as quais poderiam ser quantificadas com os equipamentos disponíveis.

No segundo sub capítulo, que diz respeito ao Método do Tubo de Ondas Estacionárias, é explicado como foi realizado o ensaio, quais os problemas encontrados, e soluções adoptadas para ultrapassar estes mesmos obstáculos.

No terceiro e último sub capítulo, explica-se como foi realizado o ensaio na Câmara Reverberante, e quais os obstáculos e soluções adoptadas. Justifica-se inicialmente a escolha da amostra utilizada neste ensaio, devido há limitação que tínhamos de fabricar uma só amostra (com determinada densidade e espessura). Esta justificação, para além dos resultados obtidos nas outras metodologias, teve também em linha de conta outras condicionantes (pretendia-se também avaliar futuramente o seu comportamento como elemento absorvente suspenso).

De forma a abreviar a designação das características do material utilizado em cada ensaio, opta-se por designar o material com densidade “i” e espessura “j”:

$$D_iE_j$$

com i em kg/m³ e j em mm.

Por exemplo, D60E100 representa uma amostra de material com densidade de 60 kg/m³ e espessura 100 mm.

Todos os resultados do Coeficiente de Absorção Sonora obtidos neste capítulo, encontram-se no Anexo 4.

5.2. MODELO TEÓRICO MECHEL

5.2.1. INTRODUÇÃO

Devido ao curto espaço temporal em que este trabalho é forçado a desenrolar-se, torna-se inviável o estudo e aplicação de todos os Modelos Teóricos existentes para o cálculo do coeficiente de absorção sonora.

Assim, após uma análise às características dos materiais que constituem o “input” de cada um dos modelos teóricos referidos no Capítulo 4, e às características cuja determinação era viável dentro das capacidades laboratoriais disponíveis, foi escolhido o Modelo Teórico de Mechel.

5.2.2. CÁLCULO DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORO

As características acústicas de materiais fibrosos, nomeadamente, a constante de propagação, Γ_{an} , a impedância sonora, Z_{an} , e a resistência específica ao fluxo de ar, Ξ , foram investigadas para um grande número de materiais de diferentes tipos (lãs minerais, fibras de vidro), e têm sido estudadas correlações destas características com parâmetros como a densidade, o diâmetro das fibras, e a compressibilidade, com métodos teóricos e experimentais.

Um dos resultados destes estudos é a conclusão de que a maior parte dos materiais fibrosos que são comercializados pode ser descrito por um conjunto de equações, tendo como um dos parâmetros a variável adimensional E , função da frequência e da resistência ao fluxo de ar:

$$E = \frac{\rho_0 f}{\Xi} \quad (5.1)$$

Sendo que:

ρ_0 - densidade do ar (1,205 g/m³).

O Modelo de Mechel propõe quatro equações para o cálculo da constante característica complexa normalizada de propagação, Γ , e para a impedância normalizada da onda, Z . Duas dessas equações calculam os dois parâmetros referidos anteriormente para as frequências baixas e as outras duas equações fazem-no para frequências médias e altas.

As equações são:

Para $E \leq E_x$ (Baixas frequências):

$$\Gamma_{an} = j \sqrt{1 - j \left(\frac{\gamma}{2\pi E} \right)} \quad (5.2)$$

$$Z_{an} = \left(\frac{1}{j\gamma h} \right) \Gamma_{an} \quad (5.3)$$

Sendo que:

$\gamma = 1.403$ o expoente adiabático do ar e

h - a porosidade do material absorvente.

Para $E > E_x$ (Médias e altas frequências):

$$\Gamma_{an} = \frac{0.2082}{E^{0.6193}} + j \left(1 + \frac{0.1087}{E^{0.6731}} \right) \quad (5.4)$$

$$Z_{an} = \left(1 + \frac{0.06082}{E^{0.717}} \right) - j \left(\frac{0.1323}{E^{0.6601}} \right) \quad (5.5)$$

com os valores do ponto de transição E_x dados pela seguinte tabela:

Tabela 5.1 – Valores do ponto de transição E_x .

Componente	Transição E_x
Γ'_{an}	0.04
Γ''_{an}	0.008
Z'_{an}	0.006
Z''_{an}	0.02

Para determinar o valor do coeficiente de absorção sonora partindo das equações apresentadas atrás deverá prosseguir-se com o cálculo dos seguintes parâmetros:

O ângulo de refacção – θ_1

$$\cos \theta_1 = \frac{(\Gamma_{an}^2 + \sin \theta_1)}{\Gamma_{an}^2} \quad (5.6)$$

A impedância normalizada da parede – $z = Z_1 / Z_0$

$$z = \frac{Z_{an} / \cos \theta_1}{\tanh(k_0 d \Gamma_{an} \cos \theta_1)} \quad (5.7)$$

O factor de reflexão – $r(\theta)$

$$r(\theta) = \frac{(Z \cos \theta - 1)}{(Z \cos \theta + 1)} \quad (5.8)$$

Coeficiente de absorção sonora para incidência oblíqua – $\alpha(\theta)$

$$\alpha(\theta) = 1 - |r(\theta)|^2 \quad (5.9)$$

Coeficiente de absorção sonora para incidência difusa – α_{st}

$$\alpha_{st} = 2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \alpha(\theta) \cos \theta \sin \theta. d\theta \quad (5.10)$$

Nas equações anteriores, θ é o ângulo de incidência; θ_1 é o ângulo complexo de refração no material absorvente (contabiliza as perdas por refração no material); $k_0 = \omega / c_0$, número de onda em campo livre; z é a impedância normalizada da parede.

Optou-se o por utilizar o software de cálculo WinFLAG para os resultados da aplicação do Modelo de Mechel às características do material em estudo, uma vez que este método utiliza expressões matemáticas complexas, com muitas variáveis, e por isso de difícil programação e informatização. Este tem vantagem de ser de rápida resolução e de simples interface.

Seguem-se algumas imagens da interface do software (Fig. 5.1 e 5.2 e 5.3):

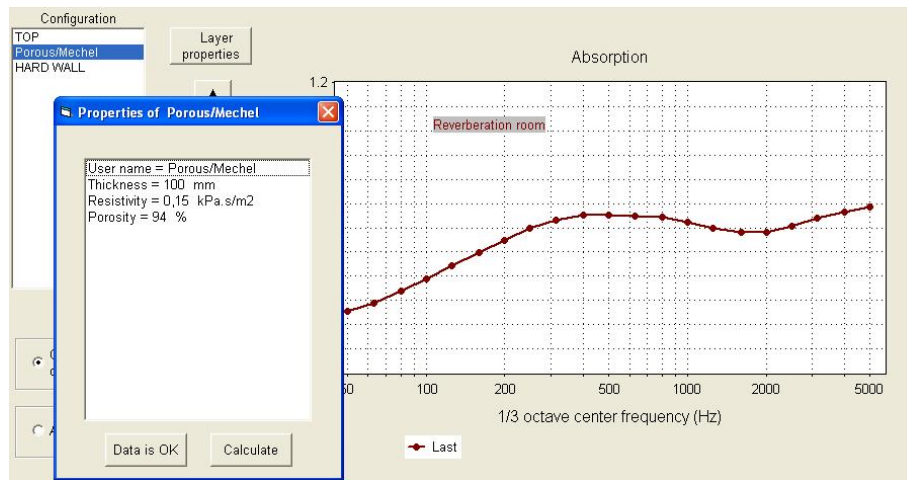


Fig. 5.1 – Imagem da interface do software.

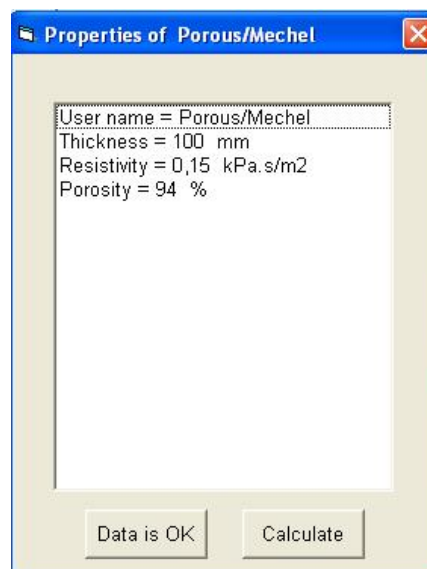


Fig 5.2. – Imagem da janela de input de dados do software.

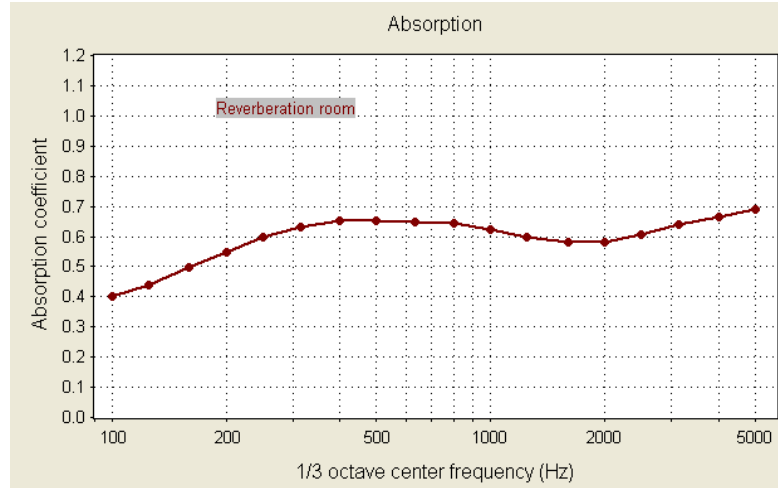


Fig. 5.3 – Imagem do output gráfico do software.

Os dados relativos à resistência ao fluxo de ar, Ξ , foram obtidos laboratorialmente e resultam da experimentação sobre uma amostra do material, utilizando o equipamento PORTAIR, modelo FX 3360 (Fig 5.4). As unidades dos dados finais do ensaio estavam em unidades diferentes das pedidas como “input” do software usado. Assim teve de se proceder à conversão que se descreve de seguida.

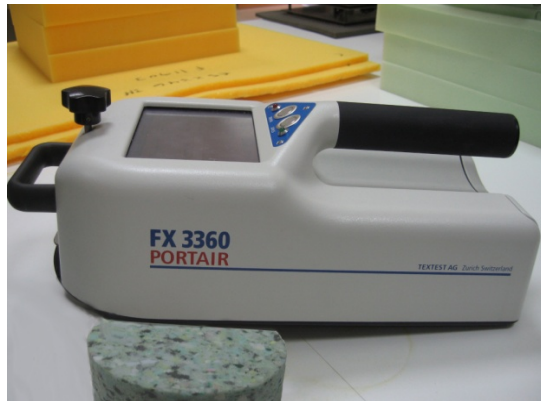


Fig. 5.4– Imagem do equipamento utilizado para a determinação da resistência ao fluxo de ar.

A unidade dos valores obtidos laboratorialmente é:

$$\frac{l}{\frac{dm^2}{\min}} = \frac{dm}{\min} = \frac{10^{-1} \min}{60s} = \frac{1}{600} m/s \quad (5.11)$$

A unidade dos valores de “input” no software é:

$$\frac{KPa}{m^2} = 10^3 \frac{N}{m^2} \cdot \frac{s}{m^2} = 10^3 \frac{kg \cdot m}{s^2} \cdot s^{-1} = 10^3 \cdot \frac{kg}{m^3} \cdot s^{-1} \quad (5.12)$$

Analisando as duas equações verifica-se que estas são relacionáveis por meio de um factor $[Q]$, definido como:

$$[Q] = Kg^{-1} \cdot m^4 \quad (5.13)$$

Aplicando ao sistema em análise:

$$\frac{1}{600} m.s^{-1} = Q.10^3 \cdot \frac{Kg}{m^3} .s^{-1} \quad (5.14)$$

$$\frac{1}{600} m.s^{-1} = Q.10^3 .\rho.s^{-1} \quad (5.15)$$

$$\frac{1}{600} m /_s . \frac{1}{Q} = \frac{1}{600} . \frac{\rho_0}{t} \quad (5.16)$$

Conclui-se que os valores laboratoriais têm de ser divididos por 600, multiplicados pela densidade do ar, ρ_0 , e divididos pela espessura da amostra, t , para serem úteis no modelo em uso.

Os valores da Tabela 5.2 dizem respeito aos valores de resistência ao fluxo de ar do Aglomex Acoustic “pintado” medidos a partir dos provetes de ensaio do tubo de ondas estacionárias. Verificamos, que os valores de resistência ao fluxo do ar comparativamente com os resultados já conhecidos do Aglomex Acoustic “não pintado”, apresentados na Tabela 3.2 do capítulo 3, eram muito diferentes, chegando mesmo alguns deles a ser inferiores à unidade.

Decidimos avaliar novamente os valores da resistência ao fluxo do ar com os provetes utilizados na Câmara Reverberante, para vermos se existiam diferenças significativas entre estes valores e os anteriormente determinados com os provetes utilizados no Tubo de Ondas Estacionárias.

Concluiu-se que os valores anteriormente determinados, eram muitíssimo inferiores a estes novos valores. Estes últimos aproximavam-se mais dos valores do Aglomex Acoustic “não pintado”, e eventualmente com um comportamento mais realista. A pintura não deveria provocar no material reduções tão significativas da resistência ao fluxo do ar. Eram de esperar que algumas diferenças nos valores de resistência ao fluxo de ar, mas não tão acentuadas.

Optou-se então por descartar os valores inicialmente determinados, e utilizar estes últimos para a aplicação do Modelo Teórico, para se poder depois comparar com os resultados obtidos na Câmara Reverberante.

Os novos valores da resistência ao fluxo do ar, para as amostras de D60E100, utilizadas nos ensaios da Câmara Reverberante, são os apresentados na Tabela 5.3.

Tabela 5.2 – Dados de input no software do material Aglomex Acoustic “pintado” inicialmente determinados.

Densidade (kg/m ³)	Espessura (mm)	Valores medidos (l/dm ² /min)			Média	Porosidade, h (%)	Resistência ao fluxo Ξ (KPa.s./m ²)
60	30	2.38	2.46	6.62	3.82	94	0.27
	60	2.75	1.54	1.53	1.94		0.14
	100	4.05	1.39	0.74	2.06		0.15
90 ³	30	4.8	0.72	0.84	2.12	91	0.15
	60	1.78	6.59	0.88	3.08		0.22
	100	0.59	< 0.3	< 0.3	0.20		0.01
120 ³	30	2.77	1.28	0.84	1.63	88	0.12
	60	5.95	2	0.58	2.84		0.20
	100	0.81	< 0.4	< 0.5	0.27		0.02
200	30	2.63	1.86	1.66	2.05	80	0.15
	60	3.52	< 0.6	6.25	3.26		0.23
	100	< 0.4	2.74	1.49	1.41		0.10

Tabela 5.3 – Dados de input no software do material Aglomex Acoustic “pintado”, D60E60, determinados a partir das amostras da Câmara Reverberante (valores adoptados para o calculo deste Modelo Teórico).

Densidade (kg/m ³)	Espessura (mm)	Amostra, Ai	Valores medidos por amostra (l/dm ² /min)	Média	Porosidade, h (%)	Resistência ao fluxo Ξ (KPa.s/m ²)
60	100	A1	141	139.2	94	2.99
		A2	85.2			
		A3	200			
		A4	226			
		A5	166			
		A6	80.3			
		A7	100			
		A8	270			
		A9	239			
		A10	155			
		A11	38.7			
		A12	162			
		A13	87.7			
		A14	280			
		A15	38.8			
		A16	49.1			
		A17	46.8			
		A18	140			

Na Fig. 5.5, pretende mostrar-se a comparação dos valores de permeabilidade entre o Aglomex Acoustic, Aglomex Acoustic “pintado” obtido pelos provetes do Tubo de Ondas Estacionárias, e o Aglomex Acoustic “pintado” obtido pelos provetes utilizados na Câmara Reverberante (D60E60).

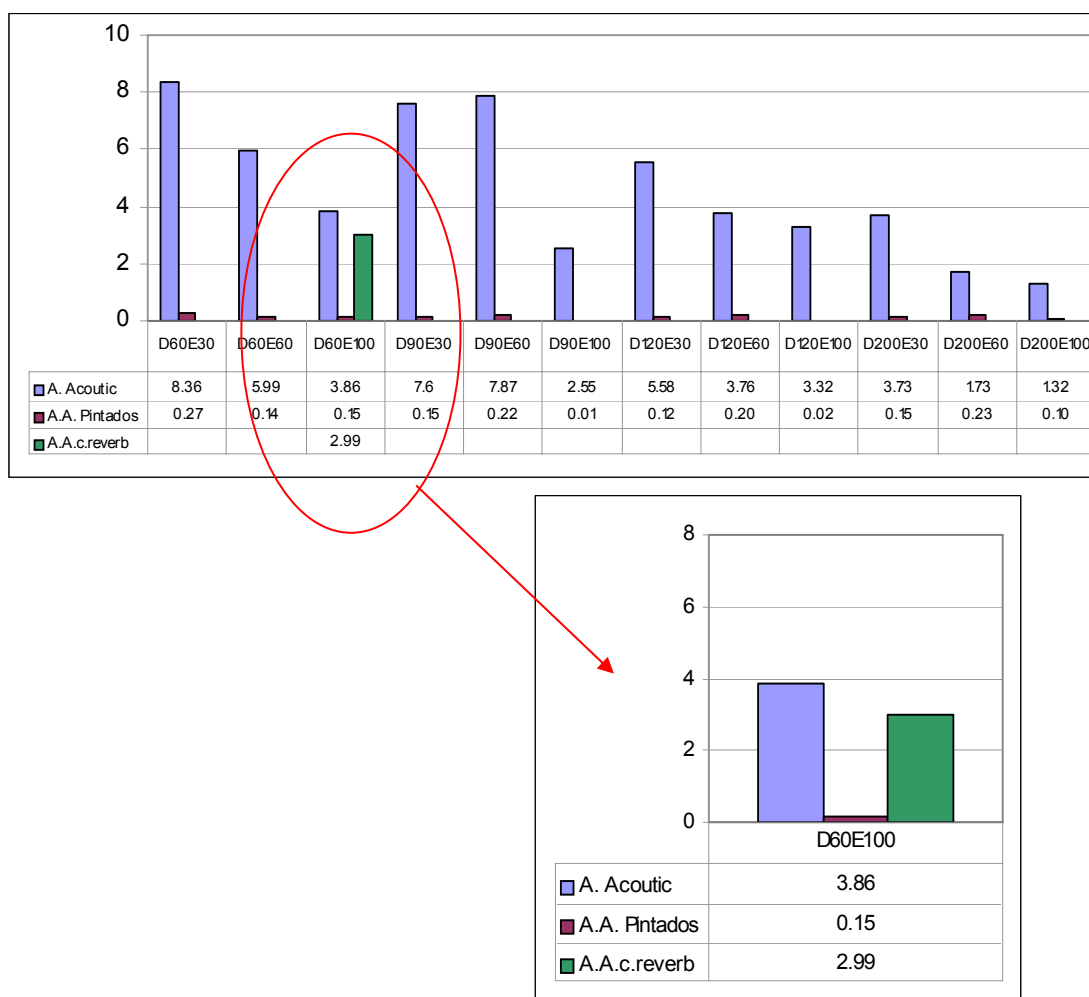


Fig. 5.5– Comparação de valores da resistência ao fluxo do ar, entre os diferentes materiais Aglomex Acoustic, Aglomex Acoustic “pintado” para Tubo de Ondas Estacionárias e Aglomex Acoustic “pintado” para a Câmara Reverberante.

Apresenta-se ainda na Fig 5.6, os resultados que se obteriam caso utiliza-se-mos os valores da resistência ao fluxo do ar medidos nos provetes utilizados no Tubo de Ondas Estacionárias e nos provetes utilizados na Câmara Reverberante, para a densidade de 60 kg/m^3 e espessura 100 mm.

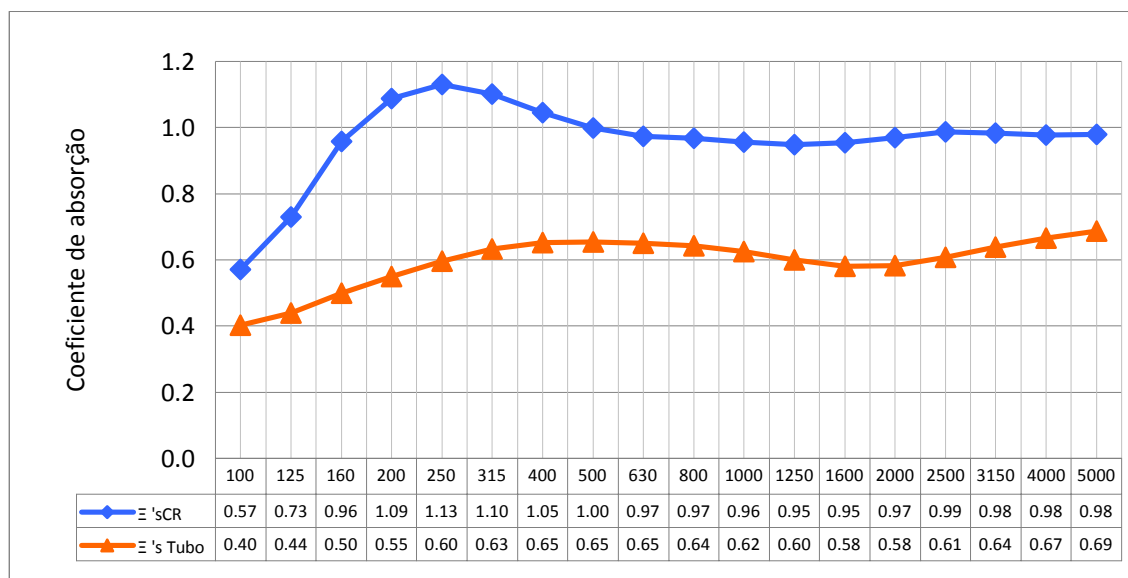


Fig. 5.6 - Gráfico dos valores do Coeficiente de Absorção Sonora, obtidos pelo Modelo Teórico, para a densidade de 60 kg/m^3 , com os valores de resistência ao fluxo de ar, medidos a partir dos provetes utilizados na Câmara Reverberante (CR), e com os provetes do Tubo de Ondas Estacionárias (tubo).

A disparidade dos valores lidos entre os provetes do Tubo de Ondas Estacionárias e os provetes da Câmara Reverberante, podem ser justificados por duas situações:

- Dificuldade de leitura nos provetes do tubo de ondas estacionárias, uma vez que a base de apoio do equipamento era muito reduzida. O equipamento necessitou de ser permanentemente segurado para realizar a leitura, o que por si só ocasiona erros de leitura provocados pelo operador.
- O aglomerado apresenta variações de 20% (valor máximo admitido pela fábrica na sua especificação comercial) nas restantes características (densidade e dureza) pelo que também se deverão esperar valores de renitência ao fluxo do ar bastante divergentes.

O equipamento utilizado (PORTAIR, modelo FX 3360) encontrava-se em bom estado e calibrado, tendo sido utilizado em muitíssimas medições, e sempre com resultados fiáveis, pelo que é de descartar a hipótese de avaria deste equipamento.

Tendo em conta os resultados obtidos nas medições da resistência ao fluxo do ar, concluímos que estes não deverão ser determinados em amostras de dimensões reduzidas, como por exemplo as de dimensões utilizadas no Tubo de Ondas Estacionárias. Deverão ser sempre medidas numa amostra de maior dimensão, para permitir uma boa estabilidade do equipamento, e reduzir a probabilidade de encontrar zonas no material com uma resistência ao fluxo de ar anormal.

Os resultados aqui apresentados, evidenciam bem a importância que tem este parâmetro, para uma correcta avaliação da absorção teórica de um material. Deve-se por isso avaliar este parâmetro da melhor forma possível, sem erros, pois só assim se obtêm resultados mais fiáveis.

5.2.3. Resultados obtidos pelo modelo teórico de Mechel

5.2.3.1. Valores do coeficiente de absorção sonora para densidade 60 kg/m^3

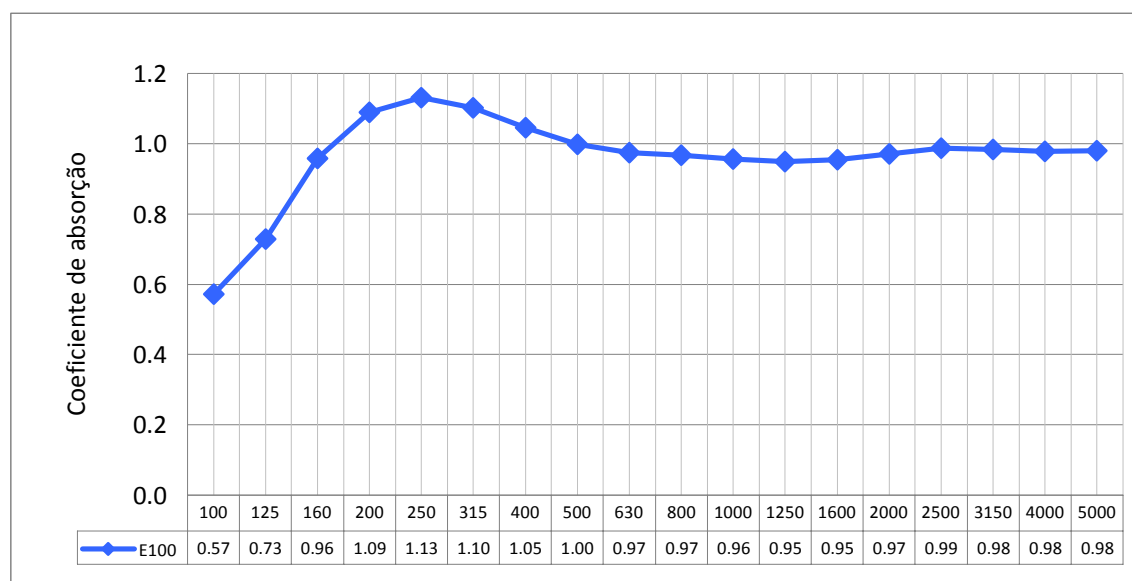


Fig. 5.7 - Gráfico dos valores do Coeficiente de Absorção Sonora, obtidos pelo Modelo Teórico, para a espessura ensaiada de 100mm e densidade 60 kg/m^3 .

No gráfico da Fig 5.7, apresentam-se os resultados do Coeficiente de Absorção Sonora, em função da frequência, dos ensaios realizados pelo Modelo Teórico de Mechel, para a espessura ensaiada de 100 mm e densidade de 60 kg/m^3 ,

5.3. ENSAIOS NO TUBO DE ONDAS ESTACIONÁRIAS

5.3.1. INTRODUÇÃO

Neste segundo sub capítulo, que diz respeito ao Método do Tubo de Ondas Estacionárias, explicaremos os procedimentos e soluções adoptadas mediante as dificuldades que fomos encontrando ao longo da realização deste presente trabalho.

Devido ao número excessivo de resultados, encontram-se no Anexo 4 os resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para toda a gama de material estudado.

5.3.2. EQUIPAMENTO UTILIZADO

Para o cálculo do coeficiente de absorção sonora do material em estudo pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias, foi utilizado o equipamento disponibilizado pela F.E.U.P (Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto), sendo eles:

- Tubo de Ondas Estacionárias Brüel & Kjaer TYPE 4002
- Sonómetro Brüel & Kjaer 2231 (verificado no ISQ –Bol. Ver. 12/70338 de 29 de Novembro de 2007)
- Fonte Brüel & Kjaer TYPE 1024

Apresenta-se na Figura 5.8, o equipamento utilizado anteriormente enunciado:



Fig. 5.8 – Tubo de Ondas Estacionárias da F.E.U.P.

5.3.3. ADOÇÃO DO TIPO DE TUBO A UTILIZAR CONSOANTE AS FREQUÊNCIAS DE TRABALHO A ESTUDAR

De acordo com o que foi explicado no capítulo 4, foi necessário determinar qual o tipo de tubo a utilizar para cada frequência. O Tubo de Ondas Estacionárias utilizado é constituído por dois tubos circulares de secção transversal circular, com as seguintes dimensões:

- Tubo Grande: comprimento (l)=1,0 m; diâmetro (d)=0,10;
- Tubo Pequeno: comprimento (l)=0,31 m; diâmetro (d)=2,9.

O tubo grande será utilizado nas baixas frequências e o tubo pequeno para frequências mais altas. Interessa agora definir a partir de que frequência se faz a transição do tubo grande para o tubo pequeno.

Na tabela que se segue encontram-se a gama de frequências que é possível utilizar com cada um dos tubos referidos anteriormente:

Tabela 5.4 – Gama de frequências que se podem medir com o Tubo de Ondas Estacionárias disponível.

Frequência (Hz)	c_0 (m/s)	λ_0 (m)	Tubo grande $l=1$ m; $d=0,10$				Tubo Pequeno $l=0,30$ m $d=0,03$			
			$l \geq 3\lambda_0/4$	$l \geq 250/f+3d$	$d \leq 0,58*\lambda_0$	$f*d \leq 200$	$l \geq 3\lambda_0/4$	$l \geq 250/f+3d$	$d \leq 0,58*\lambda_0$	$f*d \leq 200$
100	343.3	3.43	2.57	2.80	1.99	10.00	2.57	2.59	1.99	3.00
125	343.3	2.75	2.06	2.30	1.59	12.50	2.06	2.09	1.59	3.75
160	343.3	2.15	1.61	1.86	1.24	16.00	1.61	1.65	1.24	4.80
200	343.3	1.72	1.29	1.55	1.00	20.00	1.29	1.34	1.00	6.00
250	343.3	1.37	1.03	1.30	0.80	25.00	1.03	1.09	0.80	7.50
315	343.3	1.09	0.82	1.09	0.63	31.50	0.82	0.88	0.63	9.45
400	343.3	0.86	0.64	0.93	0.50	40.00	0.64	0.72	0.50	12.00
500	343.3	0.69	0.51	0.80	0.40	50.00	0.51	0.59	0.40	15.00
630	343.3	0.54	0.41	0.70	0.32	63.00	0.41	0.49	0.32	18.90
800	343.3	0.43	0.32	0.61	0.25	80.00	0.32	0.40	0.25	24.00
1000	343.3	0.34	0.26	0.55	0.20	100.00	0.26	0.34	0.20	30.00
1250	343.3	0.27	0.21	0.50	0.16	125.00	0.21	0.29	0.16	37.50
1600	343.3	0.21	0.16	0.46	0.12	160.00	0.16	0.25	0.12	48.00
2000	343.3	0.17	0.13	0.43	0.10	200.00	0.13	0.22	0.10	60.00
2500	343.3	0.14	0.10	0.40	0.08	250.00	0.10	0.19	0.08	75.00
3150	343.3	0.11	0.08	0.38	0.06	315.00	0.08	0.17	0.06	94.50
4000	343.3	0.09	0.06	0.36	0.05	400.00	0.06	0.15	0.05	120.00
5000	343.3	0.07	0.05	0.35	0.04	500.00	0.05	0.14	0.04	150.00

Valores para os quais correspondem frequências que podem ser estudadas no Tubo grande

Valores para os quais correspondem frequências que podem ser estudadas no Tubo pequeno

Valores para os quais correspondem frequências que não podem ser estudados em nenhum dos tubos

Valores para os quais correspondem frequências que podem ser estudadas em ambos os tubos

Assim, pela análise do Tabela 5.4, conclui-se que cada tubo pode ser utilizado nos seguintes intervalos de frequências:

- Tubo grande: $400 \leq f \leq 1600$ (Hz);
- Tubo Pequeno: $1250 \leq f \leq 5000$ (Hz).

Após comparação dos valores medidos em cada tubo no intervalo comum aos dois, decidiu-se optar por utilizar o tubo grande no intervalo de frequências dos 400 até aos 1000 Hz e o tubo pequeno com 0.31 m dos 1250 Hz até aos 5000 Hz, uma vez que se verificava na maioria dos casos uma maior continuidade e estabilidade dos gráficos.

As frequências inferiores a 400 Hz serão medidas com o tubo grande, apesar de não terem grande validade, e serão representadas sob a forma de pontos descontínuos.

Apresenta-se na Fig. 5.9, um gráfico onde se pretende demonstrar o que aqui foi referido anteriormente.

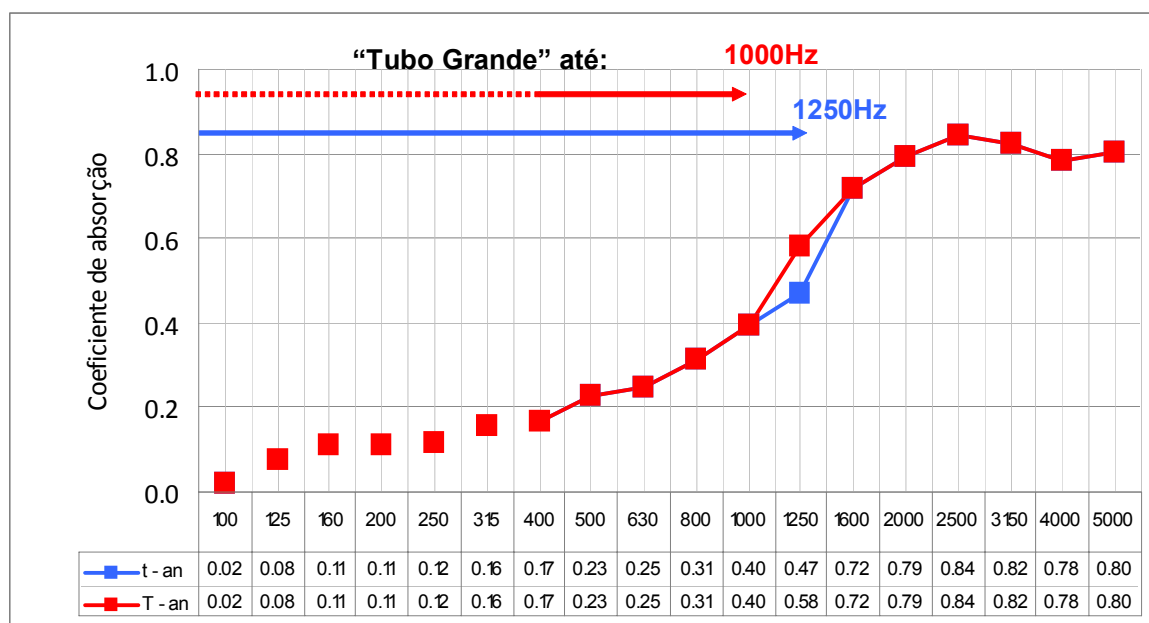


Fig. 5.9– Valores dos coeficientes de absorção medidos para a frequência dos 1250 Hz com utilização do tubo grande até aos 1000 Hz (T) e até aos 1250 Hz (t).

Como se pode observar pelo gráfico da Fig. 5.9, existe uma maior quebra nos valores quando utilizado o tubo grande até à frequência dos 1250 Hz. Por isso optamos por determinar esta frequência a partir do tubo pequeno, como tentativa de obter valores mais constantes e por isso uma maior linearidade da curva.

5.3.4. ATENUAÇÃO DO TUBO

Para o cálculo da atenuação do tubo utilizamos a equação (4.7), uma vez que os valores determinados a partir das equações (4.5) e (4.6), e por isso com a determinação dos valores de pressão mínimo e máximo, bem como as distancias aos valores mínimos, conduziam a valores irreais da absorção sonora.

Existia também a impossibilidade de determinar dois valores mínimos de pressão sonora consecutivos nas baixas frequências. O tubo utilizado não tinha comprimento suficiente para fazer face aos comprimentos de ondas elevados que ocorrem nas baixas frequências. Assim utilizou-se a expressão (4.7) para todas as frequências obtendo-se valores de absorção sonora plausíveis.

Os valores então determinados são os apresentados na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 – Atenuação do tubo Ko'' considerada para o cálculo dos valores de absorção sonora.

Frequência (Hz)	c0	k0''
100	343.3	5.65E-05
125	343.3	6.32E-05
160	343.3	7.15E-05
200	343.3	7.99E-05
250	343.3	8.94E-05
315	343.3	1.00E-04
400	343.3	1.13E-04
500	343.3	1.26E-04
630	343.3	1.42E-04
800	343.3	1.60E-04
1000	343.3	1.79E-04
1250	343.3	2.00E-04
1600	343.3	2.26E-04
2000	343.3	2.53E-04
2500	343.3	2.83E-04
3150	343.3	3.17E-04
4000	343.3	3.57E-04
5000	343.3	4.00E-04

5.3.5. CONDIÇÕES DE MONTAGEM DA AMOSTRA

A norma prevê a montagem da amostra com um espaço de ar atrás, t , de modo a que este funcione como um dispositivo dissipador de pressão. Esse espaço de ar deve ter um comprimento determinado pela seguinte equação:

$$t = \frac{\lambda_0}{4} \quad (5.18)$$

em que,

λ_0 - comprimento de onda.

Criou-se assim a Tabela 5.6, com o conjunto de valores de t , por frequência:

Tabela 5.6 – Dimensões da caixa-de-ar imposta pela norma.

Frequência [Hz]	t [m]	Frequência [Hz]	t [m]
100	0,858	800	0,107
125	0,686	1000	0,086
160	0,536	1250	0,069
200	0,429	1600	0,054
250	0,343	2000	0,043
315	0,272	2500	0,034
400	0,214	3150	0,027
500	0,172	4000	0,021
630	0,136	5000	0,017

Após uma análise aos resultados de t , expostos na tabela anterior, quando comparados com as possibilidades de materializar tais dimensões com o material disponível para a realização do presente trabalho, concluímos da impossibilidade de cumprir tais parâmetros para todas as frequências.

Assim, de modo a esclarecer qual o erro que se pratica ao suprimir a caixa-de-ar atrás da amostra, foram feitas algumas experiências e avaliados os resultados.

O gráfico que se segue (Fig 5.10) representa os valores obtidos para a amostra de densidade 60 kg/m^3 de e espessura 30 mm de Aglomex Acoustic, colocada de várias formas:

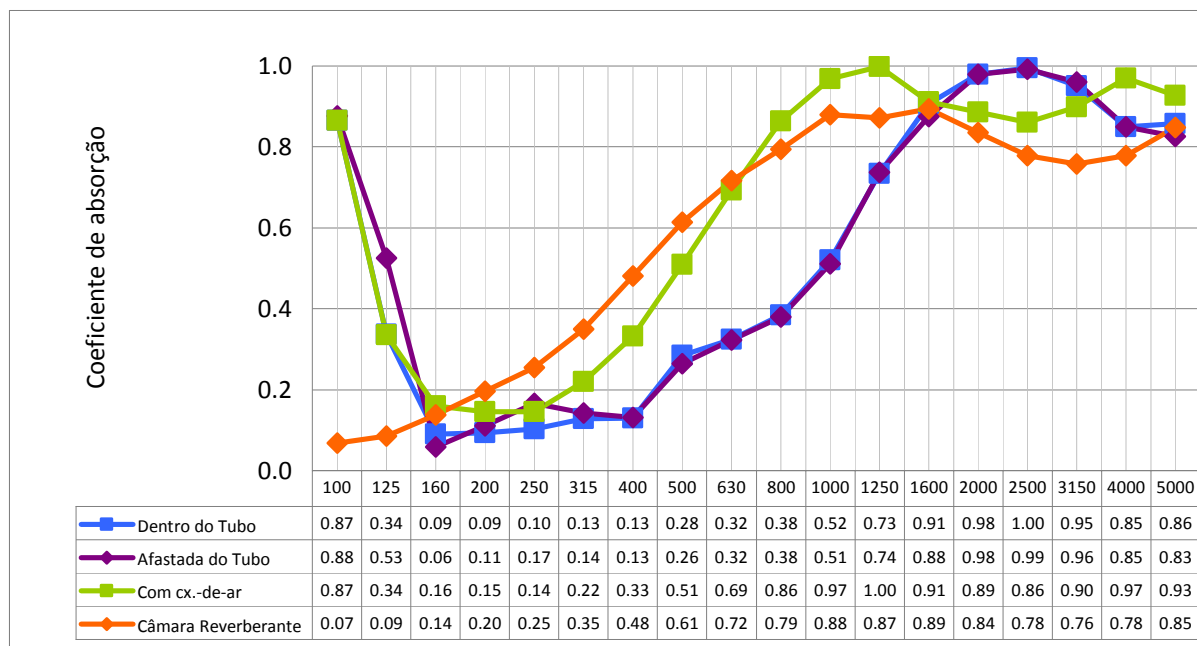


Fig. 5.10 - Valores dos coeficientes de absorção sonora, para a amostra de densidade 30 kg/m^3 e espessura 30 mm, colocada de várias forma no Tubo de Ondas Estacionárias. “Dentro do Tubo” – amostra parcialmente no interior do Tubo de Ondas Estacionárias; “Afastada do tubo” – amostra colocada com afastamento à boca do Tubo de Ondas Estacionárias; “ Com Cx.-de-ar” – amostra colocada com uma caixa-de-ar na parte posterior; “Câmara Reverberante” – valores de referência.

Tentou-se também variar comprimento t da caixa de ar, para as frequências em que se cumpria a norma, nomeadamente para as frequências dos 800 Hz aos 5000 Hz, para uma amostra de Aglomex Acoustic “pintado”, com densidade de 60 kg/m^3 e espessura de 30 mm.

Os resultados obtidos foram os do gráfico da Fig 5.11.

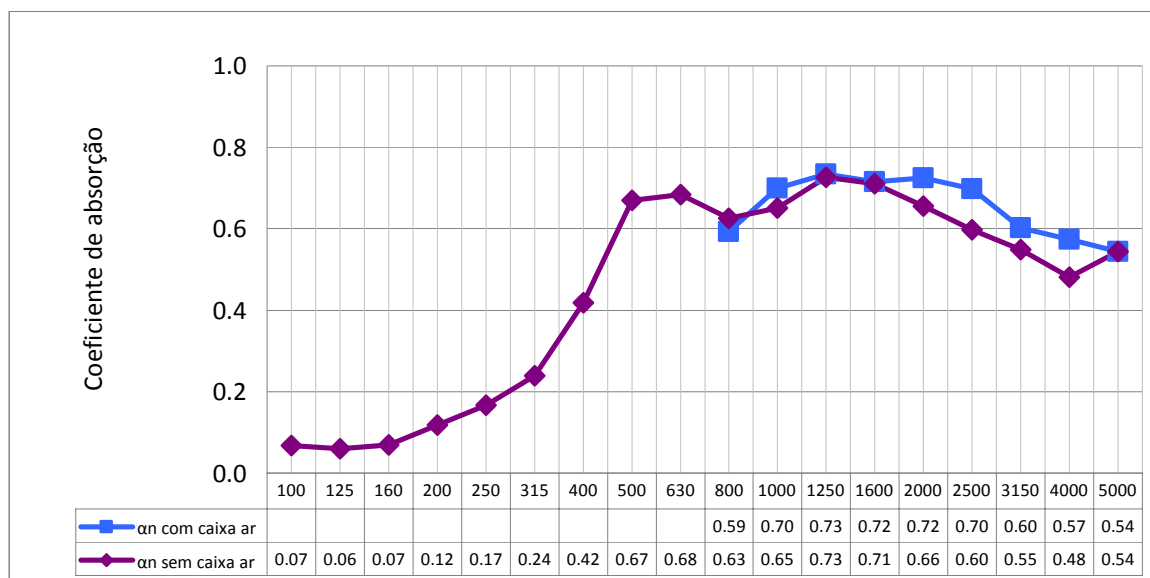


Fig. 5.11– Valores dos coeficientes de absorção de uma amostra de Aglomex Acoustic “pintada”, para uma incidência normal, α_n , com caixa-de-ar variável.

Pelo gráfico da Fig. 5.11, nota-se um ligeiro aumento do Coeficiente de Absorção Sonora nas frequências válidas de acordo com a norma, ou seja, entre os 800 Hz e os 5000 Hz, e um grande aumento nas restantes frequências, em especial nas baixas.

A existência de caixa-de-ar atrás da amostra, é em tudo semelhante ao comportamento de um painel vibrante, onde a eficácia de absorção é melhorada nas baixas e médias frequências (verificada na Fig 5.10).

Devido à indisponibilidade de meios, e para que os resultados tivessem alguma coerência que os pudesse relacionar, decidiu-se suprimir a caixa-de-ar. Existe por isso algum erro pela não consideração da caixa-de-ar, principalmente nas baixas frequências.

5.3.6. ADEQUAÇÃO DO EQUIPAMENTO A UMA AMOSTRA DE TESTE

Com o intuito de validar o equipamento utilizado ao material que pretendemos estudar, decidiu-se avaliar inicialmente uma amostra de teste, cujos valores de absorção sonora já haviam sido previamente determinados na Câmara Reverberante.

O material utilizado é uma espuma de poliuretano com 40 mm de espessura e 25 kg/m³ de densidade. Esta espuma não é um aglomerado, apresentando homogeneidade e isotropia.

Apresenta-se a seguir uma imagem do material utilizado (Fig. 5.12).

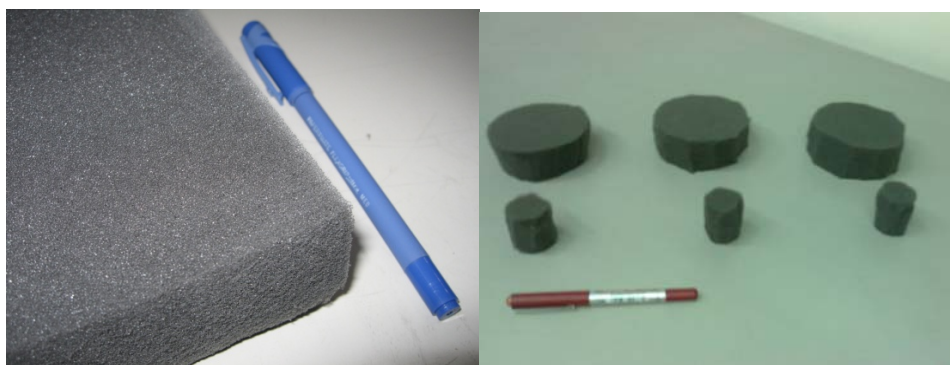


Fig. 5.12– Amostra de teste utilizada à base de espuma de poliuretano com 40 mm de espessura e 25 kg/m³ de densidade.

Procedeu-se à medição dos valores necessários para a determinação do valor do coeficiente de absorção sonora do material de teste, para então se comparar com os valores já conhecidos, determinados na Câmara Reverberante.

Registaram-se os valores da pressão mínima e pressão máxima (na realidade mediram-se níveis de intensidade sonoras, L_{min}^n e $K_{máx}^n$, sendo posteriormente convertidos em valores de pressão sonoras) assim como a distância a que esta pressão mínima ocorria, X_{min}^n .

Para tentar minimizar os erros nas medições foram efectuadas três medições para a amostra em causa, utilizando-se os valores médios para os cálculos posteriores.

Programou-se uma folha Excel com as expressões para o cálculo de S_n e r , equações (4.8) e (4.9) respectivamente, necessárias para a determinação do valor do coeficiente de absorção sonora, para uma incidência normal, α_n , com a equação (4.10).

Apresentam-se na Fig. 5.13, os resultados obtidos para o coeficiente de absorção sonora para incidência normal (α_n), e para os valores obtidos pela Câmara Reverberante (α_{CR}).

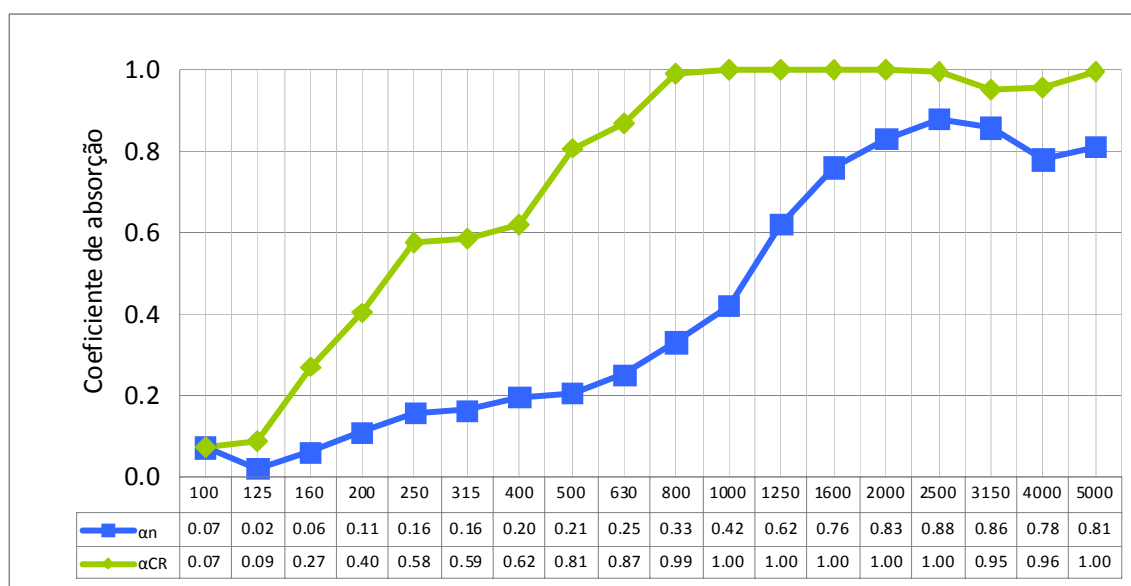


Fig. 5.13– Gráfico dos valores do Coeficiente de Absorção Sonora da amostra de teste, para incidência normal e Câmara Reverberante.

Conhecido o valor do Coeficiente de Absorção Sonora para uma incidência normal, foi necessário estimar o valor do coeficiente de absorção sonora, para um campo difuso, a partir da equação (4.11) preconizada na norma (α_{st}).

Logo se percebeu que os valores não retratavam de forma adequada a absorção sonora do material em estudo, como se pode ver na Fig.5.14. Os valores obtidos para α_{st} desenhavam uma curva bastante instável e com diferenças significativas em relação aos valores de referência da Câmara Reverberante.

Decidiu-se por isso utilizar também a expressão seguinte retirada da bibliografia [14]:

$$\alpha_{dTubo} = 1,9277\alpha_n - 0,891\alpha_n^2 \quad (5.17)$$

Apresentam-se os resultados obtidos para o Coeficiente de Absorção Sonora para incidência difusa, pelos dois processos descritos anteriormente (Fig. 5.14).

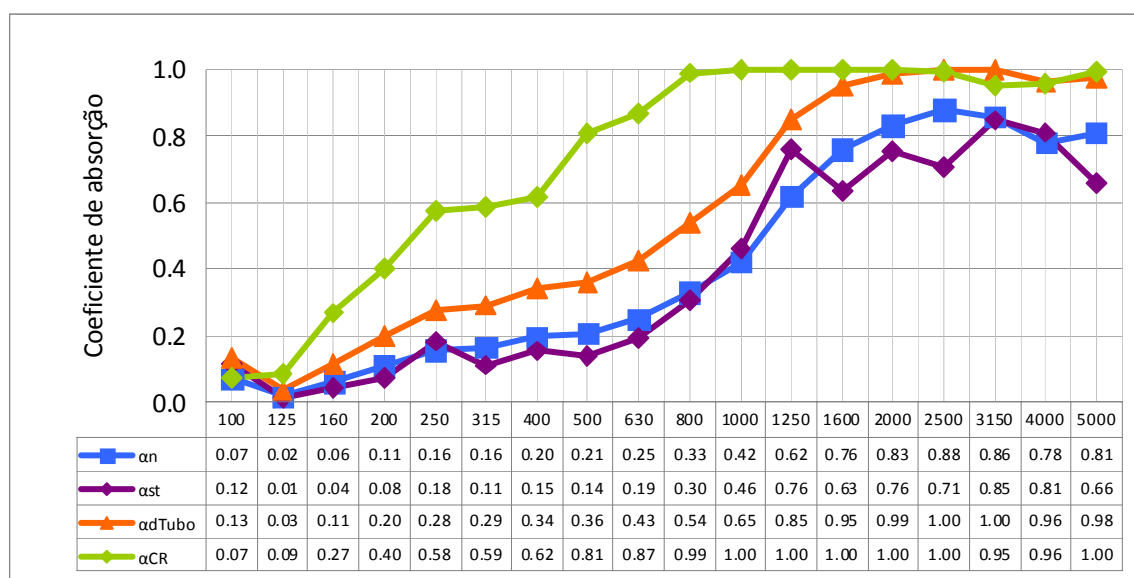


Fig. 5.14– Gráfico dos valores do Coeficiente de Absorção Sonora da amostra de teste, para incidência normal, difusa, e Câmara Reverberante.

Pelo gráfico podemos ver que nas altas frequências, para um campo difuso, os resultados são em tudo semelhantes aos obtidos na Câmara Reverberante. Com a existência de uma câmara-de-ar atrás da amostra, de acordo com o previsto na norma, provavelmente obteríamos valores mais próximos dos da Câmara Reverberante, nas médias e baixas frequências.

Considera-se por isso que os resultados obtidos pelo Tubo de Ondas Estacionárias são satisfatórios, com uma maior validade para as altas frequências, e com algum erro nas as baixas e médias frequências, devido à não utilização da caixa-de-ar preconizada na norma.

5.3.7. DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA DAS AMOSTRAS EM ESTUDO (AGLOMEX ACOUSTIC “PINTADO”)

Adequado o tubo a uma amostra cujos valores dos coeficientes de absorção sonora já haviam sido determinados na Câmara Reverberante, procurou-se utilizar o mesmo procedimento, agora para as amostras em estudo: Aglomex Acoustic “pintadas” (Fig.5.15)

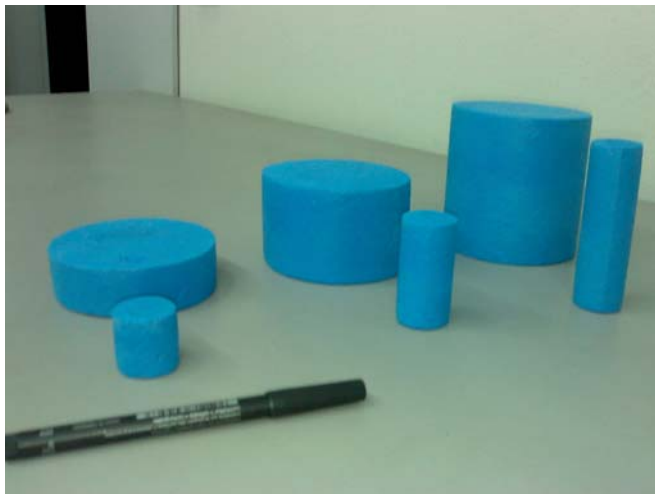


Fig. 5.15 – Provetes de Aglomex Acoustic “pintado” com espessuras 30, 60 e 100 mm, e de diâmetros com 9.8 cm e 2.9 cm, para uso no Tubo de Ondas Estacionárias.

Com o desenrolar do trabalho experimental, foram surgindo alguns problemas, pelo que se tiveram de tomar determinadas opções quanto ao método de estudo a efectuar nas amostras.

Percebeu-se logo de início que a pintura do material era ligeiramente diferente de amostra para amostra, variando a espessura da película, também por ter sido a primeira vez que se efectuara uma pintura deste género neste tipo de material (Aglomex Acoustic).

A própria dimensão da amostra, nem sempre era constante, variando em alguns milímetros, principalmente nas espumas de menor dimensão (2,9 cm) que condicionavam a sua colocação no tubo pequeno.

A própria densidade das amostras grandes para as pequenas, por vezes dava a entender que eram ligeiramente diferentes (a própria fábrica permite uma variabilidade no produto final de cerca de 20%, existindo por isso algumas possíveis diferenças entre amostras.

O curto tempo disponível para a realização dos ensaios, o próprio desgaste a nível físico, devido ao constante ruído elevado existente no local de ensaio, levou a que se tomassem determinadas soluções que permitissem maximizar o tempo, e permitissem no entanto garantir fiabilidade nos resultados finais obtidos.

Estavam disponíveis amostras com quatro densidades (60, 90, 120 e 200 kg/m³), cada uma três espessuras diferentes (30, 60, 100 mm). Para cada espessura, existia ainda três réplicas.

Decidiu-se inicialmente estudar a densidade de 60 kg/m³, efectuando três medições em cada uma das réplicas de cada espessura, de forma a se poder caracterizar a dispersão dos resultados devido a uma possível variabilidade existente no material, durante processo de fabrico.

Na Fig. 5.16, sintetiza-se as medições efectuadas para a densidade de 60 kg/m^3 e espessuras de 30, 60 e 100 mm.

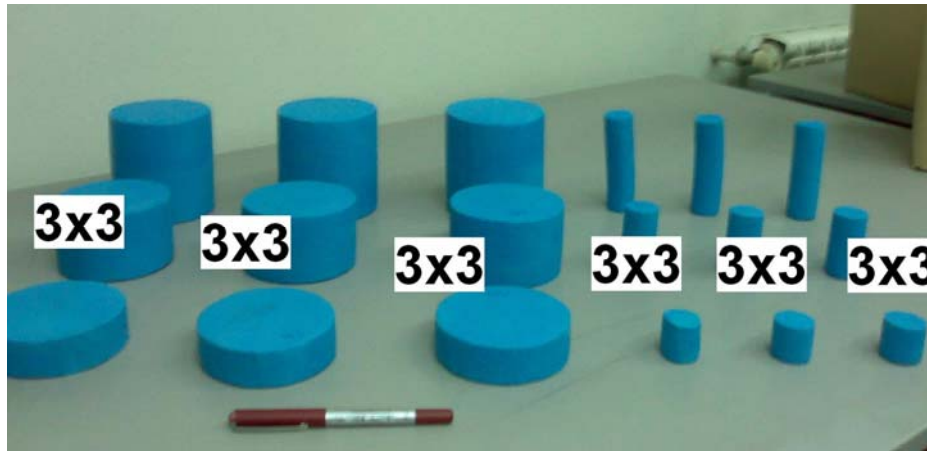


Fig. 5.16 – Número de medições efectuadas para a densidade 60 kg/m^3 com espessura de 30, 60, 100 mm.

Com estas medições esperava-se poder tirar algumas conclusões que permitissem ganhar tempo para as restantes densidades, como por exemplo reduzir o número de medições, sem que o erro obtido fosse muito grande.

Caso fosse realizado o mesmo procedimento que o utilizado para a densidade de 60 kg/m^3 nas restantes densidades, ou seja, um total de 54 medições por densidade (considerando as amostras grandes e pequenas), teríamos um total de 216 medições, para as quais não dispúnhamos de tempo.

Os próprios resultados que iam obtendo com o avançar das medições para a densidade de 60 kg/m^3 , levavam a crer que no futuro, seria esta a densidade escolhida para se utilizar na Câmara Reverberante (seria escolhida uma única densidade e espessura, com vista à determinação do Coeficiente de Absorção Sonora e sua aplicação como Baffles), pelo que as restantes densidades não necessitavam de ter uma medição tão exaustiva.

De salientar que este deveria ser o procedimento adoptado para todas as densidades, por ser aquele que permite corrigir mais erros e por isso obter valores mais exactos.

Os dados registados foram novamente os estudados na amostra de teste, $X_{\min_n}$, $L_{\min_n}$ e $L_{\max_n}$, obtendo-se os resultados que se apresentam nas Fig.5.17, 5.18 e 5.19 para o Coeficiente de Absorção Sonora para uma incidência normal, das três amostras de cada uma das espessuras de densidade 60 kg/m^3

Encontra-se no Anexo 2 uma tabela exemplificativa do procedimento de cálculo efectuado para as várias amostras de densidade 60 kg/m^3 e espessura de 100mm.

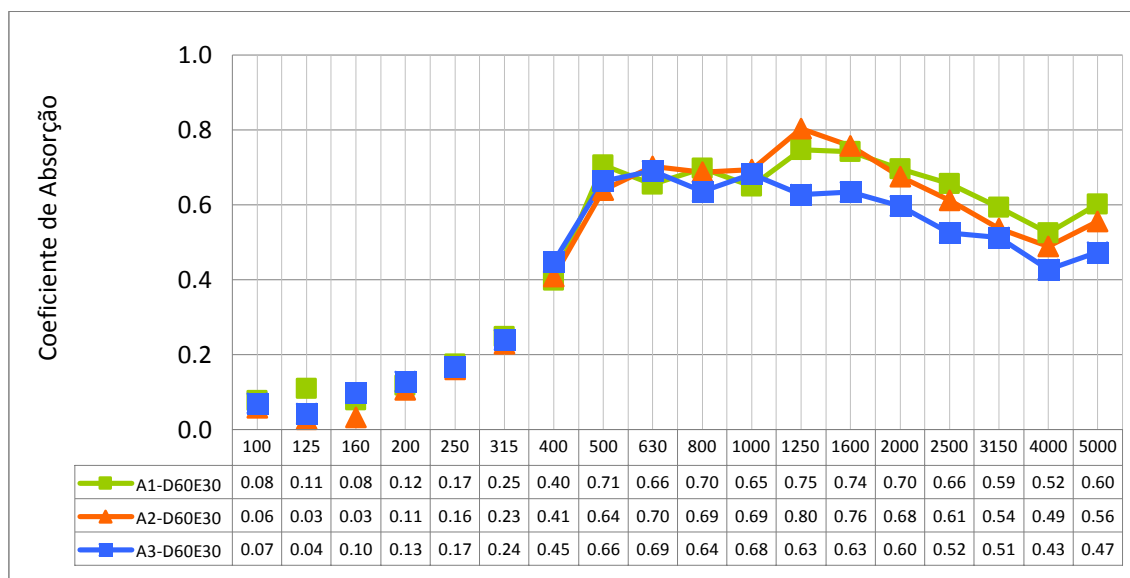


Fig. 5.17– Gráfico dos valores do Coeficiente de Absorção Sonora das três amostras de densidade 60 kg/m^3 e espessura de 30 mm.

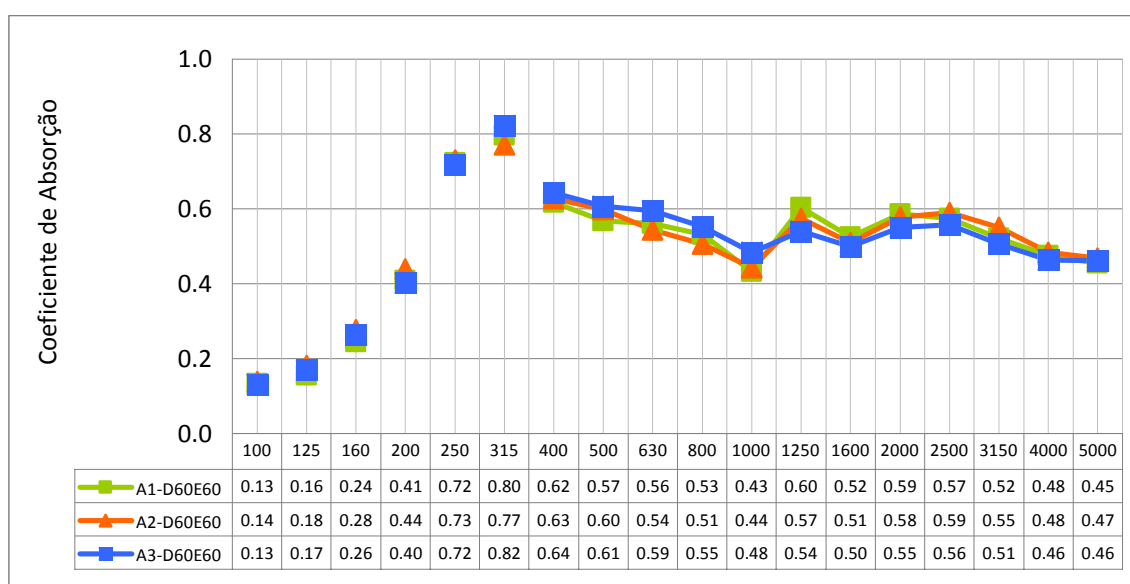


Fig. 5.18– Gráfico dos valores do Coeficiente de Absorção Sonora das três amostras de densidade 60 kg/m^3 e espessura de 60 mm.

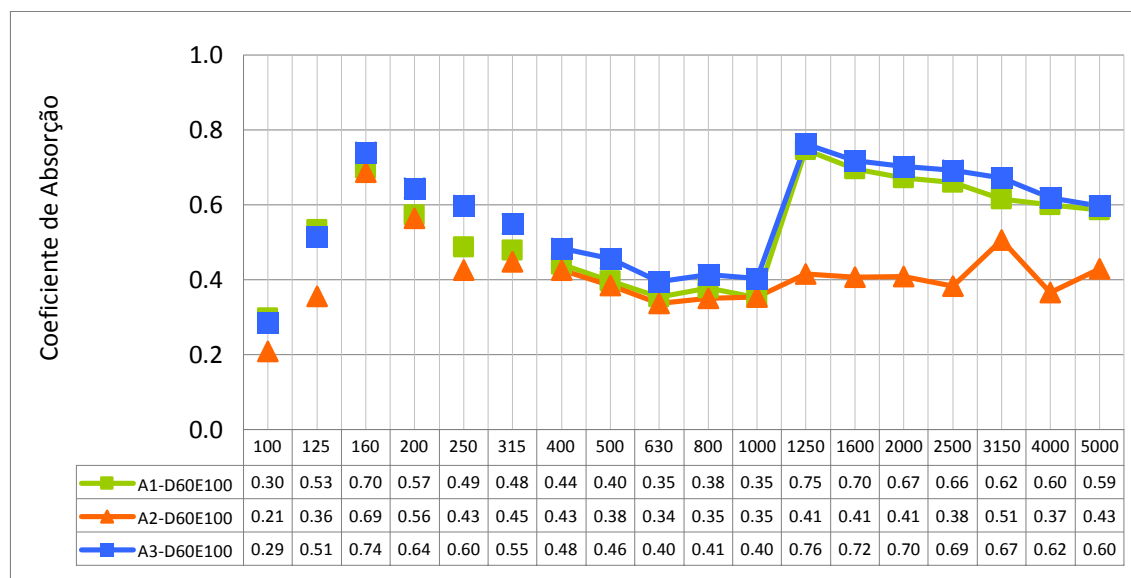


Fig. 5.19– Gráfico dos valores do Coeficiente de Absorção Sonora das três amostras de densidade 60 kg/m^3 e espessura de 100 mm.

Apresentam-se ainda o desvio entre o valor do Coeficiente de Absorção Sonora médio, para as três réplicas de cada espessura, e o valor do Coeficiente de Absorção Sonora de cada uma dessas mesmas réplicas, para a densidade de 60 kg/m^3 (Fig. 5.20, 5.21 e 5.22). O desvio é nulo para um valor igual à unidade.

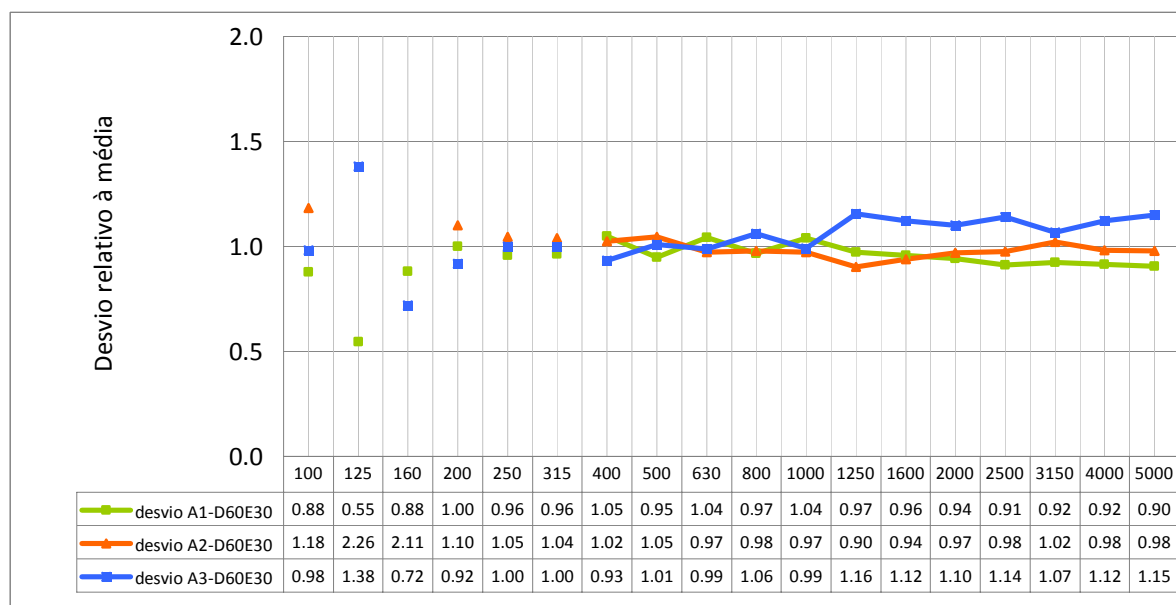


Fig. 5.20– Desvio entre o valor médio do Coeficiente de Absorção Sonora, e cada uma das réplicas de densidade 60 kg/m^3 e espessura de 30 mm.

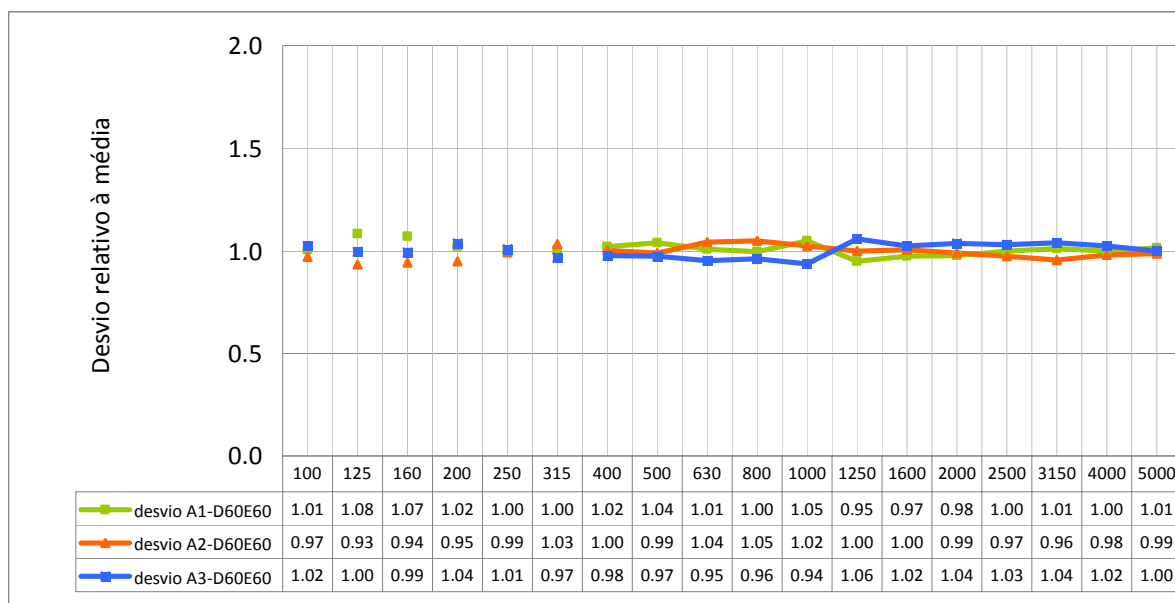


Fig. 5.21– Desvio entre o valor médio do Coeficiente de Absorção Sonora, e cada uma das réplicas de densidade 60 kg/m³ e espessura de 60 mm.

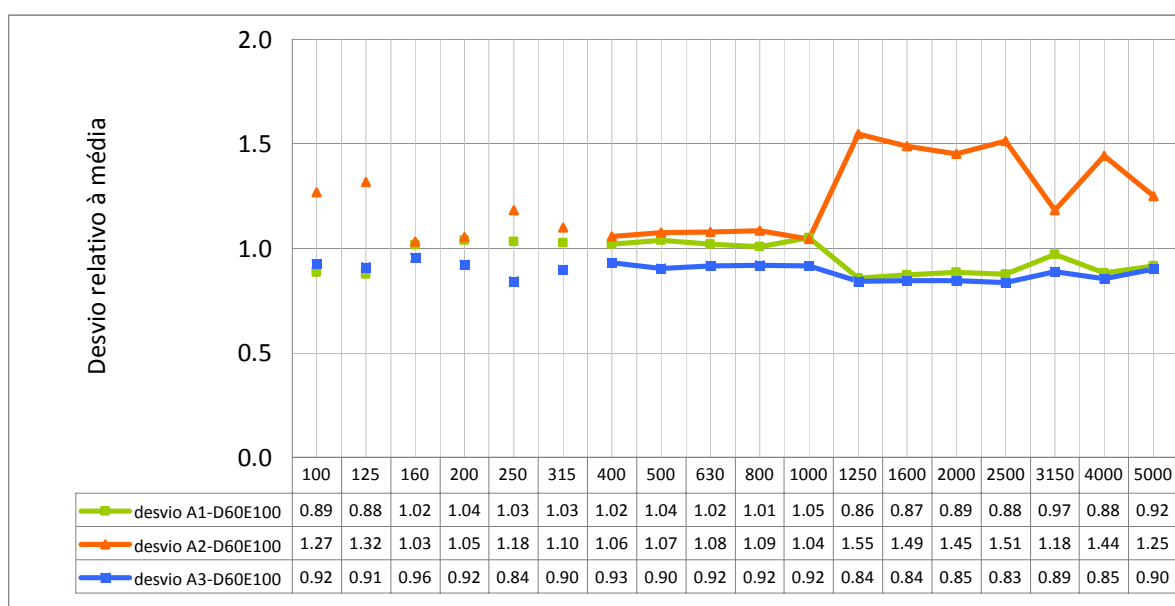


Fig. 5.22– Desvio entre o valor médio do Coeficiente de Absorção Sonora, e cada uma das réplicas de densidade 60 kg/m³ e espessura de 100 mm.

Como se pode observar pelos resultados obtidos, para a zona válida do Tubo de Ondas Estacionárias, ou seja, dos 400 Hz aos 5000 Hz, existem menores desvios nas baixas frequências (amostra de grande dimensão) do que nas altas frequências (amostra de pequena dimensão).

As pequenas diferenças que existem no diâmetro das amostras, principalmente nas de pequena dimensão, por serem mais difíceis de cortar, fazem com que tenham de ser colocadas sobre pressão na

câmara do tubo. Isto faz com que os resultados obtidos para o Coeficiente de Absorção Sonora, sejam por vezes inferiores aos normalmente obtidos para as restantes réplicas, como é o caso verificado na amostra, A3 – D60E100 (Fig 5.22). Neste caso decidimos eliminar os resultados desta amostra, por se desviarem muito dos valores das outras duas amostras, apesar da transição do tubo grande para o pequeno ser menos acentuada, e por isso mais constante.

Como iremos ver nos resultados obtidos por este método, existem casos em que se nota uma variação acentuada na transição do tubo grande para o pequeno, dando a entender que se trata de materiais com propriedades acústicas diferentes. No entanto, a única forma de determinar qual dos resultados estará mais correcto nesta zona de transição, passa pela comparação com os resultados obtidos pelo Método da Câmara Reverberante, por ser a aquela onde os resultados são mais realistas.

Uma vez que as amostras de maior dimensão apresentavam valores mais próximos uns dos outros, com pouca variabilidade entre cada réplica, e também por serem mais uniformes quanto à pintura e ao corte, decidiu-se que para as restantes densidades apenas se iria utilizar uma réplica das três disponíveis por espessura, descartando assim as restantes.

Quanto às amostras de pequena dimensão por serem mais irregulares e com uma maior variabilidade, utilizaram-se as três réplicas disponíveis por cada espessura. No entanto apenas se realizou uma medição em cada uma delas, em vez das três medições habituais. Caso fosse necessário, e uma vez que só se estava a realizar uma medição em cada réplica, voltava-se a medir para comprovar resultados.

Volta-se a frisar, que este procedimento não é o mais correcto. Deve-se tentar sempre fazer o maior número de medições possível em cada amostra (três no mínimo) e utilizar-se três réplicas dessa mesma amostra.

A Fig 5.23, pretende mostrar o número de medições efectuadas de acordo com o que se tentou explicar anteriormente:

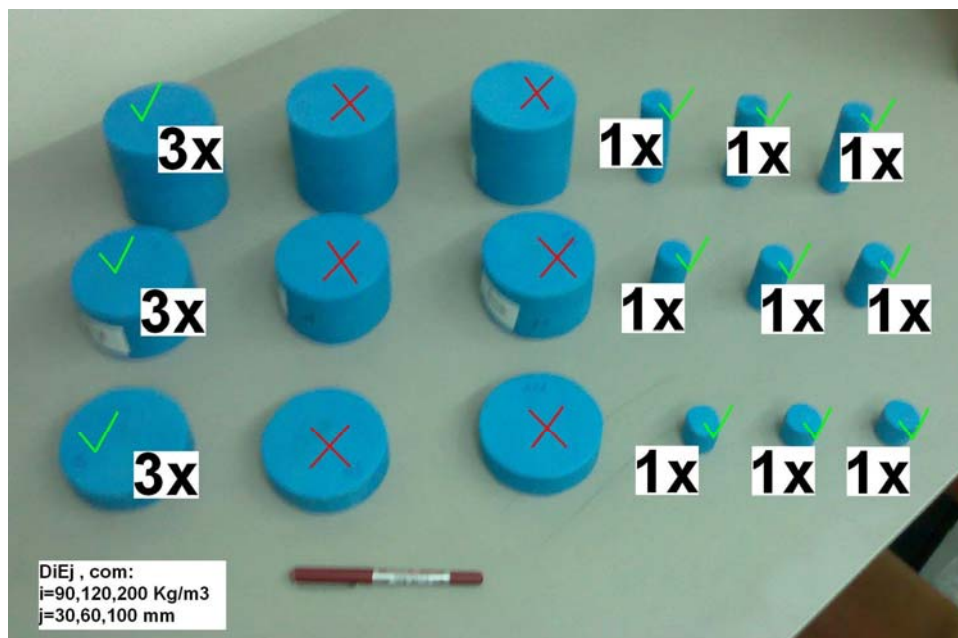


Fig. 5.23– Número de medições efectuadas para as amostras de densidades de 90, 120 e 200 kg/m³, e espessuras de 30, 60 e 100 mm.

5.3.8. RESULTADOS OBTIDOS PELO MÉTODO DO TUBO DE ONDAS ESTACIONÁRIAS

Os resultados do Coeficiente de Absorção Sonora que se seguem são os obtidos directamente pelo tubo, para uma incidência normal das ondas sonoras (α_n).

Nos gráficos que se seguem as linhas contínuas definem as frequências com resultados válidos de acordo com as dimensões do Tubo de Ondas Estacionárias.

Os resultados adaptados para um campo difuso, pelas fórmulas descritas neste capítulo, encontram-se no Anexo 4.

5.3.8.1. Valores do coeficiente de absorção sonora para densidade 60 kg/m³

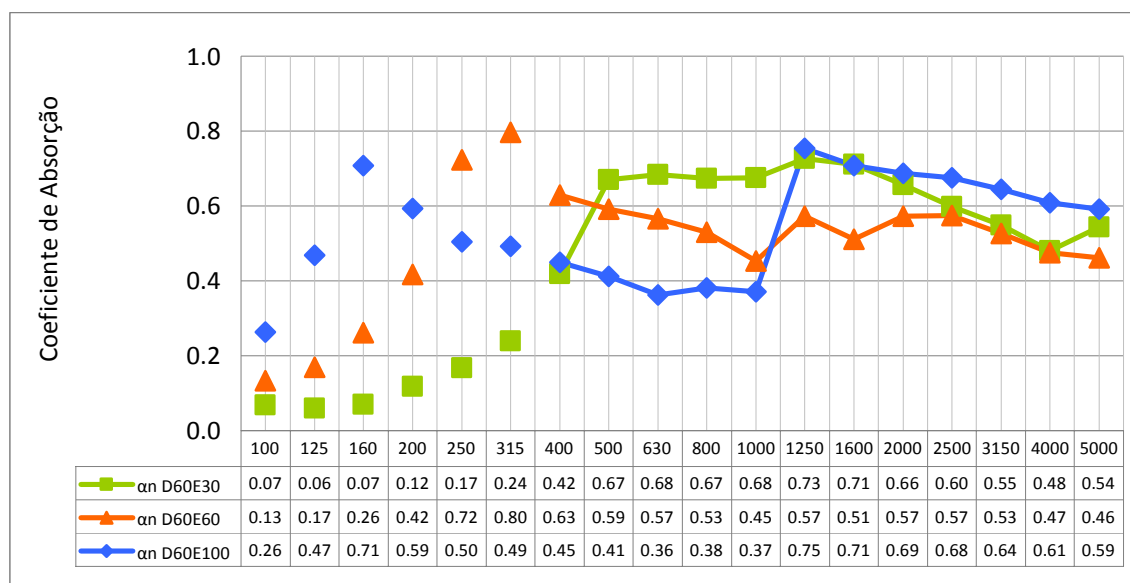


Fig. 5.24 - Gráfico dos valores do Coeficiente de Absorção Sonora, obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias, para as espessuras de 30, 60 e 100 mm e densidade de 60 kg/m³, para uma incidência normal (α_n).

No gráfico da Fig 5.24, apresentam-se os resultados do Coeficiente de Absorção Sonora para uma incidência normal (α_n), em função da frequência, dos ensaios realizados pelo Tubo de Ondas Estacionárias, para as três espessuras ensaiadas e densidade 60 kg/m³.

5.3.8.2. Valores do coeficiente de absorção sonora para densidade 90 kg/m³

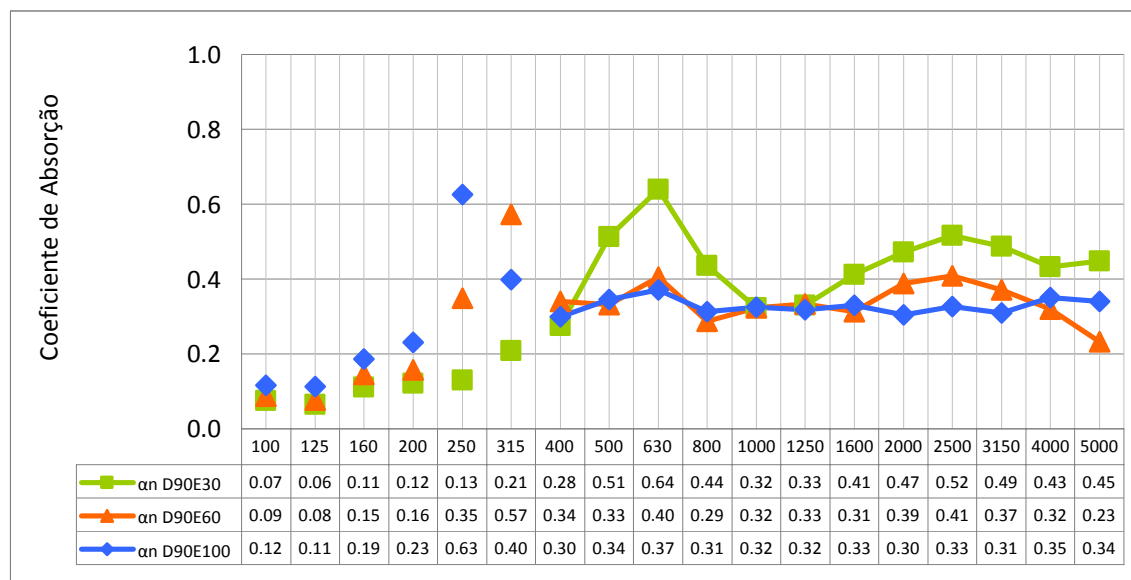


Fig. 5.25 - Gráfico dos valores do Coeficiente de Absorção Sonora, obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias, para as espessuras de 30, 60 e 100 mm e densidade de 90 kg/m³, para uma incidência normal (αn).

No gráfico da Fig 5.25, apresentam-se os resultados do Coeficiente de Absorção Sonora para uma incidência normal (αn), em função da frequência, dos ensaios realizados pelo Tubo de Ondas Estacionárias, para as três espessuras ensaiadas e densidade 90 kg/m³.

5.3.8.3. Valores do coeficiente de absorção sonora para densidade 120 kg/m³

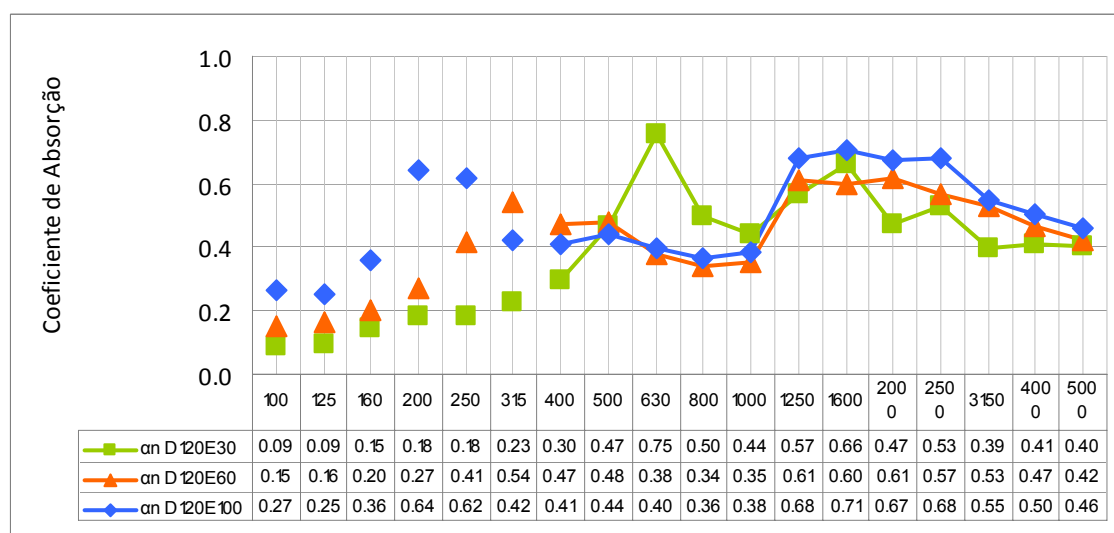


Fig. 5.26 - Gráfico dos valores do Coeficiente de Absorção Sonora, obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias, para as espessuras de 30, 60 e 100 mm e densidade de 120 kg/m³, para uma incidência normal (αn).

No gráfico da Fig 5.26, apresentam-se os resultados do Coeficiente de Absorção Sonora para uma incidência normal (α_n), em função da frequência, dos ensaios realizados pelo Tubo de Ondas Estacionárias, para as três espessuras ensaiadas e densidade 120 kg/m^3 .

5.3.8.4. Valores do coeficiente de absorção sonora para densidade 200 kg/m^3

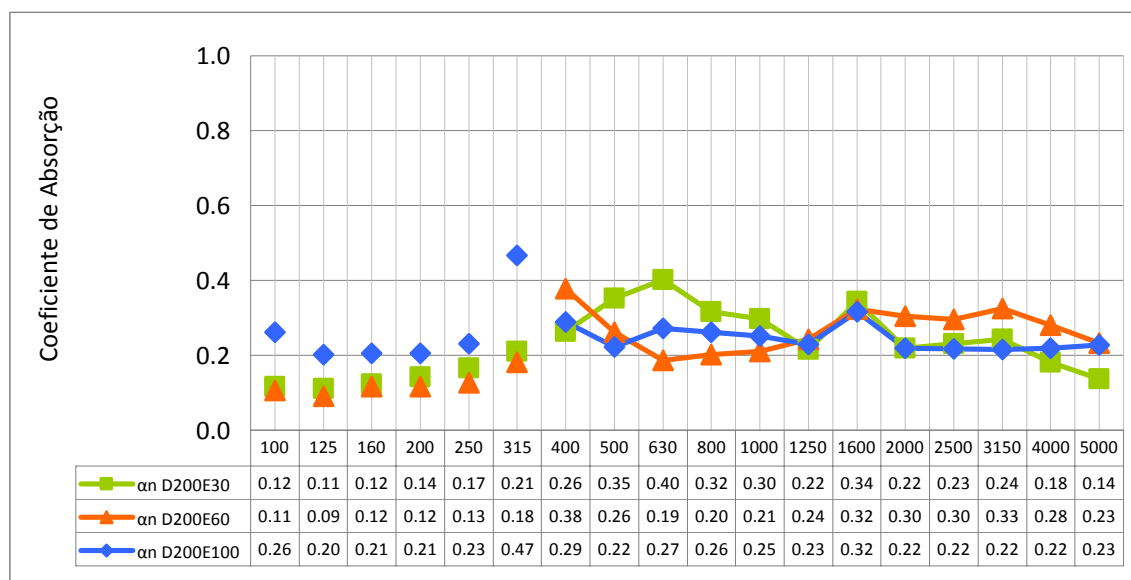


Fig. 5.27 - Gráfico dos valores do Coeficiente de Absorção Sonora, obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias, para as espessuras de 30, 60 e 100 mm e densidade de 200 kg/m^3 , para uma incidência normal (α_n).

No gráfico da Fig 5.27, apresentam-se os resultados do Coeficiente de Absorção Sonora para uma incidência normal (α_n), em função da frequência, dos ensaios realizados pelo Tubo de Ondas Estacionárias, para as três espessuras ensaiadas e densidade de 200 kg/m^3 .

5.4. ENSAIOS NA CÂMARA REVERBERANTE

5.4.1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho tinha como um dos objectivos, o de avaliar a absorção sonora de espumas de poliuretano revestidas com uma pintura superficial, sob a forma de elementos absorventes planos, e ainda sob a forma de elementos absorventes suspensos, ou seja, Baffles.

Começamos então por estudar o material quanto à absorção sonora para as várias densidades e espessuras, através de um Método Teórico e do Método do Tubo de Ondas Estacionárias, para tentarmos perceber qual o comportamento que este material iria sofrer após a sua pintura.

Os resultados inicialmente obtidos pelo Método Teórico, viriam a levantar algumas dúvidas quanto à validade dos mesmos, visto que os valores da resistência ao fluxo do ar eram algo suspeitos.

Dessa forma decidiu-se esperar pelos resultados de resistência ao fluxo de ar das amostras utilizadas neste ensaio da Câmara Reverberante, para se poderem tirar algumas conclusões, relativos a este problema.

Foi então necessário escolher o material que se iria utilizar nos ensaios de absorção sonora. Essa escolha teve em linha de conta não só os resultados que dispúnhamos para as várias densidades e espessuras realizados pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias, mas também outros factores como o tipo de ensaios que pretendíamos ensaiar com eles (ensaio de absorção planos e Baffles). Não consideramos nesta fase os resultados obtidos pelo Modelo Teórico, uma vez que os resultados eram algo inconclusivos.

Apresenta-se então no sub capítulo seguinte, as características da solução escolhida, e as razões para a sua escolha.

5.4.2. CARACTERÍSTICAS DO MATERIAL UTILIZADO NOS OS ENSAIOS DA CÂMARA REVERBERANTE

Um absorsor suspenso tem normalmente de garantir determinados parâmetros para poder ser utilizado com alguma eficiência. Assim sendo, dos materiais analisados, tentamos escolher um com as dimensões e densidade apropriada, tendo em vista esses mesmos factores.

Um Baffle apresenta normalmente as seguintes características:

- Elevada absorção sonora, principalmente nas frequências altas;
- Material leve para poder ser suspenso nos tectos;

Desde o início que ficou claro, qual seria a densidade do material adoptado para a realização dos ensaios de Baffles. De todas as densidades que dispúnhamos, iríamos certamente utilizar aquela com densidade mais baixa (60 kg/m³) por ser a mais leve e fácil de colocar em suspensão nos tectos.

Por outro lado, sabia-se que o aumento da densidade fazia diminuir a absorção sonora do material.

Restava apenas determinar quais as dimensões da amostra, escolhida a densidade de 60 kg/m³. Analisamos então os resultados obtidos nos ensaios do Tubo de Ondas Estacionárias para as espessuras de 30, 60 e 100 mm.

Analisando o gráfico da Fig. 5.28, onde se apresentam os valores já convertidos para um campo sonoro difuso, através da expressão (5.17), verifica-se que todas as espessuras aparentam ter elevados valores do Coeficiente de Absorção Sonora, principalmente nas altas frequências.

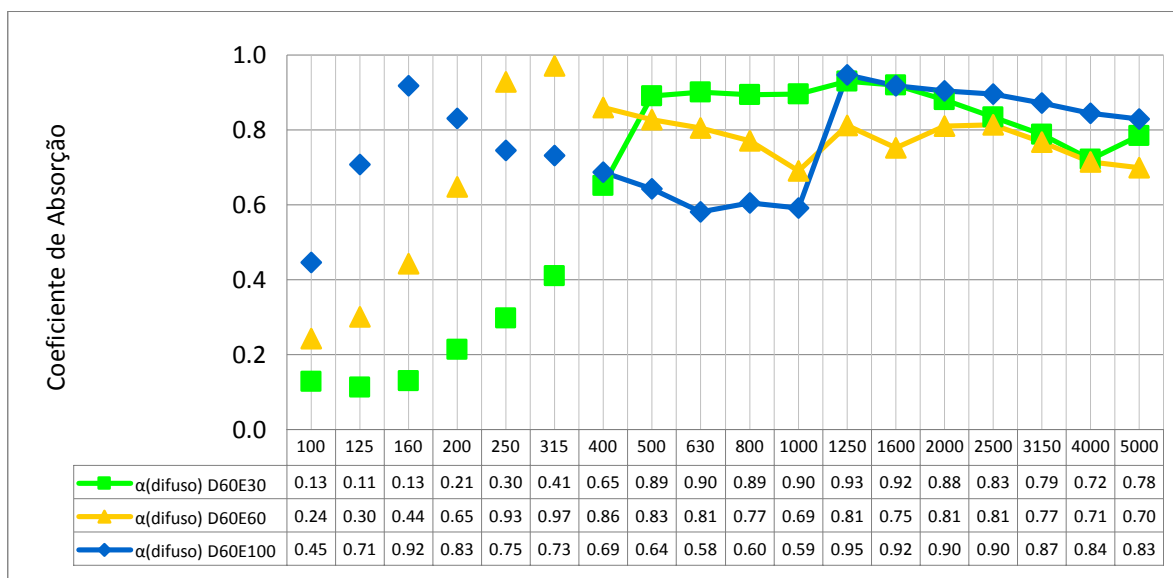


Fig. 5.28 - Gráfico dos valores do Coeficiente de Absorção Sonora, obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias, para as espessuras de 30, 60 e 100 mm e densidade de 60 kg/m³, para um campo difuso (αdifuso).

A espessura de 30 mm aparenta ser aquela com os maiores valores de absorção sonora. No entanto é uma espessura um pouco baixa, com alguma instabilidade caso se pretenda utilizar um painel rectangular suspenso de alguma dimensão (painel muito flexível).

Sendo assim, as espessuras melhores para serem ensaiadas, seriam as de 60 e 100 mm.

No entanto, a montagem das amostras neste tipo de ensaios, requerem que estas fiquem apoiadas no pavimento, com o seu lado mais estreito, ou seja, colocadas ao alto. Sendo assim, torna-se complicado montar uma amostra com 60 mm, e sem qualquer dispositivo de fixação, pelo que se optou por utilizar amostras com 100 mm, por ser a mais estável.

O material então escolhido teria uma densidade de 60 kg/m³ e uma espessura de 100 mm (Fig.5.29)

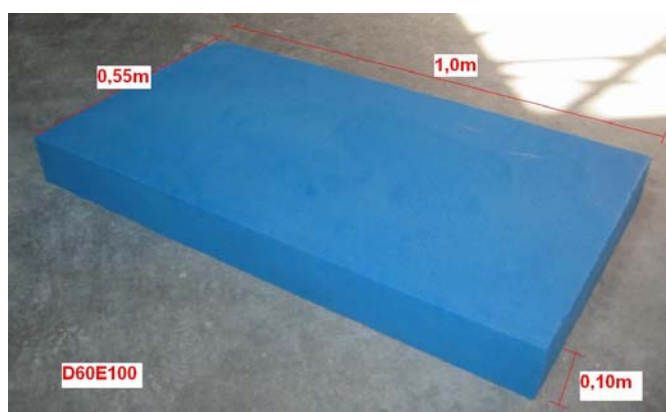


Fig. 5.29 – Painel utilizado nos ensaios da Câmara Reverberante, de densidade 60Kg/m³ e espessura 100mm.

5.4.3. MEIOS UTILIZADOS

Os ensaios foram realizados na Câmara Reverberante R1 da F.E.U.P. (Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto) (Fig.5.30).

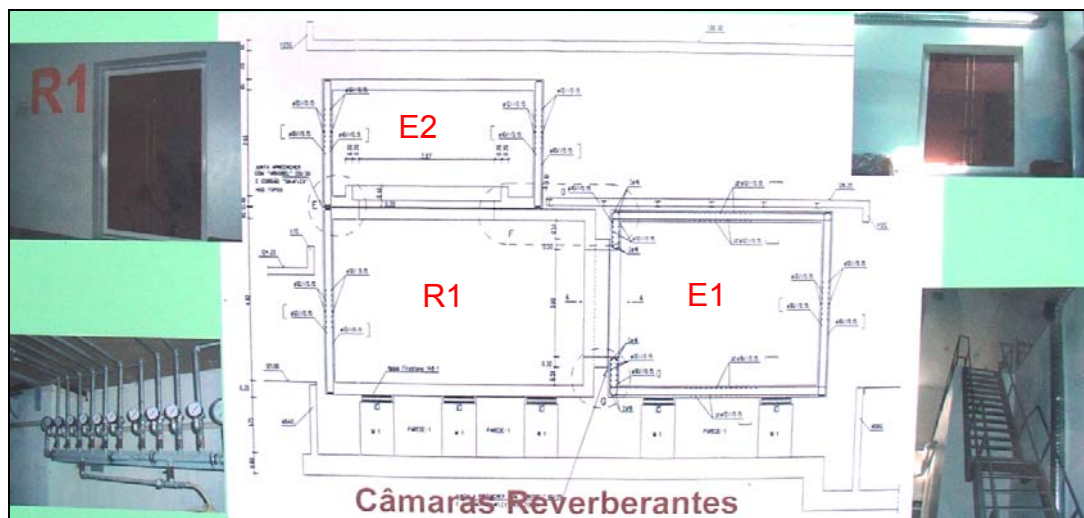


Fig. 5.30 - Esquema das Câmaras Reverberantes – corte transversal.

5.4.4. CARACTERÍSTICAS DA CÂMARA REVERBERANTE

A Câmara Reverberante (R1) apresenta as seguintes dimensões:

- Comprimento máximo – 7,50 m;
- Comprimento mínimo – 7,00 m;
- Largura máxima – 6,15 m;
- Altura – 4,65 m;
- Volume – 217 m³.

5.4.5. EQUIPAMENTO UTILIZADO

- Sonómetro Brüel & Kjaer 2260 (verificado no ISQ –Bol. Ver. 245.70/06.290 de 25 de Maio de 2006);
- Microfone, marca Brüel & Kjaer modelo 4189;
- Pré-amplificador, marca Brüel & Kjaer modelo ZC0026;
- Fonte sonora, marca Brüel & Kjaer modelo 4296;
- Calibrador B&K 4231 (verificado no ISQ –Bol. Ver. 245.70/06.290 de 25 de Maio de 2006);
- Termo-Higrómetro Digital 4600.

5.4.6. COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA DE ELEMENTOS ABSORVENTES PLANOS

A amostra ensaiada tem um formato de placas rectangulares com as dimensões de $1.0 \times 0.55 \text{ m}^2$ (perfazendo os 10 m^2 necessários) com a espessura de 100 mm e densidade 60 kg/m^3 . É de salientar que foi contabilizada para o cálculo a área lateral da amostra, uma vez que perfaz uma área considerável.

A amostra estudada foi avaliada pousada no pavimento como apresentado nas Fig. 5.31, 5.32 e 5.33.

Para a realização do ensaio, foram utilizadas posições distintas para a fonte sonora (duas) e para os microfones (três), realizando-se então um total de seis medições. Convém ainda referir que, para cada medição, foram avaliadas duas decaídas para o tempo de reverberação, com as quais se fizeram uma média aritmética para a obtenção do valor final.

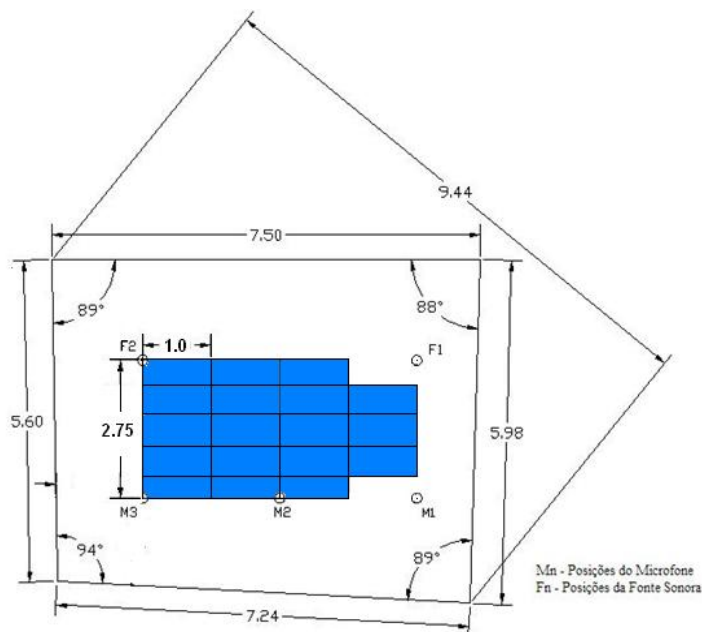


Fig. 5.31 – Esquema da montagem da amostra no pavimento (sem escala).



Fig. 5.32 – Foto do ensaio das espumas de Aglomex Acoustic "pintado" na Câmara Reverberante.



Fig. 5.33 – Foto do ensaio das espumas de Aglomex Acoustic “pintado” na Câmara Reverberante.

Em suma, fizeram-se assim dois ensaios: o primeiro com a Câmara Reverberante vazia (sem amostra), e o segundo com a Câmara Reverberante contendo o material Aglomex Acoustic “pintado”. A área da amostra em estudo foi de 11,25 m² (18 placas de 1.0x0.55 m², Fig 5.31)

Assim sendo, programando-se a equação (4.13), para $n=1$ (Câmara Reverberante sem amostra), numa folha de Excel, apresenta-se na Tabela 5.7 o valor médio dos dados obtidos para o primeiro ensaio.

Tabela 5.7 – Área de absorção sonora equivalente da Câmara Reverberante, sem amostra (A_1).

Frequência (Hz)	TR Médio (s)	A_1 (m ²)
100	16.28	2.14
125	11.05	3.16
160	11.68	2.99
200	11.24	3.11
250	11.71	2.98
315	12.14	2.88
400	12.09	2.89
500	11.64	3.00
630	11.19	3.12
800	10.14	3.44
1000	9.33	3.74
1250	7.97	4.38
1600	6.84	5.10
2000	6.22	5.61
2500	5.4	6.47
3150	4.45	7.85
4000	3.56	9.81
5000	2.77	12.60

Conhecidas as condições para a realização do ensaio, pretende-se avaliar o cumprimento da ISO 354:2007:

Assim, de acordo com a norma internacional em vigor:

$$V = 217,7 \geq 125m^3 \text{ (Verifica)} \quad (5.18)$$

No mesmo documento, e de acordo com a equação (4.12), que fixa um valor máximo para o comprimento da maior linha recta contida no perímetro da câmara (Fig.5.31):

$$l_{máx} \leq 1,9V^{1/3} \Leftrightarrow 9,23 \leq 1,9 \times 217,7^{1/3} \Leftrightarrow 9,23 \leq 11,43 \text{ (Verifica)} \quad (5.19)$$

Quanto à verificação das áreas de absorção sonora equivalente da Câmara Reverberante vazia (Tabela 5.7), estas não devem exceder os valores que constam na Tabela 4.1, multiplicados por:

$$\left(\frac{V}{200} \right)^{2/3} = \left(\frac{217,7}{200} \right)^{2/3} = 1,06 \quad (5.20)$$

Os valores regulamentares máximos admitidos, são então apresentados na Tabela 5.8, denominados por $A_{regulamentar}$.

Tabela 5.8 – Verificação da área de absorção sonora equivalente máxima admitida, para a Câmara Reverberante vazia.

Frequência (Hz)	A_1 (m ²)	$A_{regulamentar}$	Verificação
100	2.14	6.89	OK
125	3.16	6.89	OK
160	2.99	6.89	OK
200	3.11	6.89	OK
250	2.98	6.89	OK
315	2.88	6.89	OK
400	2.89	6.89	OK
500	3.00	6.89	OK
630	3.12	6.89	OK
800	3.44	6.89	OK
1000	3.74	7.42	OK
1250	4.38	7.95	OK
1600	5.10	8.48	OK
2000	5.61	10.07	OK
2500	6.47	11.13	OK
3150	7.85	12.72	OK
4000	9.81	13.78	OK
5000	12.60	14.84	OK

No que concerne à área da amostra em estudo, a norma exige que esta tenha valores compreendidos entre 6 e 12 m², devendo estes valores ser novamente multiplicados pelo mesmo factor atrás calculados, na equação (5.20). Assim sendo:

$$6,36 \leq \text{Área}_{amostra} \leq 12,72 \Leftrightarrow 6,36 \leq 11,25 \leq 12,72 \text{ (Verifica)} \quad (5.20)$$

Relativamente às distâncias relativas entre os diversos elementos utilizados no ensaio, cujas posições se encontram esquematizadas na Fig. 5.31, as exigências são também cumpridas:

Tabela 5.9 – Cumprimento das disposições legais em vigor, para as distâncias relativas entre os diversos elementos utilizados no ensaio.

Exigência	Verificação
Distância do provete à câmara recomendada é de pelo menos 1 metro, não devendo ser inferior a 0,75 metros	OK
Posições dos microfones afastadas mais de 1,5 metros entre si	OK
Microfones afastados mais de 2 metros da fonte sonora	OK
Posições da fonte sonora afastadas 3 metros entre si	OK
Posições da fonte sonora afastadas 3 metros entre si	OK
Numero de posições mínimas para o microfone e fonte sonora: 3 e 2, respectivamente	OK

Para finalizar, os valores fixados regularmente para a Temperatura e Humidade Relativa (Tabela 4.2), que foram medidos com o termohigrómetro durante os ensaios, são também cumpridos, conforme se pode verificar na Tabela 5.10.

Tabela 5.10 – Cumprimento das disposições legais em vigor, para a Humidade Relativa e a Temperatura.

Humidade Relativa (%)	Temperatura (°C)
51 %	23 ≥ 10 (Verifica)

Verificado o cumprimento das disposições legais, procedeu-se à medição do tempo de reverberação da Câmara Reverberante, com as amostras colocadas.

Por conseguinte, programando-se novamente a equação (4.13), para $n=2$, determinou-se a área de absorção equivalente da câmara com a amostra, A_2 . Conhecidos então A_2 e A_1 , programando-se agora a equação (4.14), obtém-se o parâmetro A : área de absorção sonora equivalente da amostra. Conhecido este parâmetro, determina-se por fim o valor do Coeficiente de Absorção Sonora da amostra, por bandas de 1/3 de oitava, de acordo com a equação (4.15) (vamos utilizar em vez de α_s , α_{cr} nos resultados finais). Os resultados obtidos calculados com base no tempo de reverberação médio, para a espuma de Aglomex Acoustic “pintada”, são apresentados na Tabela 5.11.

Tabela 5.11 – Coeficiente de Absorção Sonora do Aglomex Acoustic “pintado”, de D60E100.

Frequência (Hz)	TRMédio	A_2	A	$\alpha_s = \alpha_{cr}$
100	5.57	6.3	4.1	0.37
125	3.93	8.9	5.7	0.51
160	3.16	11.0	8.1	0.72
200	3.46	10.1	7.0	0.62
250	2.75	12.7	9.7	0.86
315	2.55	13.7	10.8	0.96
400	2.41	14.5	11.6	1.00
500	2.32	15.0	12.1	1.00
630	2.37	14.7	11.6	1.00
800	2.36	14.8	11.4	1.00
1000	2.33	15.0	11.2	1.00
1250	2.28	15.3	10.9	0.97
1600	2.19	15.9	10.8	0.96
2000	2.15	16.2	10.6	0.94
2500	2.06	16.9	10.5	0.93
3150	1.94	18.0	10.2	0.90
4000	1.78	19.6	9.8	0.87
5000	1.61	21.7	9.1	0.81

O boletim de ensaio relativo ao ensaio da Câmara Reverberante com a amostra colocada sob o pavimento encontra-se no Anexo 3.

Por conseguinte, programando-se novamente a equação (4.13), para $n=2$, determinou-se a área de absorção equivalente da câmara com a amostra, A_2 . Conhecidos então A_2 e A_1 , programando-se agora

5.4.7. COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA DE ELEMENTOS ABSORVENTES SUSPENSOS (BAFFLES)

Segundo a Norma EN ISO 354:2007, os elementos absorventes suspensos devem ser montados segundo o esquema de montagem tipo J especificado no Anexo B, ou seja, envolto por uma estrutura não absorvente.

Neste tipo de montagem, os painéis absorventes devem ser montados com um bordo pousado sobre, ou tocando, uma superfície da Câmara Reverberante. Não deve existir nenhum espaço de ar entre o bordo do painel e a superfície da câmara. A Superfície tratada do pavimento deverá ser entre 10 m² a 15 m². Os painéis absorventes devem ser dispostos em dois ou três alinhamentos paralelos. Não deve haver qualquer espaço de ar entre painéis do mesmo alinhamento. A menor distância de qualquer painel a uma superfície da câmara, à excepção da superfície em que os painéis se encontram colocado, deve ser pelo menos de 1 m, a menos que estas superfícies integrem a barreira não absorvente que circunda o provete [26].

A barreira não absorvente, pode integrar uma ou duas paredes da Câmara Reverberante, como podemos ver pelas Fig.5.34 e 5.35. A parte da barreira paralela à área absorvente dos painéis deverá estar a uma distância $d/2$ da linha central do alinhamento mais próximo de painéis, onde d é a distância

entre alinhamentos paralelos. A parte da barreira perpendicular aos alinhamentos dos painéis deve estar alinhada com as extremidades dos painéis [26].

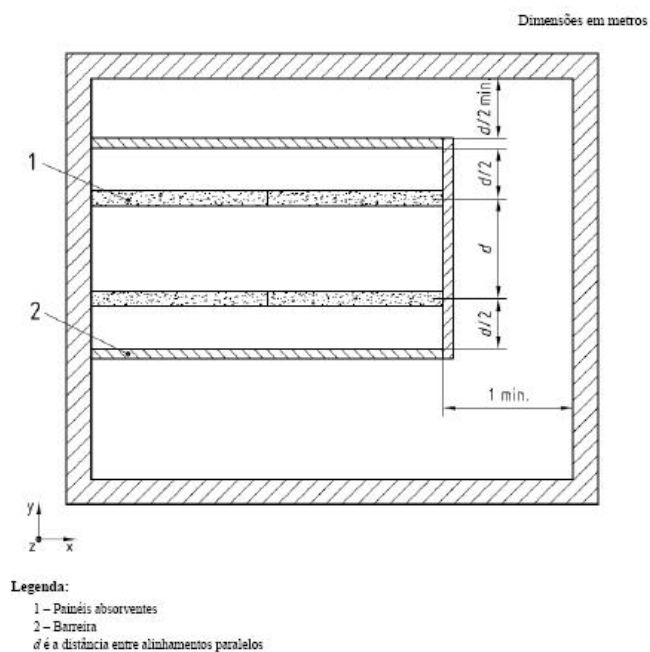


Figura B.1 – Exemplo de uma montagem do tipo J envolvida por uma barreira não absorvente (vista em planta)

Fig. 5.34 – Exemplo de montagem do tipo J envolvida por uma barreira não absorvente (montagem em “poço”) [26].

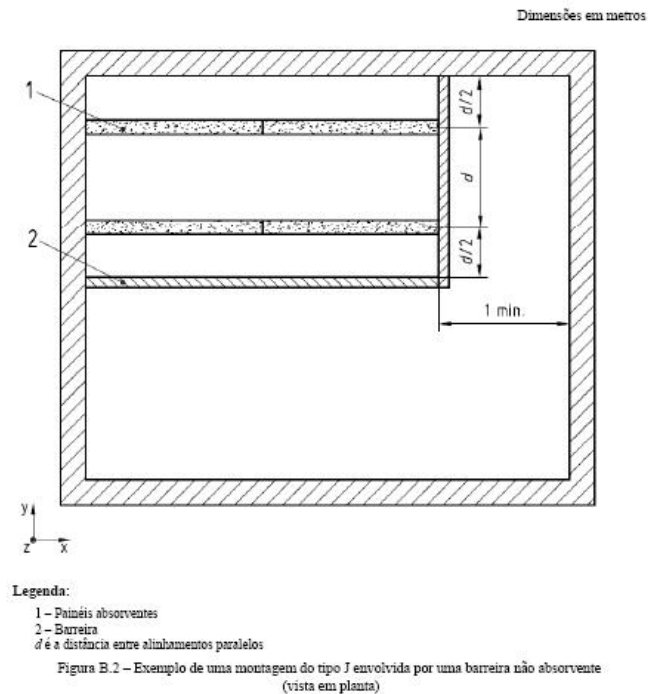


Figura B.2 – Exemplo de uma montagem do tipo J envolvida por uma barreira não absorvente (vista em planta)

Fig. 5.35 - Exemplo de montagem do tipo J envolvida por uma barreira não absorvente (montagem em “poço profundo”) [26].

No caso se a barreira integrar uma parede da câmara (montagem em “poço “), a altura da barreira deverá ser a mesma que a altura dos painéis absorventes, tal como se ilustra na Fig.5.36.

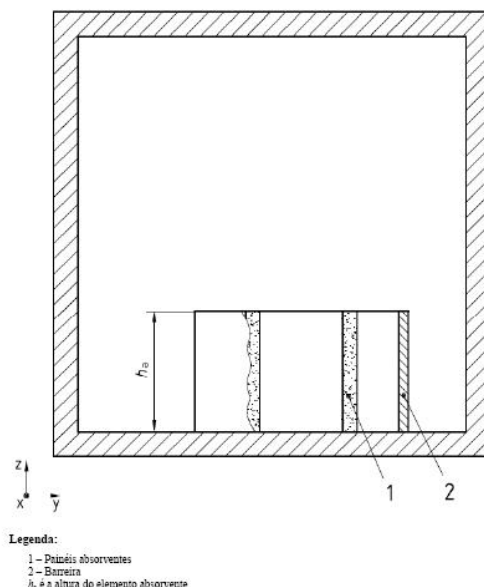


Figura B.3 - Exemplo de uma montagem do tipo J envolvida por uma barreira não absorvente, usando a abordagem em “poço” (vista em corte)

Fig. 5.36 - Exemplo de montagem do tipo J envolvida por uma barreira não absorvente, usando a abordagem em “poço” (vista em corte) [26].

Caso a barreira integre duas paredes da câmara (montagem em “poço profundo”), a altura da barreira deverá ser 0,8 m mais alta que os painéis absorventes. No entanto essa altura não deverá exceder metade da altura total da Câmara Reverberante, como se ilustra na Fig.5.37.

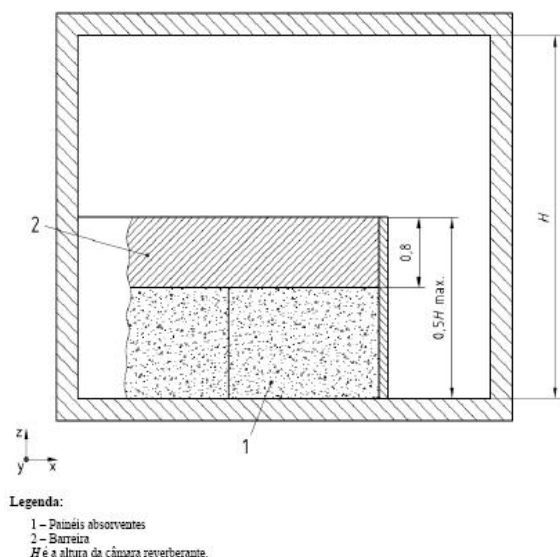


Figura B.4 - Exemplo de uma montagem do tipo J envolvida por uma barreira não absorvente, usando a abordagem em “poço profundo” (vista em corte)

Fig. 5.37- Exemplo de montagem do tipo J envolvida por uma barreira não absorvente, usando a abordagem em “poço profundo” (vista em corte) [26].

Na fase de realização dos ensaios das amostras de Aglomex Acoustic “pintado”, sob a forma de elemento absorvente plano, não nos foi possível realizar os ensaios sob a forma de elementos absorventes suspensos, tipo Baffles, com a barreira não absorvente de acordo com a montagem tipo J descrita na norma.

Por curiosidade, ensaiamos as amostras sem a barreira não absorvente, para vermos quais os resultados que se obteria pela não consideração desta. O esquema da montagem é a apresentada na Fig. 5.38, onde se utilizou três alinhamentos de Baffles, com um afastamento aproximado de 0,6 m, e com uma área de implantação igual a 6,3 m². Os resultados obtidos são os apresentados na Tabela 5.12.

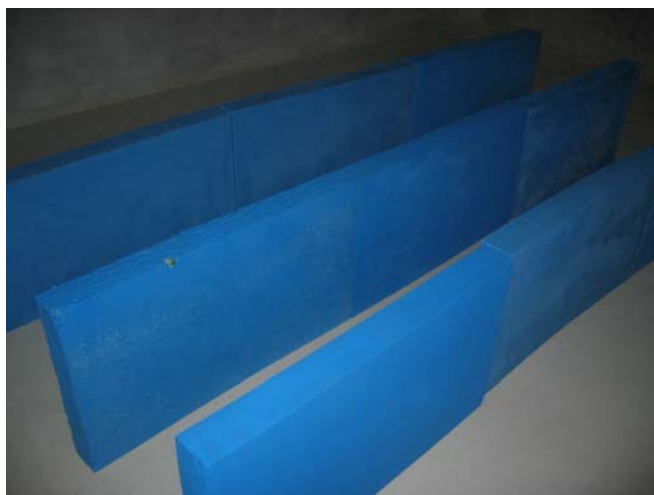


Fig. 5.38- Esquema da montagem dos Baffles de Aglomex Acoustic “pintado” sem montagem tipo J de acordo com a norma EN ISO 354:2007.

Tabela 5.12 – Resultados obtidos do Coeficiente de Absorção Sonora, para o Aglomex Acoustic “pintado” sem a consideração da barreira não absorvente.

Frequência (Hz)	TRMédio	A ₂	A	αs
100	6.72	5.2	3.1	0.48
125	5.52	6.3	3.2	0.50
160	4.62	7.6	4.6	0.73
200	4.6	7.6	4.5	0.71
250	3.87	9.0	6.0	0.96
315	3.79	9.2	6.3	1.01
400	3.47	10.1	7.2	1.14
500	3.43	10.2	7.2	1.14
630	3.28	10.6	7.5	1.19
800	3.16	11.0	7.6	1.21
1000	3.13	11.2	7.4	1.18
1250	2.92	12.0	7.6	1.20
1600	2.78	12.6	7.5	1.18
2000	2.71	12.9	7.3	1.15
2500	2.56	13.6	7.2	1.14
3150	2.37	14.7	6.9	1.09
4000	2.12	16.5	6.7	1.06
5000	1.83	19.1	6.5	1.03

Como podemos observar pelos resultados obtidos, a não consideração de barreira absorvente faz com que os valores obtidos do coeficiente de Absorção Sonora sejam muito elevados, e superiores à unidade.

Solucionado o problema da barreira não absorvente, eis que surge um novo e grande obstáculo a quando da realização dos ensaios. A Parede que separa a Câmara Reverberante R1 da E1, destinada habitualmente para medir reduções sonoras de elementos construtivos diversos, encontrava-se aberta, sem qualquer tipo de material a isolar os dois compartimentos. Isto poderia levar a que os tempos de reverberação medidos pela consideração do volume conjunto das duas salas, fosse muito longo, por vezes com picos e oscilações difíceis de interpretar, em determinada gama de frequências (habitualmente nas baixas frequências). Outro problema que poderia surgir seria o normalmente verificado em espaços acoplados, designado de “coupled space”. A curva de decaimento do tempo de reverberação neste caso apresenta duas “rectas” distintas. Tal situação acontece quando dois espaços adjacentes, têm características acústicas distintas.

Decidiu-se no entanto continuar com o trabalho experimental, nestas mesmas condições, e esperar pelos resultados para poder tirar algumas conclusões.

Para se tentar minimizar os efeitos negativos provocados pela consideração das duas salas, e uniformizar o campo sonoro, decidiu-se colocar a fonte sonora na “gola” (parede separação das duas salas). Consideramos por isso uma sala com um volume total igual ao das câmaras R1 e E1 onde se colocaria a fonte sonora a meio desta.

Aproveitando também o facto de a pequena parede existente entre as duas câmaras ter uma altura muito semelhante à do material em estudo (cerca de 60 cm), decidiu-se construir uma barreira tipo “poço” (Fig. 5.34), incorporando essa mesma parede na barreira não absorvente. Para as duas paredes restantes da barreira, decidiu-se utilizar tijolos por ser o material menos absorvente disponível na altura do ensaio. (Fig.5.39).



Fig. 5.39 – Montagem “ em poço” efectuada com tijolos.

A Fig.5.40 e Fig 5.41 ilustram as plantas das montagens efectuadas. Na primeira efectuou-se uma montagem com três alinhamentos, e afastamento D igual a 1,0 m, e no segundo caso reduziu-se esse afastamento D para 0,6 m, introduzindo-se mais dois alinhamentos de Baffles, não se respeitando deste modo o número de alinhamentos máximos descritos na norma.

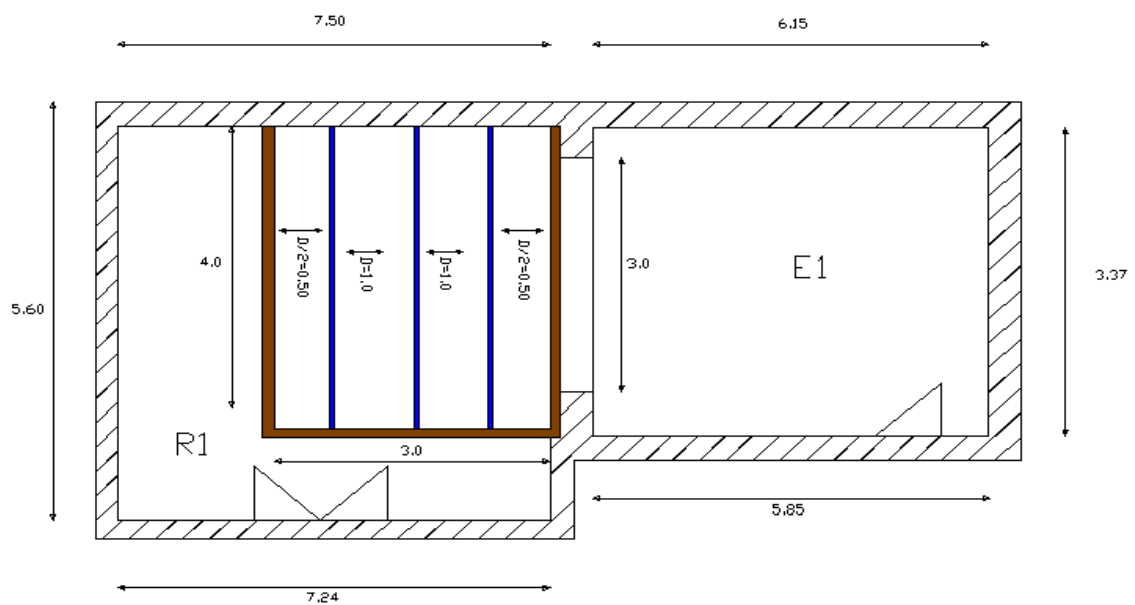


Fig. 5.40 – Planta da montagem tipo J em poço efectuada com D igual a 1,0 m (desenho sem escala).

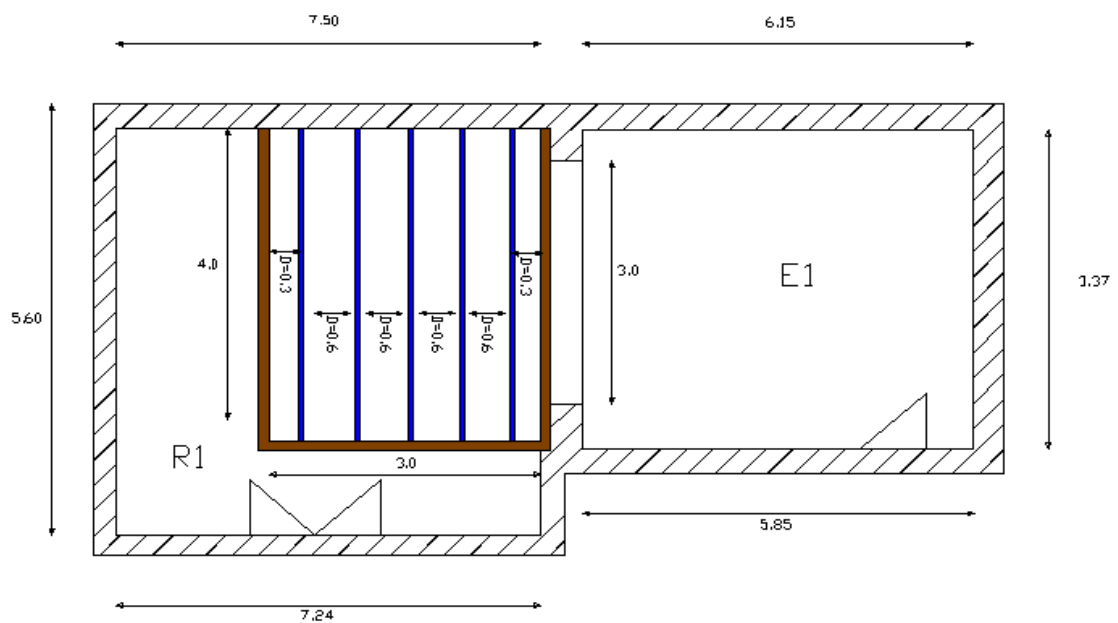


Fig. 5.41 – Planta da montagem tipo J em poço efectuada com D igual a 0,6 m (desenho sem escala).

Na Fig.5.42 e 5.43 apresentam-se algumas imagens do ensaio com os Baffles já colocados na barreira.



Fig. 5.42 – Colocação dos Baffles de Aglomex Acoustic “pintado” dentro da barreira não absorvente com $D=1,0$ m.



Fig. 5.43- Colocação dos Baffles de Aglomex Acoustic “pintado” dentro da barreira não absorvente com $D=0,6$ m.

O procedimento de cálculo é o mesmo utilizado para os elementos absorventes planos. Medem-se os tempos de reverberação com e sem a amostra colocada na Câmara Reverberante, e determinam-se as áreas de absorção sonora equivalente iniciais e finais (A_1 e A_2). A medição do tempo de reverberação inicial é efectuada com a barreira não absorvente inserida na câmara.

O volume a considerar para o cálculo, é o somatório das duas salas, dando um total aproximado de 322 m^3 , e a área de implantação (S) é igual a 12 m^2 (área envolta da estrutura não absorvente).

Obteve-se então os seguintes resultados para a área de absorção equivalente da câmara sem amostra colocada (A_1) (Tabela 5.13).

Tabela 5.13 – Área de absorção sonora equivalente da Câmara Reverberante, sem amostra (A1).

Frequência (Hz)	TRMédio	A ₁ (m ²)
100	9.83	5.25
125	9.96	5.19
160	8.84	5.84
200	6.22	8.30
250	6.94	7.44
315	5.84	8.84
400	4.75	10.88
500	4.39	11.77
630	4.66	11.08
800	4.71	10.96
1000	4.26	12.13
1250	4.28	12.06
1600	4.39	11.77
2000	4.05	12.76
2500	3.80	13.59
3150	3.24	15.95
4000	2.90	17.80
5000	2.33	22.19

Conhecidas as condições para a realização do ensaio, pretende-se avaliar o cumprimento da ISO 354:2007:

Assim, de acordo com a norma internacional em vigor:

$$V = 322 \geq 125m^3 \text{ (Verifica)} \quad (5.18)$$

No mesmo documento, e de acordo com a equação (4.12), que fixa um valor máximo para o comprimento da maior linha recta contida no perímetro da câmara:

$$l_{\max} \leq 1,9V^{1/3} \Leftrightarrow \cong 14 \leq 1,9 \times 322^{1/3} \Leftrightarrow 14 \geq 13,02 \text{ (Não Verifica)} \quad (5.19)$$

Quanto à verificação das áreas de absorção sonora equivalente da Câmara Reverberante vazia (Tabela 5.12), estas não devem exceder os valores que constam na Tabela 4.1, multiplicados por:

$$\left(\frac{V}{200} \right)^{2/3} = \left(\frac{322}{200} \right)^{2/3} = 1,37 \quad (5.20)$$

Os valores regulamentares máximos admitidos, são então apresentados na Tabela 5.14, denominados por A_{regulamentar}.

Tabela 5.14 – Verificação da área de absorção sonora equivalente máxima admitida, para a Câmara Reverberante vazia

Frequência (Hz)	A_1 (m ²)	$A_{\text{regulamentar}}$	Verificação
100	5.25	8.91	OK
125	5.19	8.91	OK
160	5.84	8.91	OK
200	8.30	8.91	OK
250	7.44	8.91	OK
315	8.84	8.91	OK
400	10.88	8.91	OK
500	11.77	8.91	OK
630	11.08	8.91	OK
800	10.96	8.91	OK
1000	12.13	9.59	OK
1250	12.06	10.28	OK
1600	11.77	10.96	OK
2000	12.76	13.02	OK
2500	13.59	14.39	OK
3150	15.95	16.44	OK
4000	17.80	17.81	OK
5000	22.19	19.18	KO

Apesar das considerações tomadas, na tentativa de resolver os problemas relativos à abertura na parede de separação das Câmaras Reverberantes, não se conseguiu cumprir o regulamento, quanto ao comprimento máximo permitido ($l_{\text{máx}}$), nem quanto à área de absorção sonora equivalente para a frequência de 5000 Hz. Estes valores são no entanto muito próximos dos limites regulamentares.

Os resultados obtidos, calculados com base no tempo de reverberação médio, para os Baffles de Aglomex Acoustic “pintado” com $D=1,0$ m, são os apresentados na Tabela 5.15.

Tabela 5.15 – Resultados dos Coeficientes de Absorção Sonora obtidos para os Baffles de Aglomex Acoustic, com D=1,0 m.

Frequência (Hz)	TRMédio	A_2 (m ²)	A (m ²)	α_s
100	7.40	6.98	1.73	0.14
125	5.45	9.47	4.29	0.36
160	6.39	8.08	2.24	0.19
200	5.05	10.22	1.92	0.16
250	5.23	9.87	2.43	0.20
315	4.50	11.48	2.64	0.22
400	3.32	15.54	4.66	0.39
500	3.39	15.23	3.46	0.29
630	3.10	16.65	5.57	0.46
800	3.35	15.43	4.47	0.37
1000	3.01	17.13	5.00	0.42
1250	2.81	18.41	6.35	0.53
1600	2.90	17.82	6.06	0.50
2000	2.66	19.44	6.68	0.56
2500	2.57	20.07	6.48	0.54
3150	2.31	22.34	6.38	0.53
4000	2.20	23.45	5.64	0.47
5000	1.85	27.88	5.69	0.47

Os resultados obtidos calculados com base no tempo de reverberação médio, para os Baffles de Aglomex Acoustic “pintado” com D=0,6 m, são os apresentados na Tabela 5.16.

Tabela 5.16 – Resultados dos Coeficientes de Absorção Sonora obtidos para os Baffles de Aglomex Acoustic, com D=0,6 m.

Frequência (Hz)	TRMédio	A_2 (m ²)	A (m ²)	α_s
100	7.56	6.83	1.58	0.13
125	5.27	9.80	4.62	0.38
160	5.27	9.81	3.97	0.33
200	5.11	10.11	1.81	0.15
250	4.79	10.77	3.33	0.28
315	4.02	12.85	4.01	0.33
400	3.12	16.56	5.68	0.47
500	3.04	16.99	5.22	0.44
630	3.04	16.98	5.89	0.49
800	2.99	17.27	6.30	0.53
1000	2.89	17.85	5.72	0.48
1250	2.61	19.79	7.74	0.64
1600	2.71	19.04	7.27	0.61
2000	2.55	20.25	7.50	0.62
2500	2.44	21.17	7.58	0.63
3150	2.16	23.86	7.91	0.66
4000	2.11	24.47	6.67	0.56
5000	1.72	30.04	7.85	0.65

Como se pode verificar pelos resultados obtidos, os Coeficientes de Absorção Sonora, são muito inferiores aos resultados obtidos para a amostra colocada no pavimento. Efectua-se no capítulo seguinte uma análise e comparação aos resultados obtidos para outras soluções de Baffles.

5.4.8. RESULTADOS OBTIDOS PELO MÉTODO DA CÂMARA REVERBERANTE

5.4.8.1. Valores do Coeficiente de Absorção Sonora para o ensaio plano do Aglomex Acoustic “pintado” de espessura 100 mm e densidade 60 kg/m³

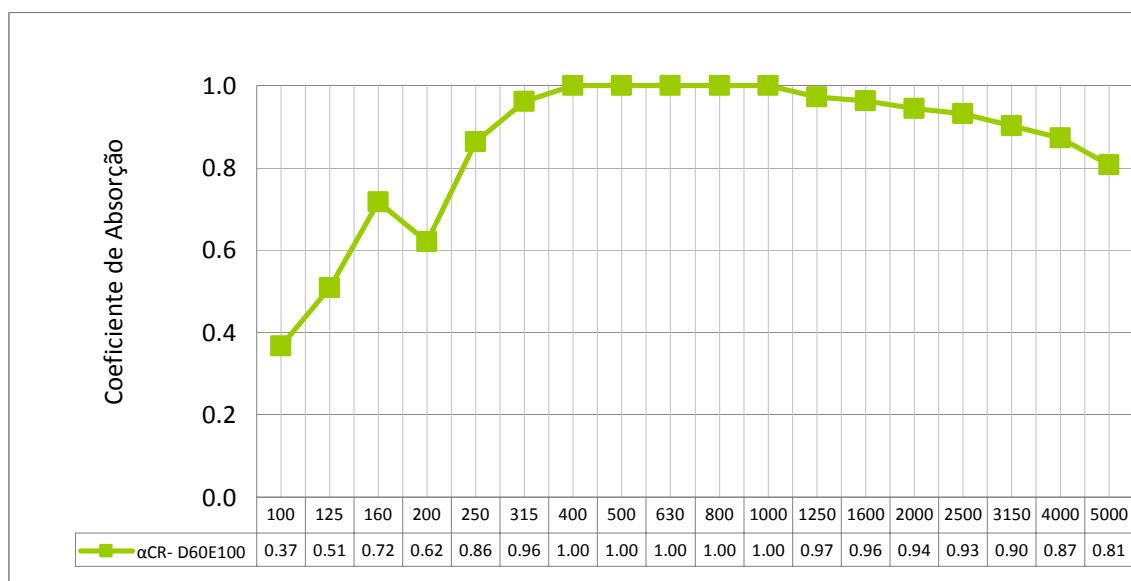


Fig. 5.45 - Gráfico dos valores do Coeficiente de Absorção Sonora, obtidos pelo Método da Câmara Reverberante para elementos absorventes planos, para a espessura ensaiada de 100mm e densidade 60 kg/m³.

No gráfico da Fig 5.45, apresentam-se os resultados do Coeficiente de Absorção Sonora, em função da frequência, dos ensaios realizados pelo Método da Câmara Reverberante para elementos absorventes planos, com uma espessura de 100 mm e densidade 60 kg/m³.

5.4.8.2. Valores do Coeficiente de Absorção Sonora para o ensaio de Baffles, do Aglomex Acoustic “pintado” de espessura 100 mm e densidade 60 kg/m^3 , e afastamento $D=1,0$ e $0,6$ m entre Baffles

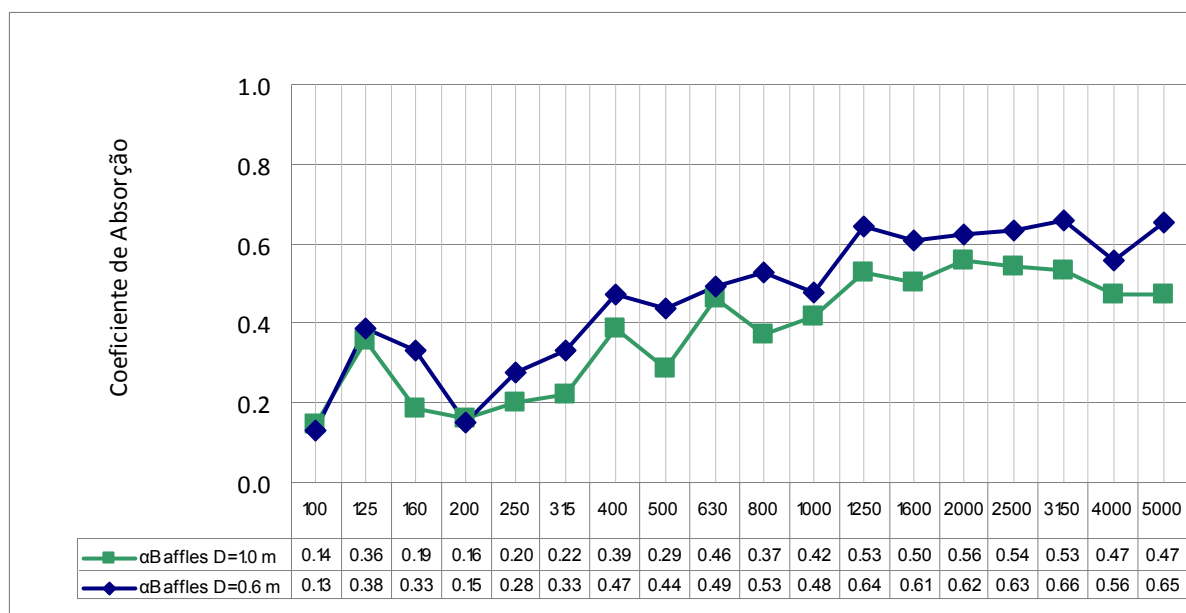


Fig. 5.46 - Gráfico dos valores do Coeficiente de Absorção Sonora, obtidos pelo Método da Câmara Reverberante para os Baffles, com espessura de 100mm e densidade 60 kg/m^3 e afastamento $D=1,0\text{m}$ e $D=0,60$ m entre Baffles.

No gráfico da Fig 5.46, apresentam-se os resultados do Coeficiente de Absorção Sonora, em função da frequência, dos ensaios realizados pelo Método da Câmara Reverberante para elementos absorventes suspensos, tipo Baffles, com uma espessura de 100 mm e densidade 60 kg/m^3 e com afastamento entre alinhamentos de Baffles D , igual a 1,0 m e 0,6 m.

6

ANÁLISE DOS RESULTADOS

6.1. INTRODUÇÃO

No presente capítulo, tem-se como principais objectivos:

- Comparar os resultados do valor do Coeficiente de Absorção sonora do material de Aglomex Acoustic com o material de Aglomex Acoustic “pintado”;
- Comparação das metodologias utilizadas para o material de Aglomex Acoustic “pintado”.

Assim sendo, e considerando que os resultados obtidos pelo Método da Câmara Reverberante são aqueles que melhor traduzem o comportamento do material, optou-se por se fazer duas análises comparativas ao material Aglomex Acoustic “pintado”: inicialmente comparando-se os valores do Coeficiente de Absorção Sonora determinados pelo Método Teórico com os mesmos valores determinados pelo Método da Câmara Reverberante; num segundo momento comparando-se os valores do Coeficiente de Absorção Sonora obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias, novamente com os mesmos valores obtidos no Método da Câmara Reverberante.

Posteriormente, para uma melhor percepção das potencialidades do produto em estudo relativamente à sua utilização como elemento absorvente suspenso, tipo Baffle, e para se avaliar o seu possível enquadramento no mercado, efectuou-se uma análise aos Baffles já comercializados.

6.2. COMPARAÇÃO ENTRE O MATERIAL AGLOMEX ACOUSTIC COM PINTURA E SEM PINTURA

Neste sub capítulo vamos comparar os resultados obtidos pelos vários métodos entre o Aglomex Acoustic “não pintado” e o Aglomex Acoustic “pintado”, para tentar-mos perceber quais os efeitos provocados pela pintura neste material.

Uma vez que não dispomos dos resultados de toda a gama de densidades e espessuras, para os vários métodos estudados, iremos apenas avaliar os efeitos que a pintura tem no material de densidade e espessura comum a todos os ensaios, ou seja, para a densidade de 60 kg/m³ e espessura 100 mm, pelo que esta comparação é apenas uma análise simplificada aos efeitos provocados pela pintura no material.

6.2.1. EFEITOS DA PINTURA NO MATERIAL DE AGLOMEX ACOUSTIC COM D60E100 NO MÉTODO TEÓRICO DE MECHEL

O gráfico da Fig 6.1, apresenta os resultados obtidos pelo Método Teórico de Mechel para o Aglomex Acoustic “pintado” e “não pintado”, com uma espessura de 100 mm e densidade 60 kg/m³.

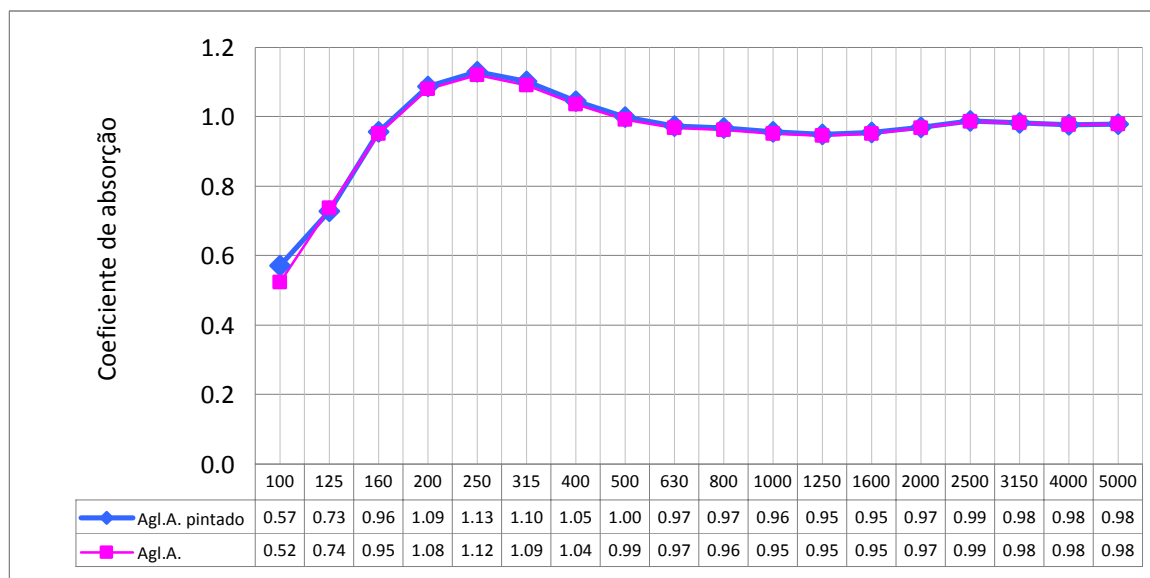


Fig. 6.1- Gráfico dos valores do Coeficiente de Absorção Sonora, obtidos pelo Método Teórico de Mechel, para o Aglomex Acoustic “pintado” e “não pintado”, com espessura de 100mm e densidade 60 kg/m³

Como podemos verificar pelos resultados obtidos, existe muito pouca variação para as duas simulações efectuadas com o modelo teórico de Mechel, apesar da ligeira diferença existente nos valores de permeabilidade entre o Aglomex Acoustic “pintado” e não pintado.

Pela simulação teórica efectuada, podemos dizer que a pintura não teve qualquer efeito nos valores do Coeficiente de Absorção Sonora, para a espessura de 100 mm e densidade 60 kg/m³.

6.2.2. EFEITOS DA PINTURA NO MATERIAL DE AGLOMEX ACOUSTIC COM D60E100 NO MÉTODO DO TUBO DE ONDAS ESTACIONÁRIAS

O gráfico da Fig 6.2, apresenta os resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para o Aglomex Acoustic “pintado” e “não pintado”, com uma espessura de 100 mm e densidade 60 kg/m³.

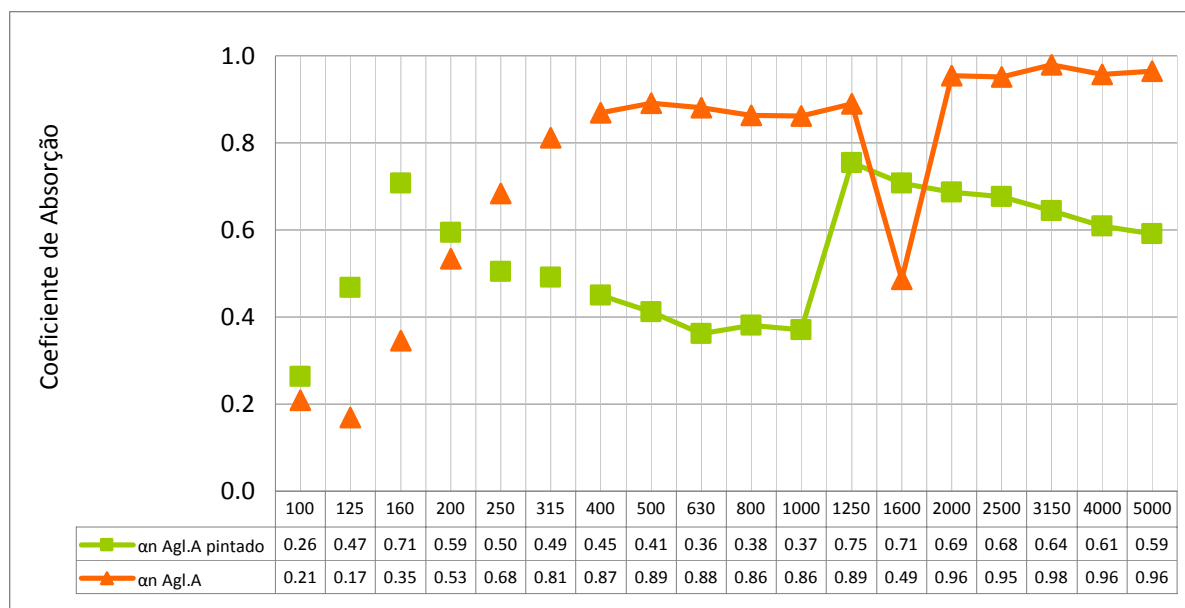


Fig. 6.2- Gráfico dos valores do Coeficiente de Absorção Sonora para incidência normal, obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias, para o Aglomex Acoustic “pintado” e “não pintado”, com espessura de 100mm e densidade 60 kg/m³

Como podemos ver pelos resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias, existe uma grande variação entre os dois materiais.

A pintura do material provocou uma grande redução dos valores do Coeficiente de Absorção Sonora obtidos a partir do Método do Tubo de Ondas Estacionárias.

Para as restantes espessuras e densidades, verifica-se sempre uma grande variação nos resultados, pelo que podemos concluir que a pintura teve efeitos muito negativos no que diz respeito à absorção. Esses gráficos são apresentados no Anexo 4.

O material de Aglomex Acoustic, sem pintura, apresenta algumas variações nos resultados, talvez consequência dos problemas já aqui abordados relativos ao corte nem sempre perfeito do material, e a possível variabilidade entre o material principalmente entre as amostras de grande dimensão e as de pequena dimensão utilizadas no tubo. A pintura ao que parece, acentuou ainda mais essas diferenças, resultando por vezes em situações muito anormais com variações acentuadas.

Conclui-se deste modo pela comparação dos resultados obtidos na solução com pintura e sem pintura, que o Aglomex Acoustic “pintado” não poderá ser caracterizado pelo Tubo de Ondas Estacionárias utilizado no presente trabalho, por apresentarem grandes flutuações, e irregularidades nas curvas de absorção sonora.

6.2.3. EFEITOS DA PINTURA NO MATERIAL DE AGLOMEX ACOUSTIC COM D60E100 NO MÉTODO DA CÂMARA REVERBERANTE

O gráfico da Fig 6.3, apresenta os resultados obtidos pelo Método da Câmara Reverberante para o Aglomex Acoustic “pintado” e “não pintado”, com uma espessura de 100 mm e densidade 60 kg/m³.

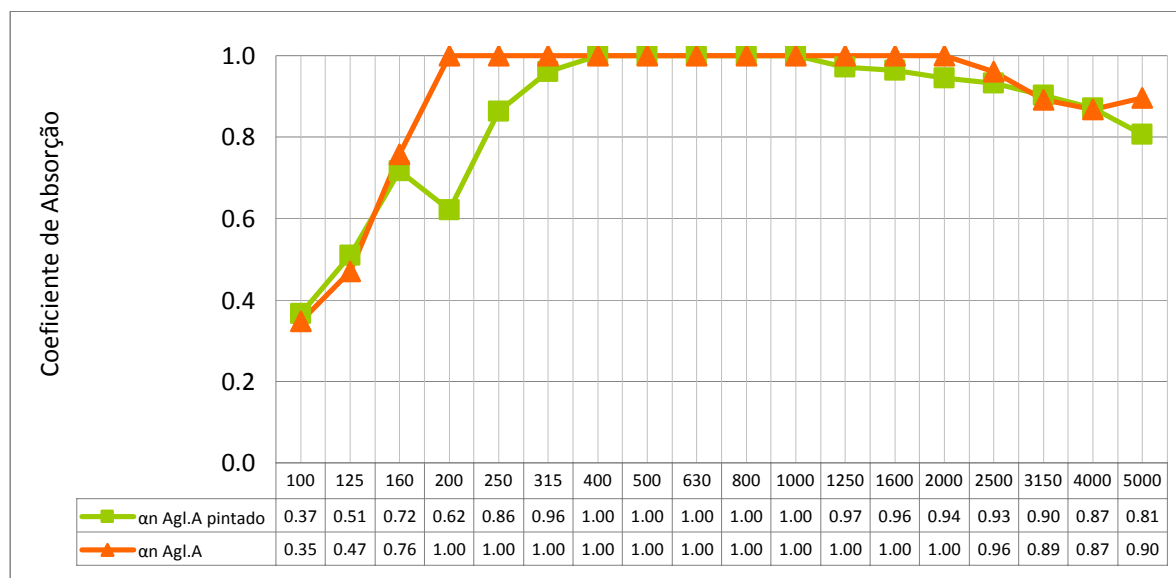


Fig. 6.3- Gráfico dos valores do Coeficiente de Absorção Sonora, obtidos pelo Método da Câmara Reverberante, para o Aglomex Acoustic “pintado” e “não pintado”, com espessura de 100mm e densidade 60 kg/m³

Como podemos verificar pelos resultados obtidos, existe muito pouca variação entre os resultados obtidos pelo Método da Câmara Reverberante para o Aglomex Acoustic “pintado” e “não pintado”.

Existe uma pequena redução nos valores do Coeficiente de Absorção Sonora entre os 160 Hz e os 315 Hz, e entre os 1250 Hz e os 3150 Hz, sendo esta menos acentuada.

Os resultados obtidos são até certo ponto semelhantes aos obtidos pelo Método Teórico, que previa uma diferença quase nula entre estes dois materiais.

Sendo este o ensaio que melhor caracteriza o real comportamento do material à absorção sonora, podemos considerar, que a pintura teve pouco efeito nos resultados finais obtidos, continuando-se a registar valores elevados do Coeficiente de Absorção Sonora para o Aglomex Acoustic depois de pintado.

6.3. COMPARAÇÃO ENTRE AS VÁRIAS METODOLOGIAS ESTUDADAS PARA O AGLOMEX ACOUSTIC “PINTADO” COM D60E100

Vamos agora comparar os resultados obtidos entre as várias metodologias estudadas para o material Aglomex Acoustic “pintado”, tendo como elemento comparativo base, aquele que melhor caracteriza o comportamento real do material, ou seja, os resultados obtidos no Método da Câmara Reverberante.

Iremos então comparar os resultados obtidos pelo Método da Câmara Reverberante com os obtidos com o Método Teórico e o Método do Tubo de Ondas Estacionárias.

6.3.1 COMPARAÇÃO ENTRE O MÉTODO TEÓRICO E O MÉTODO DA CÂMARA REVERBERANTE PARA O MATERIAL AGLOMEX ACOUSTIC “PINTADO” COM D60E100

O gráfico da Fig 6.4, apresenta os resultados obtidos pelo Método da Câmara Reverberante e pelo Método Teórico de Mechel para o Aglomex Acoustic “pintado” com uma espessura de 100 mm e densidade 60 kg/m³.

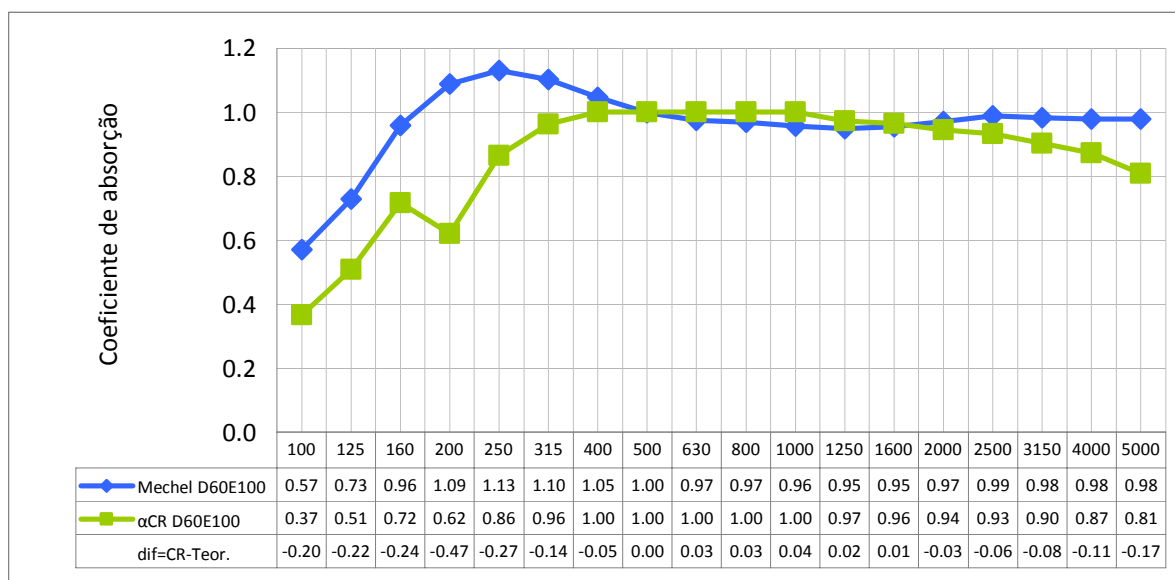


Fig. 6.4- Gráfico dos valores do Coeficiente de Absorção Sonora, obtidos pelo Método da Câmara Reverberante e pelo Método Teórico de Mechel, para o Aglomex Acoustic “pintado” com espessura de 100mm e densidade 60 kg/m³

Pelos resultados obtidos, verifica-se pouca variação nos resultados obtidos para o Coeficiente de Absorção Sonora, principalmente nas médias frequências (entre os 400 Hz e os 2000 Hz). As maiores diferenças verificam-se para a zona das baixas frequências (dos 100 Hz aos 400 Hz) e nas altas frequências (dos 2000 Hz aos 5000 Hz) sendo estas um pouco menores.

Os resultados obtidos pelo Método Teórico são de certa forma semelhantes aos obtidos pelo Método da Câmara Reverberante, com exceção das baixas frequências, onde os valores obtidos são muito superiores.

6.3.2 COMPARAÇÃO ENTRE O MÉTODO DO TUBO DE ONDAS ESTACIONÁRIAS E O MÉTODO DA CÂMARA REVERBERANTE PARA O MATERIAL AGLOMEX ACOUSTIC “PINTADO” COM D60E100

O gráfico da Fig 6.5, apresenta os resultados obtidos pelo Método da Câmara Reverberante e pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para o Aglomex Acoustic “pintado” com uma espessura de 100 mm e densidade 60 kg/m³.

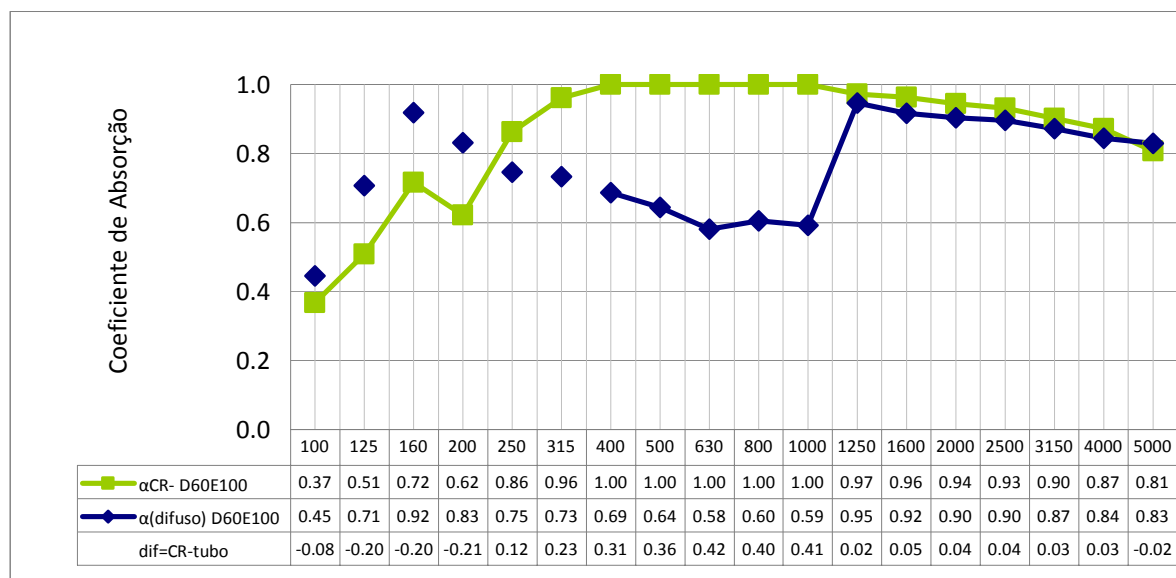


Fig. 6.5- Gráfico dos valores do Coeficiente de Absorção Sonora, obtidos pelo Método da Câmara Reverberante e pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias, para o Aglomex Acoustic “pintado” com espessura de 100mm e densidade 60 kg/m³

Pelos resultados obtidos, verifica-se uma grande variação entre os dois métodos principalmente na zona entre os 400 Hz e os 1000 Hz.

Mais uma vez é notória a diferença entre as amostras utilizadas para o tubo grande e o tubo pequeno. Existe claramente uma diferença entre os dois materiais pelas razões que já aqui foram discutidas na explicação do Método do Tubo de Ondas Estacionárias. Justifica-se uma vez mais a não validade do Tubo de Ondas Estacionárias utilizado no presente trabalho para este tipo de solução com pintura, ao contrário do mesmo produto sem pintura, já comprovado e testado noutros trabalhos anteriormente realizados.

A não consideração de uma caixa-de-ar atrás da amostra, poderá ajudar a diminuir estas diferenças, no entanto as amostras do tubo grande continuaram a ser diferentes das amostras utilizadas no tubo pequeno, dando em certos casos diferenças muito acentuadas.

Uma vez que não dispomos dos resultados obtidos pela Câmara Reverberante para as restantes densidades e amostras, torna-se complicado tirar conclusões gerais sobre os resultados obtidos entre estes dois métodos, efectuando a nossa análise apenas a esta densidade e espessura específica (D60E100).

6.3.3 RESUMO DOS RESULTADOS OBTIDOS PARA AS VÁRIAS METODOLOGIAS ESTUDADAS

O gráfico da Fig 6.6, apresenta o resumo dos resultados obtidos pelos três métodos estudados, ou seja, o Método Teórico de Mechel, o Método do Tubo de Ondas Estacionárias e o Método da Câmara Reverberante para o material Aglomex Acoustic “pintado” com uma espessura de 100 mm e densidade 60 kg/m³.

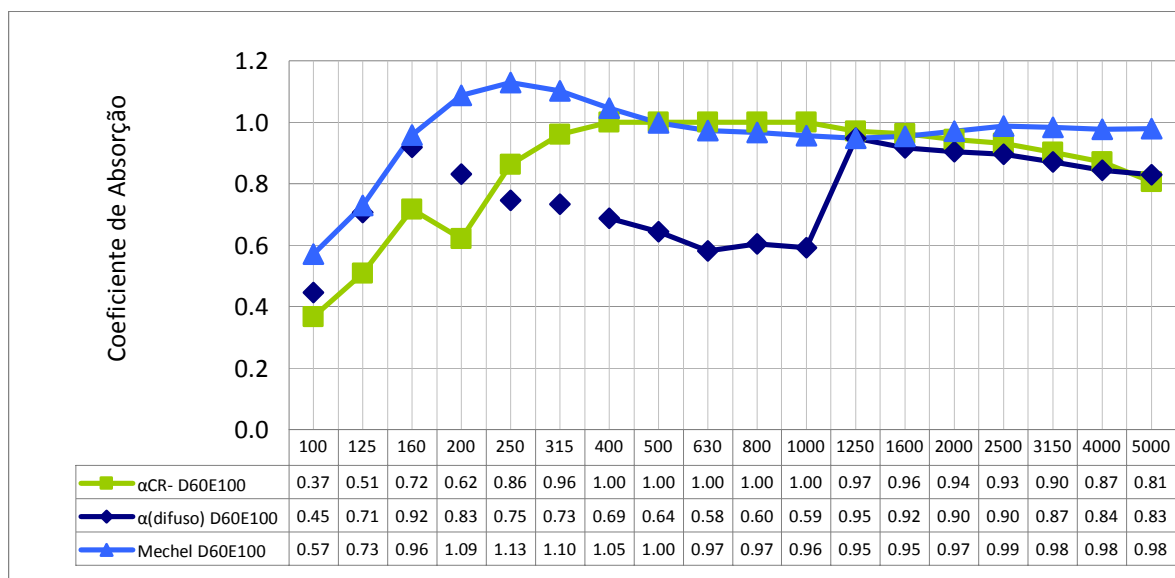


Fig. 6.6- Gráfico dos valores do Coeficiente de Absorção Sonora, obtidos pelos três métodos estudados, para o Aglomex Acoustic “pintado” com espessura de 100mm e densidade 60 kg/m³

Resumindo o que já foi dito anteriormente, o Método Teórico é aquele onde se verifica resultados mais próximos dos obtidos na Câmara Reverberante, com excepção nas baixas frequências.

Para a zona válida do Tubo de Ondas Estacionárias, apenas se verifica uma maior proximidade de resultados nas altas frequências, sendo que nas médias frequências, as diferenças muito significativas, pondo em causa a validade deste tubo para este tipo de solução com pintura.

6.4. ENQUADRAMENTO DO PRODUTO EM ESTUDO NO MERCADO ACTUAL (BAFFLES)

Pretende-se neste sub capítulo enquadrar o produto em estudo com outros já existentes no mercado.

Ensaaiou-se por isso outra solução de Baffles da marca comercial SILÊNCIO, para se poder comparar com os resultados obtidos para a solução de Aglomex Acoustic “pintado”. Caso se verifica-se uma semelhança entre resultados, poderíamos assim concluir que os resultados baixos obtidos para a solução em estudo de Aglomex Acoustic “pintado” se devia não ao seu fraco desempenho acústico relativamente à sua utilização como Baffle, mas sim devido às características da envolvente.

Os Baffles da SILÊNCIO são constituídos por um caixilho de aço galvanizado rebitado e com absorvente interior em lã mineral rígida de 60 mm de espessura, incluindo um véu negro cru protector.

O ensaio realizado foi o mesmo da solução de Aglomex Acoustic “pintado” e por isso realizado nas mesmas condições. Apresenta-se nas Fig.6.7 e Fig.6.8 as montagens efectuadas para as soluções com afastamento D entre alinhamentos igual a 1 m e a 0,6 m.



Fig. 6.7 – Colocação dos Baffles da SILÊNCIO dentro da barreira não absorvente com $D=1,0$ m.



Fig. 6.8 – Colocação dos Baffles da SILÊNCIO dentro da barreira não absorvente com $D=0,6$ m.

Os resultados obtidos para os valores do Coeficiente de Absorção Sonora para as duas montagens efectuadas, são os apresentados na Tabela 6.1. e Tabela 6.2.

Tabela 6.1 – Resultados obtidos do Coeficiente de Absorção Sonora para os Baffles da SILÊNCIO, com D=1,0 m.

Frequência (Hz)	TRMédio	A ₂	A	αs
100	6.17	8.37	3.12	0.26
125	5.84	8.84	3.66	0.30
160	5.89	8.77	2.92	0.24
200	5.02	10.28	1.98	0.16
250	5.30	9.74	2.30	0.19
315	4.46	11.58	2.74	0.23
400	3.44	15.00	4.12	0.34
500	3.33	15.51	3.75	0.31
630	3.04	16.98	5.89	0.49
800	3.09	16.72	5.76	0.48
1000	2.97	17.37	5.24	0.44
1250	2.83	18.24	6.18	0.51
1600	2.85	18.15	6.38	0.53
2000	2.68	19.26	6.50	0.54
2500	2.63	19.61	6.02	0.50
3150	2.37	21.83	5.88	0.49
4000	2.27	22.75	4.95	0.41
5000	1.85	27.96	5.77	0.48

Tabela 6.2 – Resultados obtidos do Coeficiente de Absorção Sonora para os Baffles da SILÊNCIO, com D=0,6 m.

Frequência (Hz)	TRMédio	A ₂	A	αs
100	6.31	8.18	2.93	0.24
125	5.35	9.66	4.47	0.37
160	5.25	9.84	4.00	0.33
200	4.80	10.76	2.46	0.20
250	4.98	10.37	2.93	0.24
315	4.12	12.54	3.70	0.31
400	3.39	15.26	4.37	0.36
500	3.25	15.89	4.12	0.34
630	2.85	18.13	7.05	0.59
800	2.84	18.16	7.19	0.60
1000	2.81	18.39	6.26	0.52
1250	2.73	18.94	6.88	0.57
1600	2.76	18.69	6.92	0.58
2000	2.60	19.87	7.12	0.59
2500	2.45	21.09	7.51	0.63
3150	2.26	22.84	6.89	0.57
4000	2.16	23.94	6.14	0.51
5000	1.78	28.97	6.78	0.57

Os resultados obtidos são muito semelhantes aos obtidos para a solução de Aglomex Acoustic “pintado”, ou seja, com a mesma ordem de grandeza de valores. Na Fig.6.9 apresentam-se os gráficos dos resultados obtidos para os Baffles das duas soluções ensaiadas, onde se pode ver bem a semelhança de valores dos dois materiais.

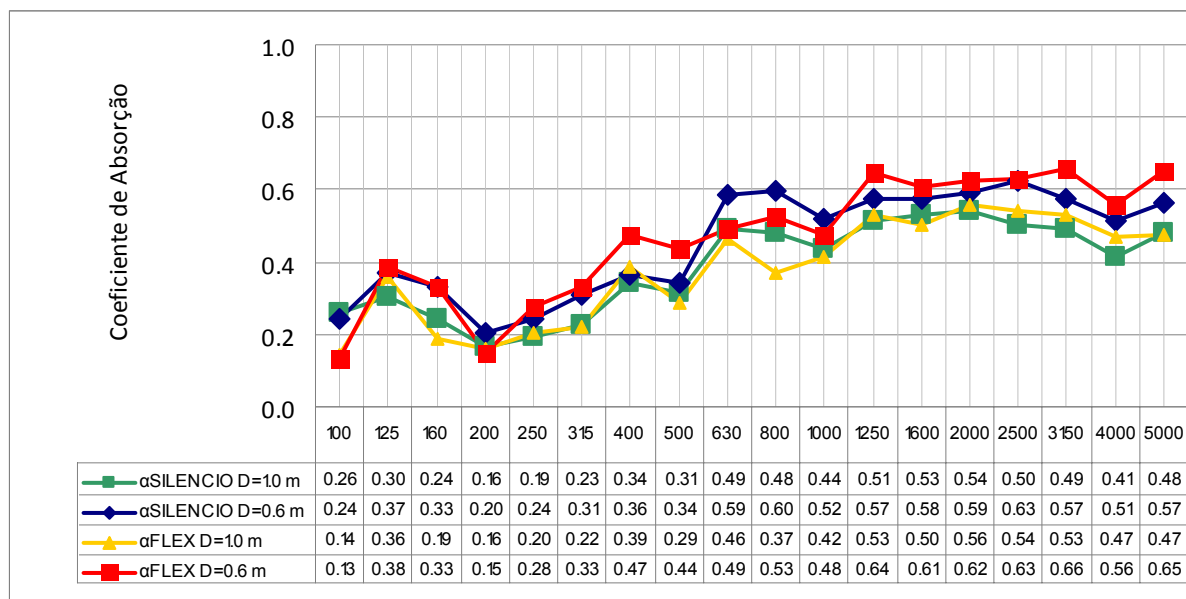


Fig. 6.9- Comparação dos resultados entre as duas soluções de Baffles ensaiadas.

Na tentativa de se encontrar possível causa que pudesse justificar os baixos valores dos Coeficientes de Absorção Sonora, mesmo depois de se ter efectuado uma redução do afastamento D para metade, com a inclusão de mais dois alinhamentos de Baffles, avaliou-se as curvas de decaimento dos tempos de reverberação.

Após uma análise às curvas de decaimento do tempo de reverberação, verificou-se que não existiam problemas de “coupled space”, ou seja, duas curvas de decaimento distintas que levaria a resultados inconstantes nos tempos de reverberação.

As Fig.6.10 e Fig.6.11 apresentam curvas de decaimento do tempo de reverberação dos ensaios realizados sem a amostra colocada na câmara, e com amostra de Aglomex Acoustic colocada na câmara com um afastamento D=1,0 m.

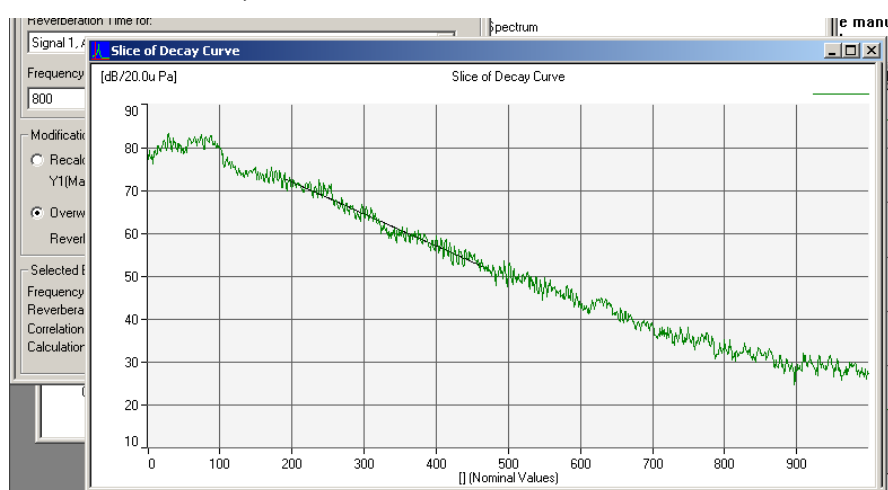


Fig. 6.10- Curva de decaimento do tempo de reverberação para a frequência de 800 Hz, sem a amostra colocada na câmara.

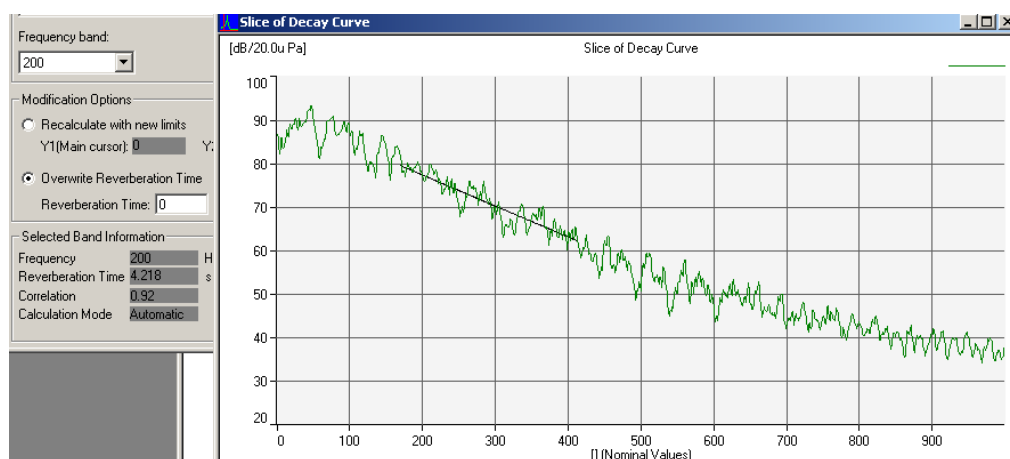


Fig. 6.11- Curva de decaimento do tempo de reverberação para a frequência de 200 Hz, com a amostra colocada na câmara (D=1.0m).

Como se pode verificar pelos gráficos das curvas de decaimento, não se verificam os fenómenos de “coupled space”, ou seja, duas curvas de decaimento distintas.

Apresenta-se ainda na Fig.6.12 as correlações entre as rectas traçadas no gráfico da curva, e a própria curva de decaimento do tempo de reverberação no ensaio dos Baffles de Aglomex Acoustic “pintado” com afastamento D=1,0 m. Nos restantes ensaios os resultados foram semelhantes.

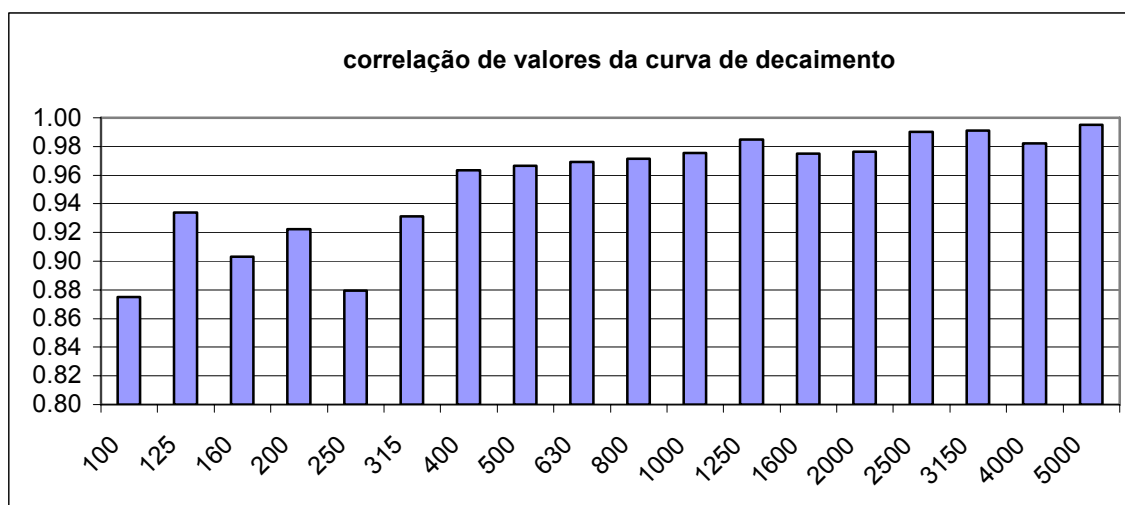


Fig. 6.12- Correlação de valores entre as rectas traçadas no gráfico da curva e a própria curva de decaimento do tempo de reverberação do ensaio dos Baffles de Aglomex Acoustic “pintado” com afastamento D=1,0 m.

Uma vez que os resultados obtidos para os Baffles da SILÊNCIO são semelhantes aos obtidos para os Baffles do Aglomex Acoustic “pintado”, podemos afirmar que os valores baixos do Coeficiente de Absorção Sonora são consequência da utilização de um espaço com um volume algo elevado, ou mesmo devidos à utilização de uma barreira que na realidade não é totalmente reflectora. Provavelmente com a realização dos ensaios com uma Câmara Reverberante com um volume menor, como o por exemplo a da câmara R1, com uma difusibilidade maior, resultaria em resultados mais

elevados. São necessários por isso novos ensaios, para se perceber realmente qual o verdadeiro desempenho acústico destes Baffles e se poderem comparar estas duas soluções de Baffles.

6.4.1 OUTRAS SOLUÇÕES DE BAFFLES ACÚSTICOS ENCONTRADAS NO MERCADO

Depois de se efectuar uma breve pesquisa no mercado sobre Baffles acústicos, rapidamente se percebeu que na maioria dos casos, os valores apresentados do Coeficiente de Absorção Sonora, não eram os mais correctos, sendo em alguns casos exageradamente elevados, provavelmente devidos ao tipo de ensaio realizado (em muitos dos casos apresentam valores superiores à unidade do Coeficiente de Absorção Sonora).

Quando ensaiados verticalmente, muitas das vezes não são se utilizam barreiras não absorventes conforme o especificado na norma, pelo que os resultados obtidos são muito superiores (algo semelhantes aos realizados obtidos no presente trabalho, no teste efectuado sem a colocação de barreira não absorvente).

O próprio fabricante não especifica a proveniência dos seus resultados, nem a forma como foram realizados os ensaios, o que pode dificultar a tarefa de um projectista na altura de escolher a melhor solução a adoptar para determinado projecto.

Queremos então com este sub capítulo mostrar um pouco essa problemática, ou seja, a enorme variabilidade dos valores do Coeficiente de absorção Sonora existentes no mercado, apresentados pelos diversos fabricantes, muitas das vezes para produtos semelhantes ou mesmo idênticos.

Apresenta-se a seguir alguns exemplos de Baffles, com os valores do Coeficiente de Absorção Sonora de acordo com o especificado no seu catálogo comercial:

- **BAFFLESORBA™ ABSORBER ECO**

Dimensões: 1250x625x50 mm

Afastamento entre painéis: 625 mm

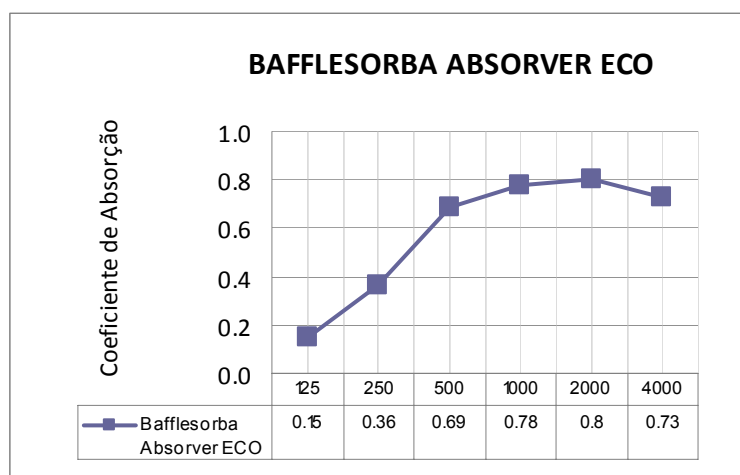


Fig. 6.13- Gráfico dos valores do Coeficiente de Absorção Sonora dos Baffles acústicos de designação comercial BAFFLESORBA ABSORVER ECO da empresa BAFFLESORBA™ (imagem retirada do site comercial)

- BAFFLESORBA™ T ABSORBER

Dimensões: 1250x625x50 mm;

Afastamento entre painéis: 400, 600 e 720 mm.

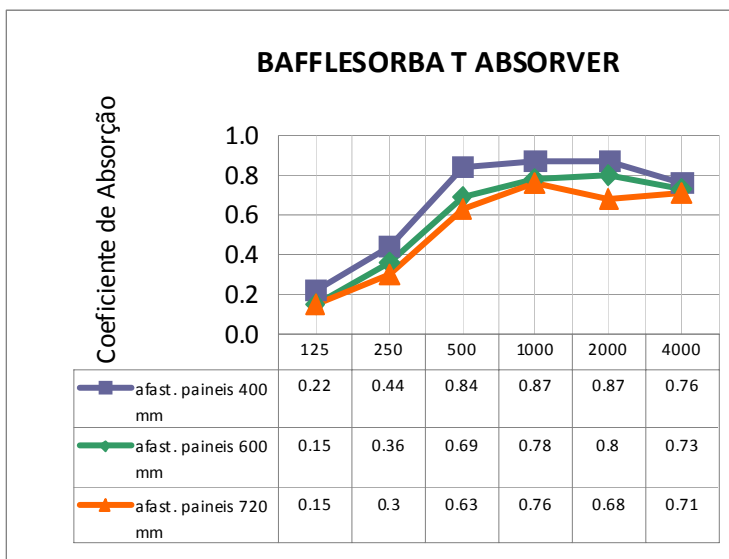


Fig. 6.14- Gráfico dos valores do Coeficiente de Absorção Sonora dos Baffles acústicos de designação comercial BAFFLESORBA T ABSORVER da empresa BAFFLESORBA™ (imagem retirada do site comercial)

- BAFFLESORBA™ RONDO ABSORBER

Dimensões: 1150x150 mm (diâmetro);

Afastamento entre painéis: 400, 600 e 720 mm.

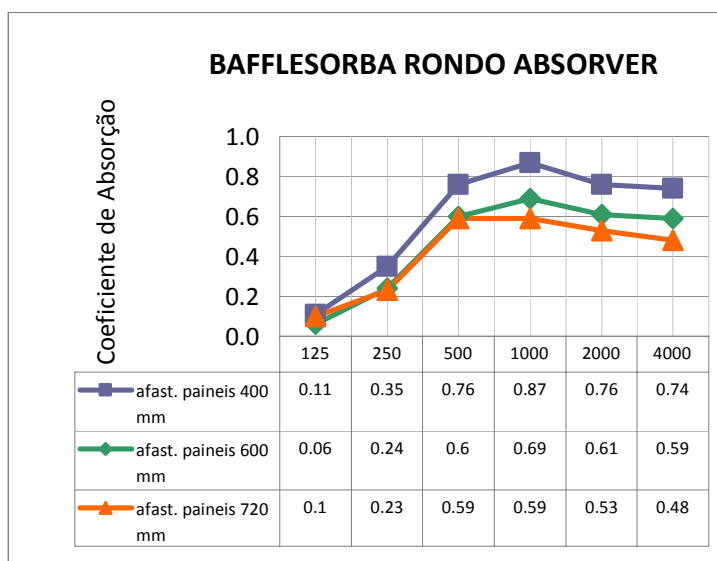


Fig. 6.15- Gráfico dos valores do Coeficiente de Absorção Sonora dos Baffles acústicos de designação comercial

BAFFLESORBA RONDO ABSORVER da empresa BAFFLESORBA™ (imagem retirada do site comercial).

- SONEX ACOUSTIC^R

Dimensões: 1250x256x50 mm.

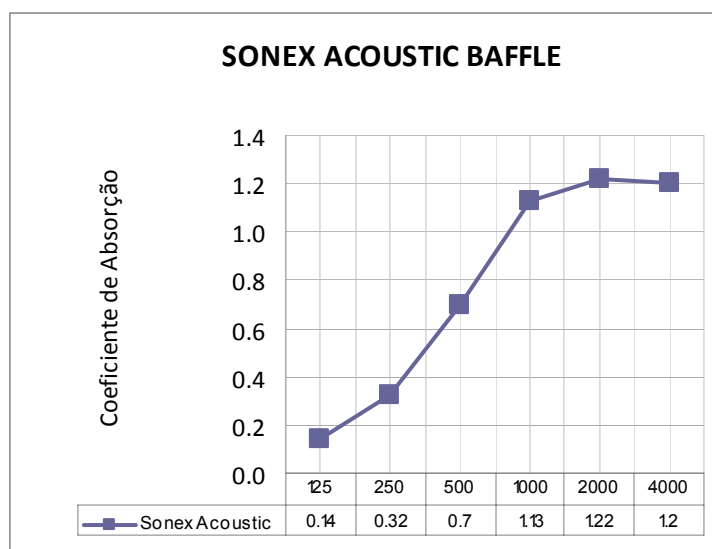


Fig. 6.16- Gráfico dos valores do Coeficiente de Absorção Sonora dos Baffles acústicos de designação comercial SONEX ACOUSTIC BAFFLE da empresa SONEX ACOUSTIC^R (imagem retirada do site comercial).

- UNGER Technologies PVC Baffle Specification

Dimensões: não especificado.

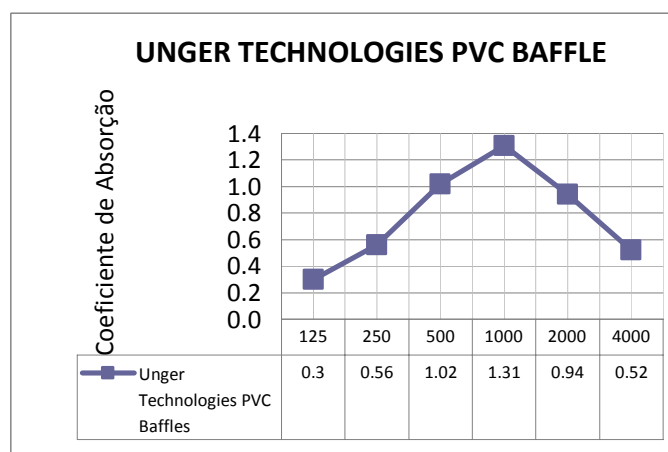


Fig. 6.17- Gráfico dos valores do Coeficiente de Absorção Sonora dos Baffles acústicos de designação comercial UNGER TECHNOLOGIES PVC BAFFLE da empresa UNGER TECHNOLOGIES (imagem retirada do site comercial).

7

CONCLUSÕES

7.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a realização do presente trabalho, que tinha como principal objectivo avaliar o comportamento acústico de um material com vista a uma potencial utilização como absorvente acústico para a correcção de recintos, pode concluir-se que genericamente os objectivos foram na sua maioria cumpridos.

Cabe aos projectistas, e por isso aos engenheiros civis apresentar soluções capazes de minimizar os efeitos prejudiciais causados pelo ruído. Decidiu-se por isso abordar inicialmente toda a problemática relacionada com os fenómenos acústicos de interiores, para depois se avançar para o estudo e desenvolvimento do produto em estudo.

Com a pintura do material surgiram dúvidas quanto a uma possível afectação das características acústicas. Das várias metodologias estudadas, apenas a do Tubo de Ondas Estacionárias viria a dar resultados um pouco baixos, quando comparados com o mesmo material sem pintura. Obtiveram-se resultados semelhantes para o material pintado e não pintado, com o modelo Teórico e com o Método da Câmara Reverberante.

O método Teórico utilizado mostrou ser uma forma bastante correcta de prever o comportamento do material relativamente à sua absorção sonora, quando comparado com os resultados obtidos na Câmara Reverberante. É preciso ter em conta que se trata de um modelo antigo, dos anos setenta, e que hoje em dia é muito pouco utilizado, e que no entanto se conseguem obter resultados muito favoráveis. Provou-se no entanto que uma avaliação errada do parâmetro de resistência ao fluxo de ar levaria a resultados muito desajustados e por isso sem qualquer validade. Salienta-se com isso, o especial cuidado a ter a quando da determinação deste parâmetro, de forma a se obterem valores de absorção o mais correctos possíveis.

O Método do Tubo de Ondas Estacionárias, provou ser um método mais fiável para a obtenção dos valores do Coeficiente de Absorção Sonora, nas altas frequências do que nas restantes frequências. Problemas relacionados com o corte e fabrico dos provetes, poderão estar na origem das situações anormais verificadas a quando da realização dos ensaios experimentais. Da comparação de resultados obtidos para a solução pintada e não pintada, verificou-se que a pintura acentuava as flutuações no gráfico de absorção sonora, existindo por vezes alguma diferença de valores na transição do tubo grande para o pequeno. Poderá ser um método mais capaz para determinado tipo de materiais, que não os aqui estudados, por serem algo irregulares quanto à sua constituição e por terem sido alvo de uma pintura, que poderá ter levado a um aumentado da sua rigidez e consequente redução nos resultados finais de absorção.

Sendo assim, conclui-se que o Tubo de Ondas Estacionárias utilizado no presente trabalho, não deverá ser utilizado para caracterizar o produto de Aglomex Acoustic “pintado” quanto à absorção sonora, tendo em conta os resultados obtidos.

O Método da Câmara Reverberante é sem dúvida aquele mais preciso, e que permite obter valores mais realistas. Pelos ensaios efectuados no pavimento, verificou-se que a solução em estudo apresentava elevados valores de absorção sonora principalmente nas médias altas frequências.

O ensaio de Baffles, tornou-se algo inconclusivo, derivado ao facto de não se ter realizado o ensaio nas melhores condições. Apesar disso, demonstrou-se que uma diminuição do afastamento dos alinhamentos de Baffles, aumenta a absorção sonora, nomeadamente os Coeficientes de Absorção Sonora.

São no entanto necessários mais ensaios para se poderem tirar mais conclusões sobre o real desempenho acústico dos Baffles de Aglomex Acoustic “pintado”.

A comparação de várias soluções comerciais de Baffles, só é possível quando ensaiadas sob as mesmas condições, pelas razões já apresentadas no capítulo anterior.

7.2. PERSPECTIVAS DE DESENVOLVIMENTO FUTURO

Durante a realização deste trabalho foram encontrados alguns problemas cuja influência é desconhecida e que importa referir como possibilidade de estudo futuro.

Desde logo se percebeu que o Tubo de Ondas Estacionárias não dispunha das dimensões necessárias quer para se poder avaliar com alguma coerência os valores das baixas frequências, quer para se poder avaliar os efeitos que uma eventual caixa de ar, como forma de dissipador de pressão, teria na curva de absorção. Seria por isso muito interessante, tentar conceber um tubo com um comprimento superior, que nos permitisse abordar esta problemática.

Levanta-se ainda dúvidas sobre a não validade do Tubo para espumas “lisas”, como é o caso de espumas pintadas, sendo importante perceber quais os factores que causam essa não validade. Seria por isso interessante estudar outros produtos semelhantes para se tirarem algumas conclusões.

Seria interessante, variar o tipo de pintura, para perceber qual a influência que esta tem na absorção do material.

Uma vez que os ensaios dos Baffles na Câmara Reverberante não foram realizados nas condições ideais, ou seja, com a utilização da Câmara Reverberante R1, a repetição destes torna-se por isso fundamental para a correcta avaliação do seu desempenho acústico. Poder-se-ia também avaliar o comportamento acústico de outras soluções, como forma de se poder comparar resultados e tirar conclusões de desempenho.

Dado ao fraco comportamento do material face ao fogo, o desenvolvimento de um invólucro para o material assume grande importância como forma de aumentar as suas aplicações plausíveis. Outro problema prende-se com a libertação de gases tóxicos quando colocado em combustão. A sua utilização em recintos pequenos, com algum risco de incêndio, está deste modo condicionado, pelo que o desenvolvimento de soluções que minimizem este problema seria de todo vantajoso.

BIBLIOGRAFIA

- [1] "acoustics" – <http://www.britannica.com/eb/article-9109556>. - Encyclopædia Britannica Online, 2007.
- [2] A. Osipov, P. Mees, G. Vermeir - Low-frequency airborne sound transmission through single partitions in buildings *Applied Acoustics*. 52:3-4 (1997). p. 273-288.
- [3] Henrique, Luís L - *Acústica musical*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2002.
- [4] Patrício, Jorge Viçoso – *Comportamento acústico de pavimentos não-homogéneos de edifícios a sons de impacto: Modelo de simulação*. Lisboa: LNEC, 1999.
- [5] Strutt, John William - Rayleigh, Baron - *The theory of sound*. 2nd revised and enlarged. New York: Dover Publications, 1945.
- [6] Monteiro, Carlos Aquino – *Caracterização acústica de salas de audiência de tribunais*. Porto: FEUP, 2003.
- [7] Silva, P. Martins da – *Projecto de condicionamento acústico de edifícios*. Lisboa: LNEC, 2006.
- [8] *Lei de Bases do Ambiente, nº 11/87 de 7 de Abril.* – 1987.
- [9] *Decreto-Lei nº 292/1989 de 2 de Setembro.* - Diário da República. 1989.
- [10] *Decreto-Lei nº 292/2000 de 14 de Novembro.* - Diário da República – I Série A Nº 263. 2000.
- [11] *Decreto-Lei nº 259/2002 de 14 de Setembro.* - Diário da República – I Série-A Nº 271. 2002.
- [12] *Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios, Decreto-Lei nº 96/2008 de 9 de Julho.* - Diário da República – 1ª Série-A Nº110. 2008.
- [13] Recuero Lopez, Manuel – *Acústica arquitectónica aplicada* – Madrid: Paraninfo, cop.1999.
- [14] Carvalho, António Pedro Oliveira de – *Acústica ambiental e de edifícios* – Porto: FEUP, 2007.

- [15] Noxon, Arthur – *Auditorium acoustics* – <http://www.church-acoustics.com/pdf/aa102.pdf>
- [16] Recuero Lopez, Manuel – *Acústica arquitectónica* – Madrid: Benzal, cop.1993.
- [17] Everest, F. Alton - *The Master Handbook of Acoustics*. 4ª Edição. New York: McGraw-Hill, 2001.
- [18] Domingues, Odete - *Acústica nos edifícios materiais e sistemas absorventes sonoros coeficientes de absorção sonora*. Lisboa: LNEC, 2005.
- [19] Long, Marshall - *Architectural acoustics*. Amsterdam; London: Elsevier/Academic Press, 2006.
- [20] M.E. Delany, E.N. Bazley (1970) - Acoustical Properties of fibrous absorbent materials. *Applied Acoustics*. 3:p. 105.
- [21] .P.Mechel(1988) - Design charts for sound absorber layers. *J. Acoust. Soc. Am.* 83:p. 1002-1013.
- [22] Attenborough, K.(1985) - Acoustical impedance models for outdoor ground surfaces. *J. Sound Vib.* 99:4 p. 521-544.
- [23] Allard, J.F.(1993) - *Propagation of Sound in porous media.Modeling sound absorbing materials*. London, New York: Elsevier Applied Science.
- [24] ISO 10534-1:1996: "*Acoustics - Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes -- Part 1: Method using standing wave ratio*". - International Organization for Standardization, 1996.
- [25] ISO 266:1997: "*Acoustics - Preferred frequencies*". - International Organization for Standardization, 1997
- [26] NP EN ISO 354 "*Acústica: Medição da absorção sonora em Câmara Reverberante*". – Comité Europeu de Normalização, 2007.

ANEXOS

ANEXO 1 – Notícia relacionada com problemas de ruído

Barulho de bares incomoda moradores

Situação nas Janelas Verdes já foi comunicada à Câmara, que promete actuar

Moradores das Janelas Verdes, em Lisboa, andam descontentes com o ruído desencadeado pela música e pelas multidões que frequentam três bares, vizinhos uns dos outros. O protesto já chegou à Câmara.

Alguns dos residentes da rua, saturados com a confusão, já fizeram, com efeito, chegar o seu descontentamento à autarquia lisboeta. Na quarta-feira passada, uma representante dos moradores interveio durante a reunião pública do executivo municipal.

"Eu não durmo há um ano", sintetizou Cristina Francisco, citada pela Agência Lusa. Segundo a moradora, o barulho dura até cerca das 5 horas da madrugada, com particular intensidade entre quartas-feiras e sábados. A "desordem pública à porta dos estabelecimentos" é, na sua óptica, bastante incomodativa. Cristina Francisco alegou também que a PSP é contactada diariamente, mas "o efeito da acção da polícia tem como consequência a diminuição do barulho durante apenas cerca de 15 minutos".

A moradora entregou na autarquia testes realizados pelo Instituto de Soldadura e Qualidade (IPQ) que, alega, provam a violação da lei do ruído por parte dos estabelecimentos. Por outro lado, assegurou que não possuem "licença" para funcionar.

Na altura, o vereador José Sá Fernandes, independente eleito pelo Bloco de Esquerda, respondeu que as medições, essenciais como meio de "prova" para o município actuar, têm-se revelado "inconclusivas". A moradora, no entanto, contrapôs que os bares são "avisados" sempre que os testes se realizam.

Sá Fernandes comprometeu-se a promover mais medições e a averiguar o "valor de prova" dos testes realizados pelo ISQ, cujo relatório prometeu analisar. "A Câmara terá de fazer quatro testes para certificar o ruído, de acordo com a lei", explicou, garantindo que, assim que seja provada a eventual infracção, a autarquia não deixará de "agir". "Não tenha dúvidas de que vamos agir".

Entretanto, Rui Cruz, sócio-gerente dos três bares (Conta Gotas, Charlie Shots e Marretas), defende-se. Em declarações ao JN, garantiu possuir todas as licenças. E lamentou a falta de comunicação entre as duas partes. "Nós sempre tentamos resolver as coisas, mas há moradores que não aceitam falar connosco", afirmou.

Os seus três estabelecimentos gozam de assinalável popularidade junto da juventude. Não há fim-de-semana sem que se registe casa cheia. É tudo gente nova, dos 18 aos 24 anos, que ali se vai divertir, dançar, beber, engatar e namorar.

Os jovens entram e saem dos bares e, muitas vezes, permanecem em plena rua. Como são muitos - e, não raras vezes, andam eufóricos - fazem barulho, gritam, falam alto uns com os outros. Frequentemente, ainda por lá ficam algum tempo, mesmo depois de os bares desligarem a música e fecharem as portas.

"Em certa parte, as queixas são injustas, porque o barulho da rua nós não conseguimos resolver - nem nós, nem a polícia", sustentou o empresário. "Acredito que possam existir alturas em que a música passe para a casa das pessoas", admitiu Rui Cruz, antes de voltar a criticar a ausência de diálogo: "Sempre nos demos bem com os vizinhos de cima, apesar de algumas queixas pontuais. Temos tentado fazer as coisas de maneira a deixar as pessoas descansarem. Só que há pessoas que estão sempre a embirrar", concluiu.

In "Jornal de Notícias", 2008-06-30

Moradores do Bairro Alto cansados do barulho

A Junta de Freguesia da Encarnação, em Lisboa, tem como prioridade fazer um levantamento dos bares existentes no Bairro Alto, revelou ao JN a presidente, Alexandra Figueira. "Vamos comparar os nossos números com os da Câmara, para ver se são coincidentes", afirmou. A autarca explica que esta urgência se deve à frequência com que se verifica a instalação de uma nova loja, com um bar de apoio. "Depois a loja não dá nada e fica o bar. É uma situação que acontece frequentemente", esclarece.

Para além de presidente da Junta, Alexandra Figueira é também moradora no Bairro Alto. À semelhança dos seus vizinhos, a autarca queixa-se do incómodo barulho feito pelos frequentadores dos estabelecimentos de diversão nocturna, que os residentes têm de suportar até altas horas da madrugada. "Esta situação piorou desde o Euro 2004. A partir de terça-feira há sempre alguém com falta de civismo que grita a noite inteira", desabafa. «As pessoas adormecem às quatro e cinco da manhã por pura exaustão!», diz.

Versão confirmada por Helena Silva e Elisa Oliveira. As vizinhas moram na Rua da Barroca, onde não existem muitos bares. "Mas eles vêm para aqui depois do fecho. Fazem dos parapeitos caixote do lixo, com garrafas e copos vazios. E depois há o barulho, porque falam alto e fica tudo sujo", acusam. "Precisamos de mais polícia aqui".

Também para Alexandra Figueira a solução para terminar com este incómodo passa por um melhor policiamento do bairro. "Devia haver uma polícia com formação urbana, que não fosse coerciva, mas que obrigasse quem não sabe a comportar-se na via pública".

As queixas não terminam aqui. Cândida Custódio aponta a sua porta de entrada, na Travessa dos Fiéis de Deus, coberta até meio de tags (grafitos). O edifício onde habita há 37 anos é um dos muitos exemplos de prédios do tradicional bairro lisboeta que têm sido alvo das investidas dos que se divertem a 'pintar' paredes.

Uma situação "inacreditável" para Nuno Morais, coordenador da Unidade do Projecto Bairro Alto e Bica. "Mal acabamos de recuperar um prédio e já o seguinte, quando não é no próprio, está todo marcado".

O responsável lembra que alguns edifícios têm sido pintados pelos proprietários, mas a velocidade a que as paredes aparecem tingidas "é tal que não se consegue dar vazão". "Há noites em que são pintados todos os prédios de uma rua", revela, revoltado. "É um problema que exige uma discussão conjunta entre a Câmara e as instituições com competência para agir na cidade", apela.

O lixo que fica no chão, em especial aos fins-de-semana, quando o bairro é mais procurado, também faz parte do rol de queixas. Mas, ressalvam Carlota Oliveira e Marinha Sousa, os serviços de higiene urbana recolhem os detritos às primeiras horas da manhã.

In "Jornal de Notícias", 2006-02-25

**ANEXO 2 – Folhas de Cálculo para determinação do
Coeficiente de Absorção Sonora pelo Tubo de Ondas
Estacionárias do Aglomex Acoustic “pintado” com
D60E100**

Tabela A2.1- Folha de Cálculo para determinação do Coeficiente de Absorção Sonora pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para D60E100 de Aglomex Acoustic “pintado” da amostra nº1

AMOSTRA 1 D60E100

Freq. (Hz)	c0	λ0	ko"	Medição 1			Medição 2			Medição 3			Média			ΔL	Sn	r	an	α(Difuso)	ast	Φ	r'	r''	z'	z''
				Xmin n	Lmin n	Lmax n	Xmin n	Lmin n	Lmax n	Xmin n	Lmin n	Lmax n	Xmin n	Lmin n	Lmax n											
100	343.3	3.433	5.651E-05	57.2	45.9	65.8	59.5	46.2	68	59.1	46.1	66.8	58.60	46.07	66.87	20.80	10.96	0.84	0.30	0.57	0.22	211.4	-0.537	-0.643	0.107	-0.463
125	343.3	2.746	6.318E-05	47.7	49.4	62.8	48.6	49.8	65.3	47.6	49.3	63.5	47.97	49.50	63.87	14.37	5.23	0.68	0.53	0.77	0.39	216.3	-0.619	0.289	0.197	0.213
160	343.3	2.146	7.148E-05	44.9	52.5	63.2	42.8	53.6	64.2	43.6	52.8	63.5	43.77	52.97	63.63	10.67	3.41	0.55	0.70	0.91	0.59	253.2	-0.158	0.527	0.431	0.652
200	343.3	1.717	7.992E-05	38.2	66.9	80.1	38.3	66.8	80.3	38.7	66.2	79.9	38.40	66.63	80.10	13.47	4.71	0.65	0.57	0.81	0.51	278	0.032	0.653	0.420	0.958
250	343.3	1.373	8.935E-05	31.3	60	75	31.8	61.7	77.6	31.1	61.2	76.7	31.40	60.97	76.43	15.47	5.93	0.72	0.49	0.73	0.44	284.2	0.078	0.711	0.360	1.049
315	343.3	1.090	1.003E-04	25.6	63.5	78.8	25.4	63.2	78.8	25.5	62.5	78.7	25.50	63.07	78.77	15.70	6.10	0.72	0.48	0.72	0.39	290.9	-0.205	0.692	0.248	0.717
400	343.3	0.858	1.130E-04	20.7	57.7	74.5	20.8	57.7	74.5	20.7	58.2	74.6	20.73	57.87	74.53	16.67	6.81	0.75	0.44	0.68	0.44	300.4	0.298	-0.685	0.459	-1.425
500	343.3	0.687	1.264E-04	18	69.3	87.4	16.9	70.9	88.8	18	71.1	88.7	17.63	70.43	88.30	17.87	7.82	0.78	0.40	0.62	0.44	319.6	0.511	-0.585	0.682	-2.012
630	343.3	0.545	1.418E-04	13.6	64.3	83.5	13.7	64.3	83.4	13.5	64.2	83.2	13.60	64.27	83.37	19.10	9.02	0.80	0.35	0.57	0.26	310.5	-0.693	0.407	0.117	0.268
800	343.3	0.429	1.598E-04	10.9	62.8	81.3	10.9	63.5	82.2	11	64.9	83	10.93	63.73	82.17	18.43	8.35	0.79	0.38	0.60	0.27	317	-0.759	0.213	0.120	0.136
1000	343.3	0.343	1.787E-04	8.8	57.9	76.9	8.9	57.7	77	8.8	57.7	77	8.83	57.77	76.97	19.20	9.12	0.80	0.35	0.57	0.49	320.2	0.781	-0.194	4.123	-4.538
1250	343.3	0.275	1.998E-04	80.6	73.9	83.5	81	73.9	83.5	80.7	73.9	83.5	6.77	73.90	83.50	9.60	3.02	0.50	0.75	0.94	0.69	306.5	0.084	-0.497	0.687	-0.915
1600	343.3	0.215	2.260E-04	79.1	45.8	56.5	79.3	46.2	57.1	79.2	45.8	56.5	5.20	45.93	56.70	10.77	3.45	0.55	0.70	0.91	0.83	301.4	0.543	-0.101	3.172	-0.922
2000	343.3	0.172	2.527E-04	78.1	47.7	59	77.5	47.7	59	77.9	47.7	59	3.83	47.70	59.00	11.30	3.67	0.57	0.67	0.89	0.68	277.5	0.293	0.492	0.905	1.327
2500	343.3	0.137	2.826E-04	77.2	46.5	58.1	77.5	46.5	58.1	77.4	46.6	58.1	3.37	46.53	58.10	11.57	3.79	0.58	0.66	0.88	0.49	304.9	-0.570	-0.123	0.266	-0.099
3150	343.3	0.109	3.172E-04	76.5	3.3	15.7	76.9	5.4	18.2	76.8	4	16.5	2.73	4.23	16.80	12.57	4.25	0.62	0.62	0.85	0.49	312	-0.332	-0.524	0.301	-0.512
4000	343.3	0.086	3.574E-04	75.9	32.7	45.7	76.2	33	45.9	76.1	33	45.9	2.07	32.90	45.83	12.93	4.43	0.63	0.60	0.84	0.48	299.5	-0.339	-0.534	0.288	-0.514
5000	343.3	0.069	3.996E-04	75.5	24.8	38.3	75.9	25	38	75.7	24.9	38.1	1.70	24.90	38.13	13.23	4.59	0.64	0.59	0.82	0.74	308	0.638	0.078	4.282	1.140

Tabela A 2.2 - Folha de Cálculo para determinação do Coeficiente de Absorção Sonora pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para D60E100 de Aglomex Acoustic “pintado” da amostra nº2

AMOSTRA 2 D60E100

Freq. (Hz)	c0	λ0	ko"	Medição 1			Medição 2			Medição 3			Média			ΔL	Sn	r	an	α(Difuso)	ast	Φ	r'	r''	z'	z''
				Xmin n	Lmin n	Lmax n	Xmin n	Lmin n	Lmax n	Xmin n	Lmin n	Lmax n	Xmin n	Lmin n	Lmax n											
100	343.3	3.433	5.651E-05	61.2	43.5	68	61.7	43.2	67.6	60.8	43.6	67.3	61.23	43.43	67.63	24.20	16.22	0.89	0.21	0.40	0.21	221	0.412	0.789	0.215	1.630
125	343.3	2.746	6.318E-05	50.8	46.1	64.8	50	45	64.5	49.9	46.1	64.8	50.23	45.73	64.70	18.97	8.88	0.80	0.36	0.57	0.45	226.7	0.700	0.392	1.461	3.220
160	343.3	2.146	7.148E-05	42.4	53.3	64.3	42.7	53.2	64	42	53.2	64.1	42.37	53.23	64.13	10.90	3.51	0.56	0.69	0.90	0.83	245	0.559	-0.031	3.511	-0.316
200	343.3	1.717	7.992E-05	39.1	66.7	80.2	39	66	80.1	38.8	66.6	80	38.97	66.43	80.10	13.67	4.82	0.66	0.56	0.80	0.65	282.1	0.540	-0.380	1.585	-2.137
250	343.3	1.373	8.935E-05	31.2	61	77.9	31.2	60.1	77.2	31.2	60.1	77.2	31.20	60.40	77.43	17.03	7.11	0.76	0.43	0.66	0.56	282.4	0.707	-0.273	2.653	-3.399
315	343.3	1.090	1.003E-04	25	62.5	79.1	25.7	62.8	79.1	25.2	62.5	79.1	25.30	62.60	79.10	16.50	6.68	0.74	0.45	0.68	0.57	288.6	0.670	-0.322	2.108	-3.032
400	343.3	0.858	1.130E-04	20.5	56.6	73.8	20.9	56.5	73.6	20.9	56.8	73.7	20.77	56.63	73.70	17.07	7.13	0.76	0.43	0.66	0.50	300.9	0.593	-0.472	1.097	-2.430
500	343.3	0.687	1.264E-04	16.9	70	88.3	16.9	69.9	88.1	16.7	70.3	88.5	16.83	70.07	88.30	18.23	8.16	0.78	0.38	0.61	0.27	304.9	-0.767	-0.166	0.122	-0.105
630	343.3	0.545	1.418E-04	13.6	64.1	83.9	13.6	64.4	84	13.6	64.4	84	13.60	64.30	83.97	19.67	9.62	0.81	0.34	0.55	0.24	310.5	-0.703	0.412	0.109	0.269
800	343.3	0.429	1.598E-04	10.8	63.4	82.6	10.7	63.4	82.6	10.9	63.5	82.8	10.80	63.43	82.67	19.23	9.16	0.81	0.35	0.57	0.36	313.1	0.410	-0.694	0.423	-1.673
1000	343.3	0.343	1.787E-04	8.8	57.4	76.6	8.8	57.6	76.6	8.8	57.4	76.6	8.80	57.47	76.60	19.13	9.05	0.80	0.35	0.57	0.32	319	0.086	-0.799	0.241	-1.085
1250	343.3	0.275	1.998E-04	80.7	66.5	84.1	80.5	66.6	83.8	80.6	66.5	84	6.60	66.53	83.97	17.43	7.44	0.77	0.41	0.65	0.30	298.8	-0.706	-0.295	0.138	-0.197
1600	343.3	0.215	2.260E-04	79.3	39.1	56.3	79.3	39.1	56.9	79	39.1	57	5.20	39.10	56.73	17.63	7.61	0.77	0.41	0.64	0.56	301.4	0.757	-0.141	5.158	-3.562
2000	343.3	0.172	2.527E-04	78.3	41.4	59.2	78.2	42	59.2	78.2	41.5	59.3	4.23	41.63	59.23	17.60	7.59	0.77	0.41	0.64	0.41	306.8	0.350	-0.685	0.459	-1.536
2500	343.3	0.137	2.826E-04	77.4	40.7	58.5	77.3	40.1	58.8	77.3	39.9	58.5	3.33	40.23	58.60	18.37	8.29	0.79	0.38	0.61	0.52	301.9	0.750	0.235	3.240	3.993
3150	343.3	0.109	3.172E-04	76.8	4	17.7	76.9	2.4	16.3	76.6	1	18.8	2.77	2.47	17.60	15.13	5.71	0.70	0.51	0.75	0.43	315.9	-0.097	0.697	0.300	0.825
4000	343.3	0.086	3.574E-04	76.1	27.6	46.5	76	27	46.1	76	27.6	46.1	2.03	27.40	46.23	18.83	8.74	0.80	0.37	0.59	0.43	294.6	0.591	-0.533	0.813	-2.362
5000	343.3	0.069	3.996E-04	75.7	21.5	38.5	75.6	21.5	38.7	75.6	21.5	38.5	1.63	21.50	38.57	17.07	7.13	0.76	0.43	0.66	0.54	295.8	0.667	0.353	1.827	3.002

Tabela A 2.3 - Folha de Cálculo para determinação do Coeficiente de Absorção Sonora pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para D60E100 de Aglomex Acoustic “pintado” da amostra nº3

AMOSTRA 3 D60E100

				Medição 1			Medição 2			Medição 3			Média													
Freq. (Hz)	c0	λ0	ko"	Xmin n	Lmin n	Lmax n	Xmin n	Lmin n	Lmax n	Xmin n	Lmin n	Lmax n	Xmin n	Lmin n	Lmax n	ΔL	Sn	r	an	α(Difuso)	ast	Φ	r'	r''	z'	z''
100	343.3	3.433	5.651E-05	59.4	46.1	67.6	60.4	46.1	67.5	59	46.5	67.2	59.60	46.23	67.43	21.20	11.48	0.85	0.29	0.55	0.26	215	0.149	0.832	0.201	1.175
125	343.3	2.746	6.318E-05	46.4	49.9	64.9	46.1	49.9	64.9	58.8	50.6	65	50.43	50.13	64.93	14.80	5.50	0.70	0.51	0.76	0.47	227.6	0.101	0.689	0.401	1.074
160	343.3	2.146	7.148E-05	41.6	54.5	64.3	42.8	54.5	64.3	41.8	54.6	64.1	42.07	54.53	64.23	9.70	3.05	0.51	0.74	0.94	0.63	243.2	-0.122	-0.495	0.492	-0.658
200	343.3	1.717	7.992E-05	38.8	68.1	80.1	37.5	68.2	79.8	37.8	68.2	80.1	38.03	68.17	80.00	11.83	3.91	0.60	0.64	0.87	0.63	275.3	0.237	-0.547	0.731	1.240
250	343.3	1.373	8.935E-05	31.1	64.1	76.9	31.7	64.1	77.1	31	64.2	77.1	31.27	64.13	77.03	12.90	4.42	0.63	0.60	0.83	0.74	283	0.616	0.152	3.505	1.777
315	343.3	1.090	1.003E-04	25.8	64.6	78.8	25.9	64.6	78.6	25.5	64.8	78.7	25.73	64.67	78.70	14.03	5.03	0.67	0.55	0.79	0.47	293.6	-0.109	-0.663	0.329	-0.794
400	343.3	0.858	1.130E-04	20.8	58.7	74.3	20.8	58.7	74.3	20.8	58.7	74.3	20.80	58.70	74.30	15.60	6.03	0.72	0.48	0.72	0.64	301.4	0.707	-0.131	4.677	-2.543
500	343.3	0.687	1.264E-04	17	71.5	87.9	18	71.8	88	16.8	71.2	87.5	17.27	71.50	87.80	16.30	6.53	0.74	0.46	0.69	0.44	312.9	0.211	-0.707	0.406	-1.260
630	343.3	0.545	1.418E-04	13.5	66.1	84	13.5	66	84	13.5	66.1	84	13.50	66.07	84.00	17.93	7.88	0.78	0.40	0.62	0.53	308.2	0.742	0.233	3.263	3.856
800	343.3	0.429	1.598E-04	11	64.7	81.8	10.9	64	81.6	10.9	64.7	82.3	10.93	64.47	81.90	17.43	7.44	0.77	0.41	0.64	0.30	317	-0.737	0.207	0.135	0.135
1000	343.3	0.343	1.787E-04	8.8	59.2	76.9	8.8	59	76.8	8.8	59.2	76.8	8.80	59.13	76.83	17.70	7.67	0.77	0.40	0.63	0.37	319	0.083	-0.767	0.283	-1.073
1250	343.3	0.275	1.998E-04	80.6	74.4	83.7	80.5	74.8	84	80.4	74.8	84	6.50	74.67	83.90	9.23	2.90	0.49	0.76	0.95	0.76	294.3	0.247	-0.420	1.026	-1.132
1600	343.3	0.215	2.260E-04	79.2	46	56.1	79	45.9	56.1	79	46	56.4	5.07	45.97	56.20	10.23	3.25	0.53	0.72	0.93	0.63	293.6	-0.073	-0.525	0.503	-0.736
2000	343.3	0.172	2.527E-04	78.8	48.4	59	78.2	48	58.6	78.2	48.3	58.9	4.40	48.23	58.83	10.60	3.39	0.55	0.70	0.91	0.64	319	0.059	-0.542	0.595	-0.919
2500	343.3	0.137	2.826E-04	77.4	47.1	57.9	77.3	47.3	58.2	77.2	47.1	57.9	3.30	47.17	58.00	10.83	3.48	0.55	0.69	0.91	0.53	298.8	-0.512	-0.214	0.297	-0.183
3150	343.3	0.109	3.172E-04	76.6	3.2	15.7	76.6	4	15.8	76.6	6.2	15.8	2.60	4.47	15.77	11.30	3.67	0.57	0.67	0.89	0.63	296.7	0.131	0.558	0.630	1.046
4000	343.3	0.086	3.574E-04	76.1	32.4	44.6	76	32	45	76	31.7	44	2.03	32.03	44.53	12.50	4.22	0.62	0.62	0.85	0.68	294.6	0.459	-0.413	1.333	-1.782
5000	343.3	0.069	3.996E-04	75.7	24.9	38.2	75.5	24.7	37.5	75.5	24.7	37.6	1.57	24.77	37.77	13.00	4.47	0.63	0.60	0.83	0.64	283.6	0.418	0.478	1.054	1.687

ANEXO 3 – Boletim de ensaio da Câmara Reverberante



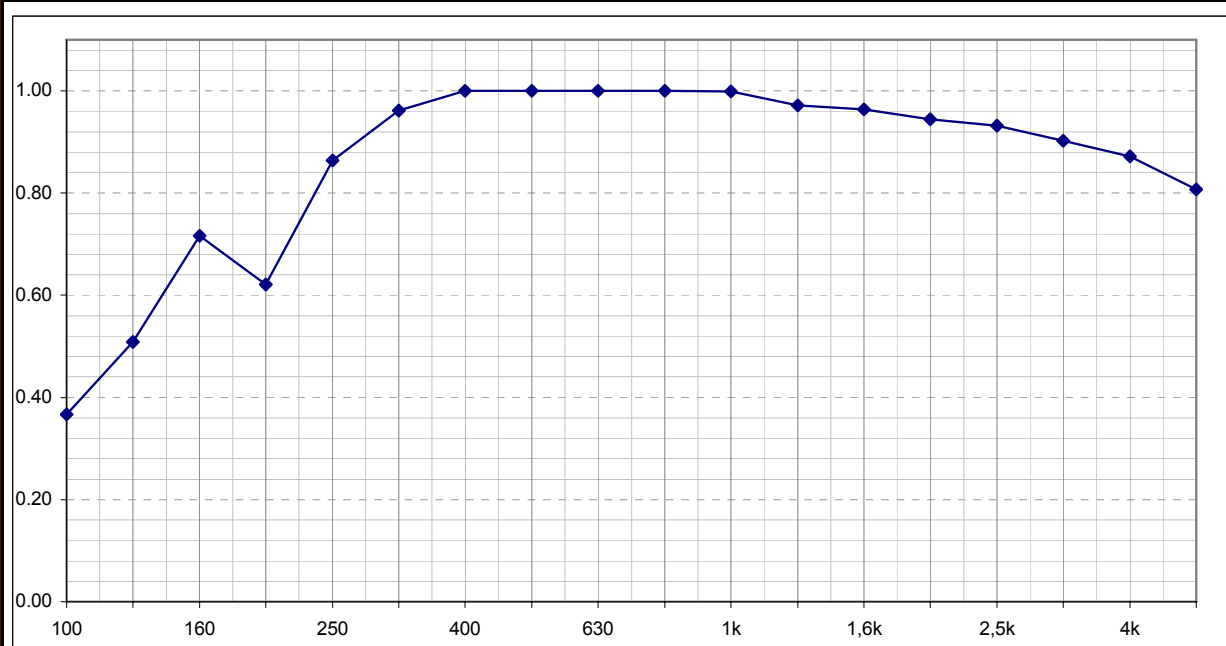
DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA - α

REQUERENT	FLEX2000	Referência
DESCRIÇÃO:	Espumas de Aglomex Acoustic "pintado" apoiadas no pavimento	
Dimensão da Amostra =	11.25 m ²	Data 03-07-2008

CARACTERÍSTICAS DA CÂMARA REVERBERANTE

Comprimento médio (r 7.25	Altura (m) =	4.65	Temperatura do Ar (°C) =	23.0
Largura média (m) = 5.88	Volume (m³) =	217.7	Humidade do Ar (%) =	51
c= 344.8	Sc=	207.369	Nº Decaimentos	2

GRÁFICO - Coeficientes de Absorção Sonora (α_s)



Aglomex Acoustic "pintado"

F(Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1,25k	1,6k	2k	2,5k	3,15k	4k	5k
RT ₁ ^{AVG}	16.28	11.05	11.68	11.24	11.71	12.14	12.09	11.64	11.19	10.14	9.33	7.97	6.84	6.22	5.4	4.45	3.56	2.77
RT ₂ ^{AVG}	5.57	3.93	3.16	3.46	2.75	2.55	2.41	2.32	2.37	2.36	2.33	2.28	2.19	2.15	2.06	1.94	1.78	1.61
α_a	0.37	0.51	0.72	0.62	0.86	0.96	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	0.96	0.94	0.93	0.90	0.87	0.81
ϵ_{20}	0.087	0.093	0.091	0.078	0.078	0.072	0.0661	0.06	0.053	0.047	0.043	0.038	0.0347	0.031	0.029	0.026	0.024	0.023

ANEXO 4 – Gráficos de Absorção Sonora

Anexo 4.1.pdf - Resultados obtidos pelo modelo teórico de Mechel para Aglomex Acoustic “pintado” D60E100

Anexo 4.2.pdf - Resultados obtidos pelo modelo teórico de Mechel para Aglomex Acoustic D60E100

Anexo 4.3. pdf - Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D60E30 (an)

Anexo 4.4. pdf - Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D60E60 (an)

Anexo 4.5. pdf - Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D60E100 (an)

Anexo 4.6. pdf - Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D90E30 (an)

Anexo 4.7. pdf - Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D90E60 (an)

Anexo 4.8. pdf - Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D90E100 (an)

Anexo 4.9. pdf - Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D120E30 (an)

Anexo 4.10. pdf - Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D120E60 (an)

Anexo 4.11. pdf - Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D120E100 (an)

Anexo 4.12. pdf - Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D200E30 (an)

Anexo 4.13. pdf - Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D200E60 (an)

Anexo 4.14. pdf - Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D200E100 (an)

Anexo 4.15. pdf - Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D60E30 (adifuso)

Anexo 4.16. pdf - Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D60E60 (adifuso)

Anexo 4.17. pdf - Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D60E100 (adifuso)

Anexo 4.18. pdf - Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D90E30 (adifuso)

Anexo 4.19. pdf - Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D90E60 (adifuso)

Anexo 4.20. pdf - Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D90E100 (adifuso)

Anexo 4.21. pdf - Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D120E30 (α difuso)

Anexo 4.22. pdf - Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D120E60 (α difuso)

Anexo 4.23. pdf - Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D120E100 (α difuso)

Anexo 4.24. pdf - Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D200E30 (α difuso)

Anexo 4.25. pdf - Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D200E60 (α difuso)

Anexo 4.26. pdf - Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D200E100 (α difuso)

Anexo 4.27. pdf - Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D60E30 (α st)

Anexo 4.28. pdf - Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D60E60 (α st)

Anexo 4.29. pdf - Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D60E100 (α st)

Anexo 4.30. pdf - Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D90E30 (α st)

Anexo 4.31. pdf - Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D90E60 (α st)

Anexo 4.32. pdf - Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D90E100 (α st)

Anexo 4.33. pdf - Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D120E30 (α st)

Anexo 4.34. pdf - Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D120E60 (α st)

Anexo 4.35. pdf - Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D120E100 (α st)

Anexo 4.36. pdf - Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D200E30 (α st)

Anexo 4.37. pdf - Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D200E60 (α st)

Anexo 4.38. pdf - Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D200E100 (α st)

Anexo 4.39. pdf - Comparação dos resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para o Aglomex Acoustic “pintado” e “não pintado” com D60E30 (α n)

Anexo 4.40. pdf - Comparação dos resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para o Aglomex Acoustic “pintado” e “não pintado” com D60E60 (α n)

Anexo 4.41. pdf - Comparação dos resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para o Aglomex Acoustic “pintado” e “não pintado” com D60E100 (α n)

Anexo 4.42. pdf - Comparação dos resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para o Aglomex Acoustic “pintado” e “não pintado” com D90E30 (α n)

Anexo 4.43. pdf - Comparação dos resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para o Aglomex Acoustic “pintado” e “não pintado” com D90E60 (α n)

Anexo 4.44. pdf - Comparação dos resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para o Aglomex Acoustic “pintado” e “não pintado” com D90E100 (α n)

Anexo 4.45. pdf - Comparação dos resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para o Aglomex Acoustic “pintado” e “não pintado” com D120E30 (α n)

Anexo 4.46. pdf - Comparação dos resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para o Aglomex Acoustic “pintado” e “não pintado” com D120E60 (α n)

Anexo 4.47. pdf - Comparação dos resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para o Aglomex Acoustic “pintado” e “não pintado” com D120E100 (α n)

Anexo 4.48. pdf - Comparação dos resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para o Aglomex Acoustic “pintado” e “não pintado” com D200E30 (α n)

Anexo 4.49. pdf - Comparação dos resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para o Aglomex Acoustic “pintado” e “não pintado” com D200E60 (α n)

Anexo 4.50. pdf - Comparação dos resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para o Aglomex Acoustic “pintado” e “não pintado” com D200E100 (α n)

Anexo 4.51. pdf - Resultados obtidos pelo Método da Câmara Reverberante para Aglomex Acoustic “pintado” D60E100 ensaiado no pavimento

Anexo 4.52. pdf - Resultados obtidos pelo Método da Câmara Reverberante para Aglomex Acoustic “pintado” D60E100 ensaiado na vertical como Baffle, e afastamento D=1,0 m e 0,6m

Anexo 4.53. pdf – Resultados obtidos pelo Método da Câmara Reverberante para os Baffles SILÊNCIO, com afastamento D=1,0 m e 0,6m

Anexo 4.54. pdf - Comparação dos resultados obtidos pelo Método da Câmara Reverberante para o Aglomex Acoustic “pintado” e “não pintado” com D60E100

Anexo 4.1. Resultados obtidos pelo modelo teórico de Mechel para Aglomex Acoustic “pintado” D60E100

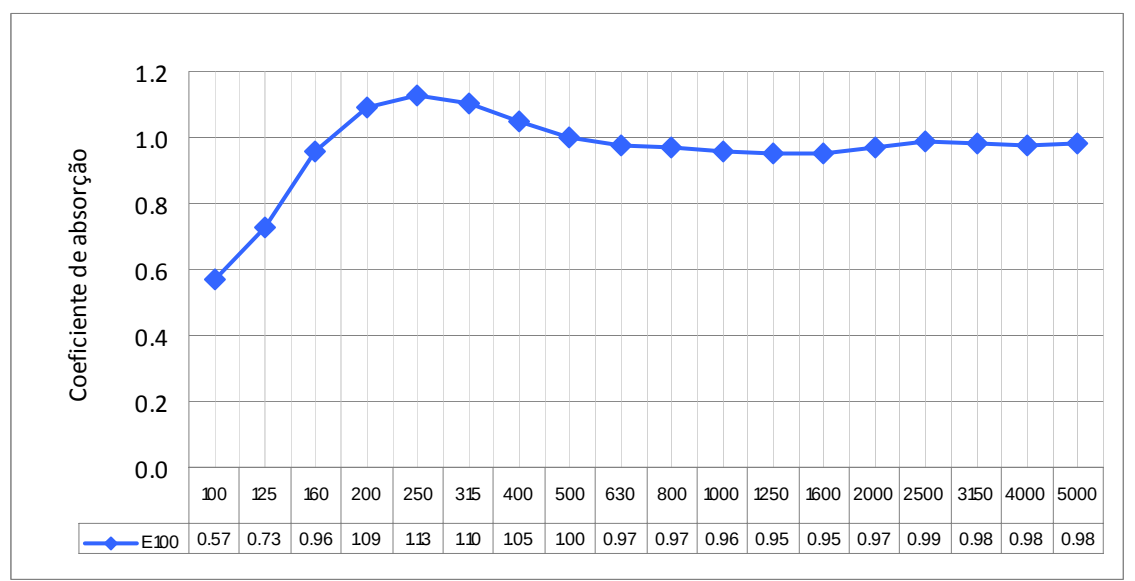


Fig. A4.1 - Valores do coeficiente de absorção sonora para o Aglomex Acoustic “pintado” com densidade 60 Kg/m³ e espessura de 100 mm

Anexo 4.2. Resultados obtidos pelo modelo teórico de Mechel para Aglomex Acoustic D60E100

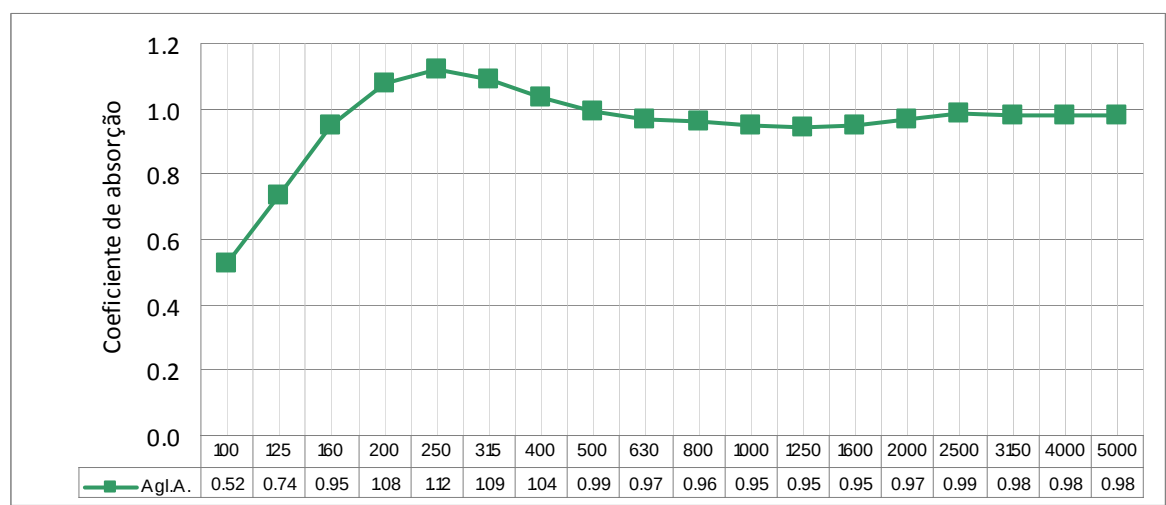


FIG. A4.2 - VALORES DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA PARA O AGLOMEX ACOUSTIC COM DENSIDADE 60 KG/M³ E ESPESSURA DE 100 MM

Anexo 4.3. Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D60E30 (α_n)

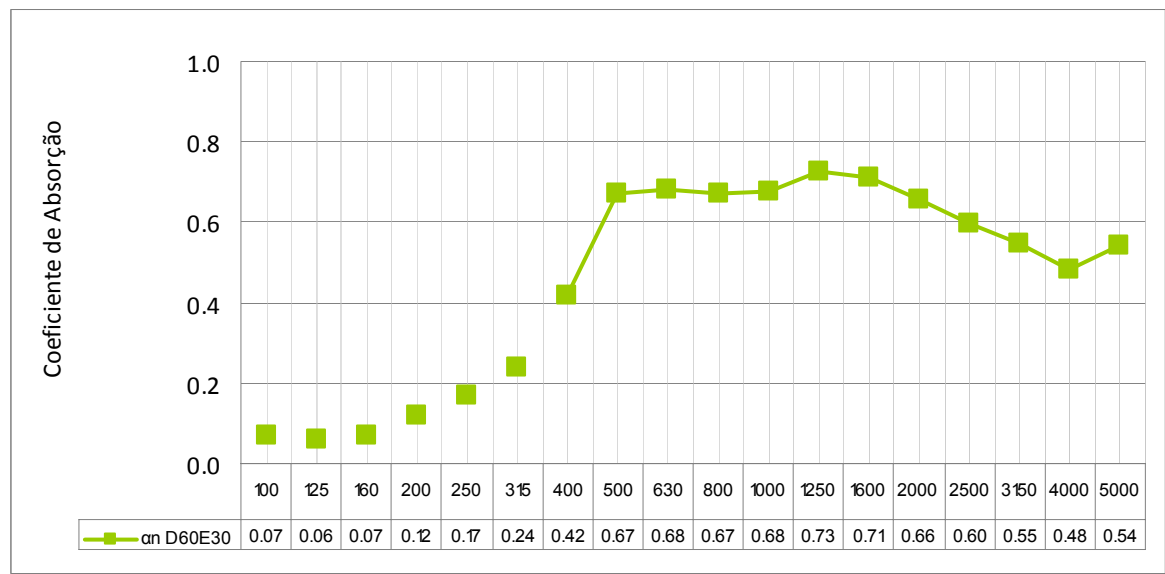


FIG. A4.3 - VALORES DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA PARA O AGLOMEX ACOUSTIC “PINTADO” COM DENSIDADE 60 KG/M³ E ESPESSURA DE 30 MM

Anexo 4.4. Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D60E60 (α_n)

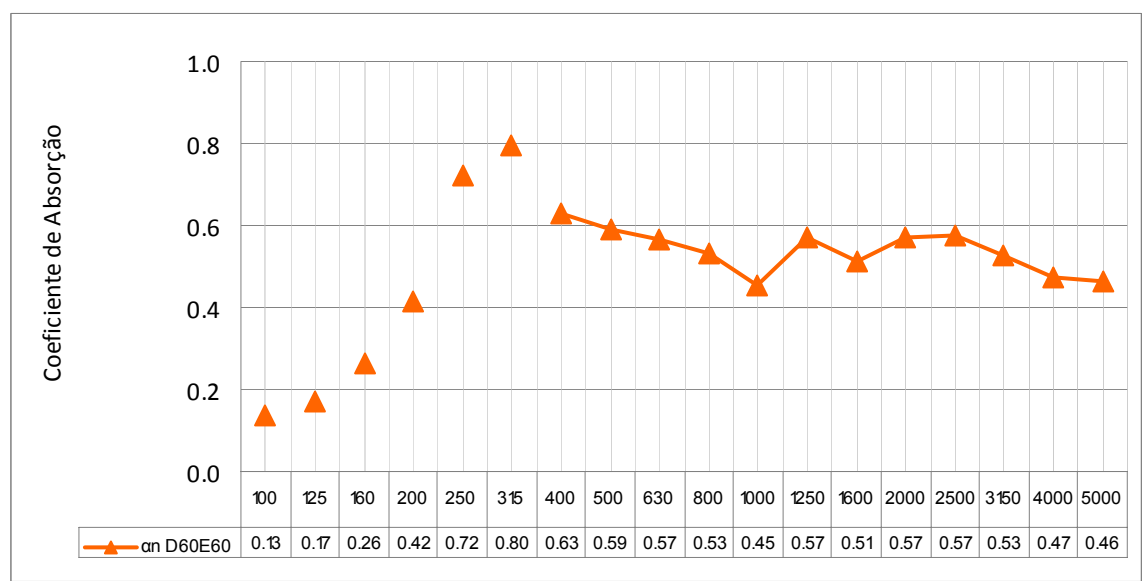


FIG. A4.4 - VALORES DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA PARA O AGLOMEX ACOUSTIC “PINTADO” COM DENSIDADE 60 KG/M³ E ESPESSURA DE 60 MM

Anexo 4.5. Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D60E100 (α_n)

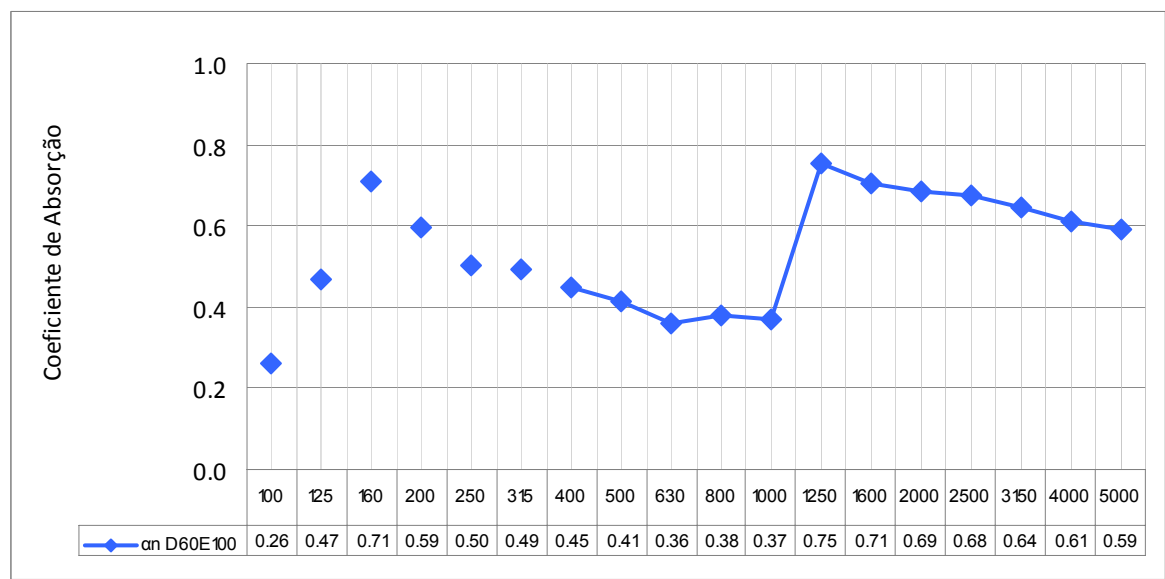


FIG. A4.5 - VALORES DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA PARA O AGLOMEX ACOUSTIC “PINTADO” COM DENSIDADE 60 KG/M3 E ESPESSURA DE 100 MM

Anexo 4.6. Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D90E30 (α_n)

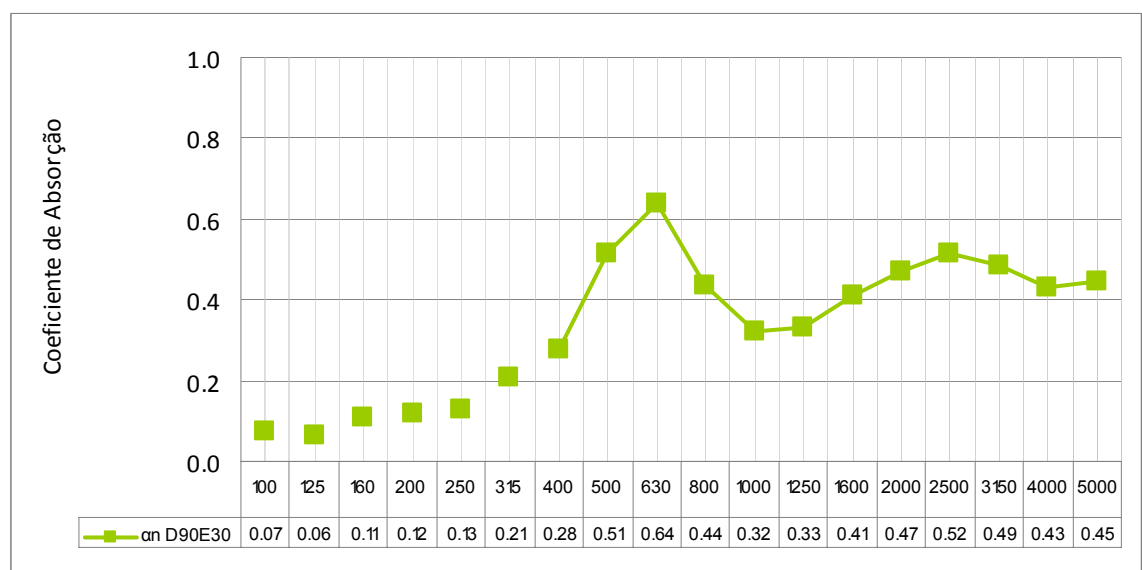


FIG. A4.6 - VALORES DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA PARA O AGLOMEX ACOUSTIC “PINTADO” COM DENSIDADE 90 KG/M³ E ESPESSURA DE 30 MM

Anexo 4.7. Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D90E60 (α_n)

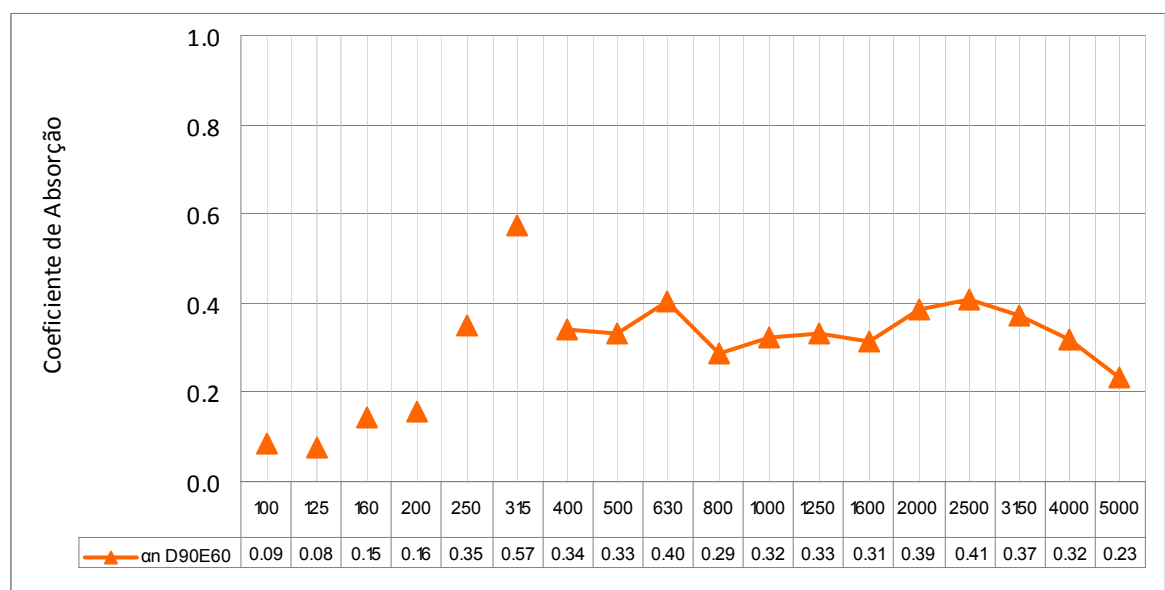


FIG. A4.7 - VALORES DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA PARA O AGLOMEX ACOUSTIC “PINTADO” COM DENSIDADE 90 KG/M³ E ESPESSURA DE 60 MM

Anexo 4.8. Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D90E100 (α_n)

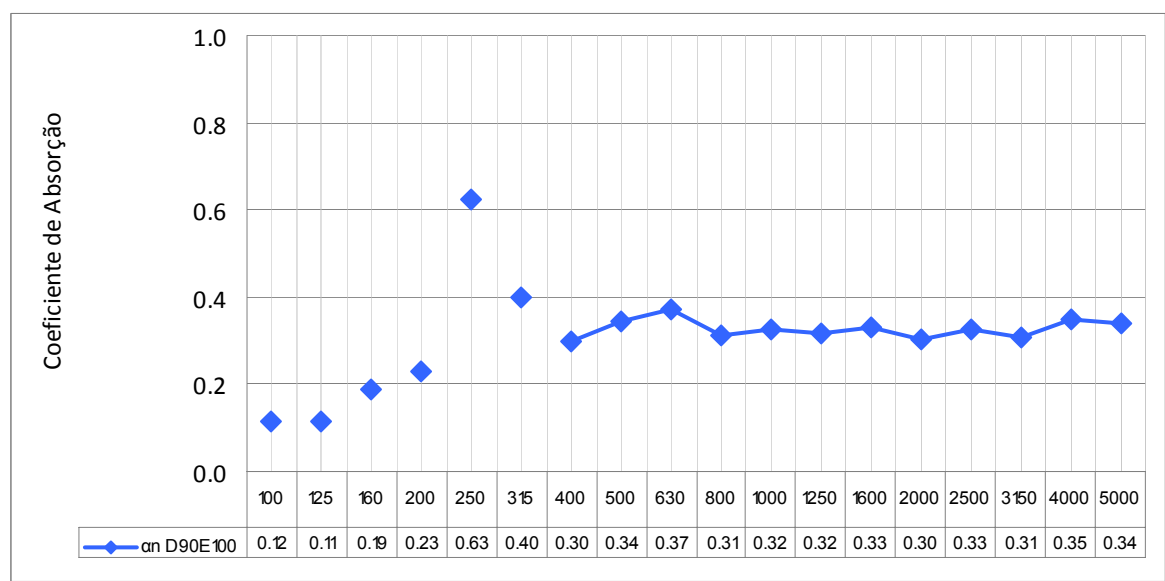


FIG. A4.8 - VALORES DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA PARA O AGLOMEX ACOUSTIC “PINTADO” COM DENSIDADE 90 KG/M³ E ESPESSURA DE 100 MM

Anexo 4.9. Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D120E30 (α_n)

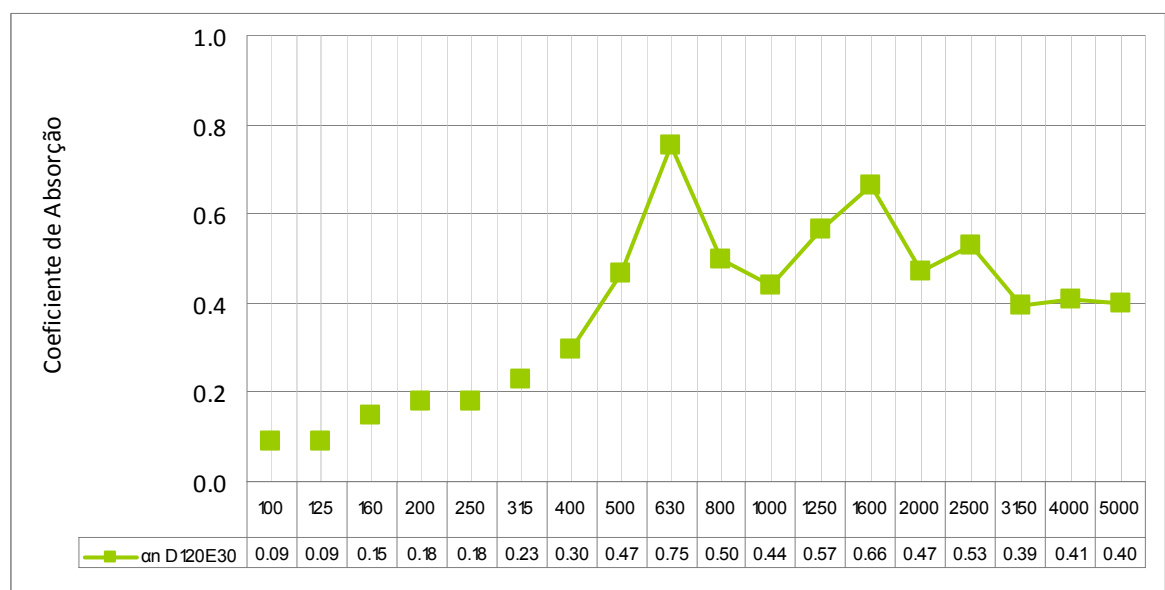


FIG. A4.9 - VALORES DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA PARA O AGLOMEX ACOUSTIC “PINTADO” COM DENSIDADE 120 KG/M³ E ESPESSURA DE 30 MM

Anexo 4.10. Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D120E60 (α_n)

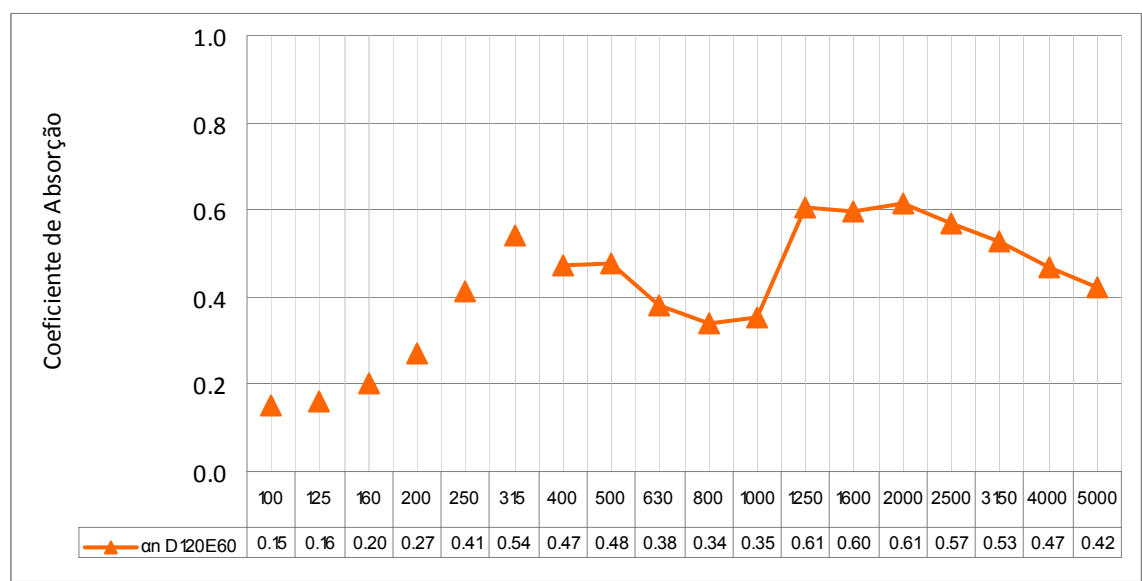


FIG. A4.10 - VALORES DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA PARA O AGLOMEX ACOUSTIC “PINTADO” COM DENSIDADE 120 KG/M³ E ESPESSURA DE 60 MM

Anexo 4.11. Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D120E100 (α_n)

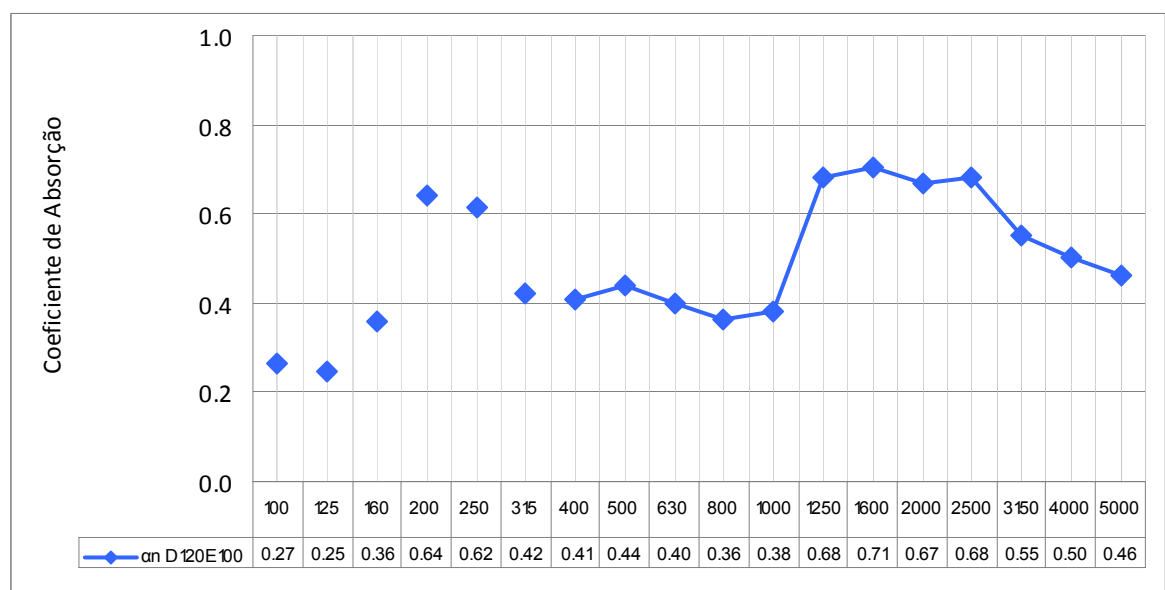


FIG. A4.11 - VALORES DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA PARA O AGLOMEX ACOUSTIC “PINTADO” COM DENSIDADE 120 KG/M³ E ESPESSURA DE 100 MM

Anexo 4.12. Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D200E30 (α_n)

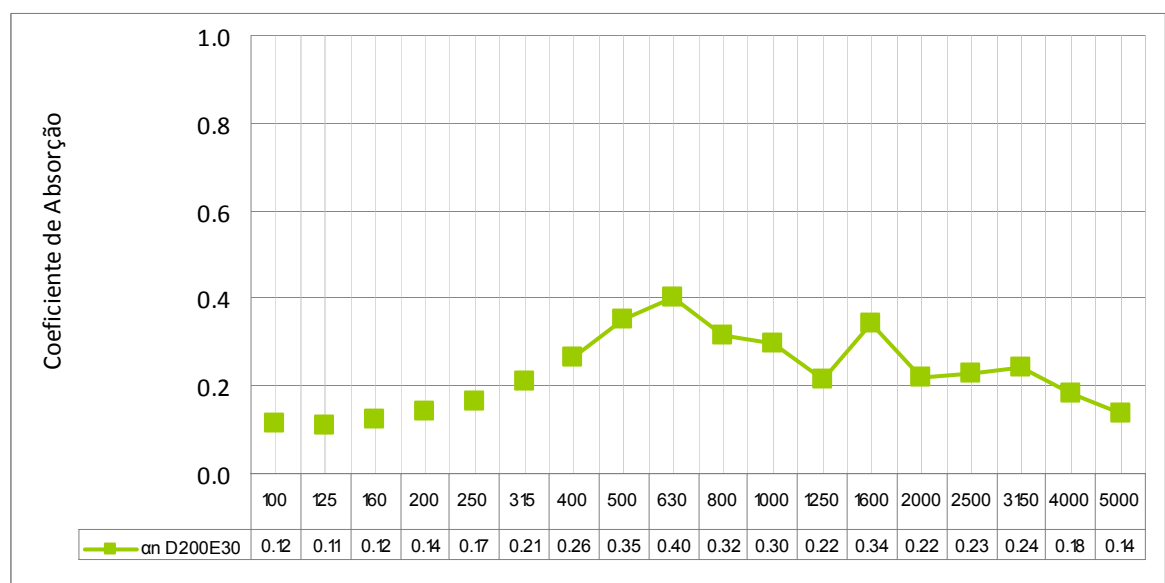


FIG. A4.12 - VALORES DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA PARA O AGLOMEX ACOUSTIC “PINTADO” COM DENSIDADE 200 Kg/M³ E ESPESSURA DE 30 MM

Anexo 4.13. Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D200E60 (α_n)

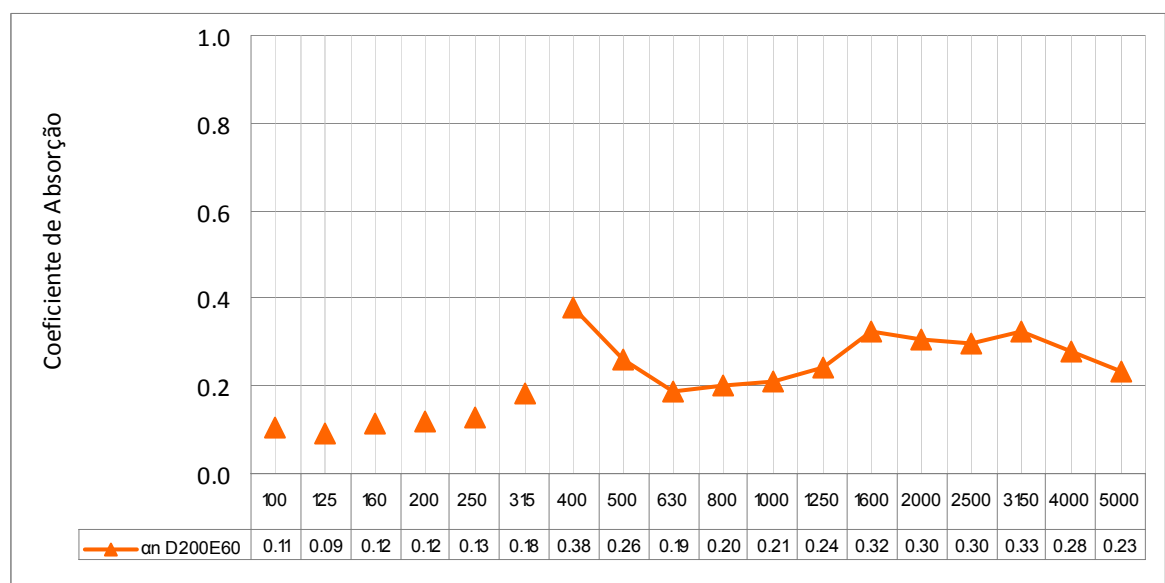


FIG. A4.13 - VALORES DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA PARA O AGLOMEX ACOUSTIC “PINTADO” COM DENSIDADE 200 Kg/M³ E ESPESSURA DE 60 MM

Anexo 4.14. Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D200E100 (α_n)

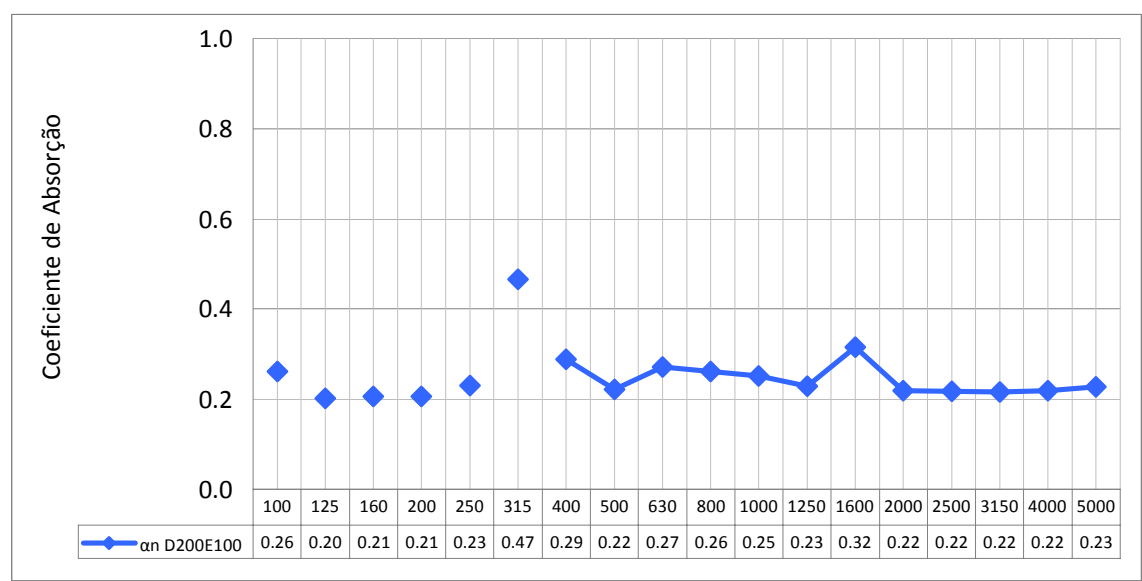


FIG. A4.14 - VALORES DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA PARA O AGLOMEX ACOUSTIC “PINTADO” COM DENSIDADE 200 Kg/m³ E ESPESSURA DE 100 MM

Anexo 4.15. Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D60E30 (α difuso)

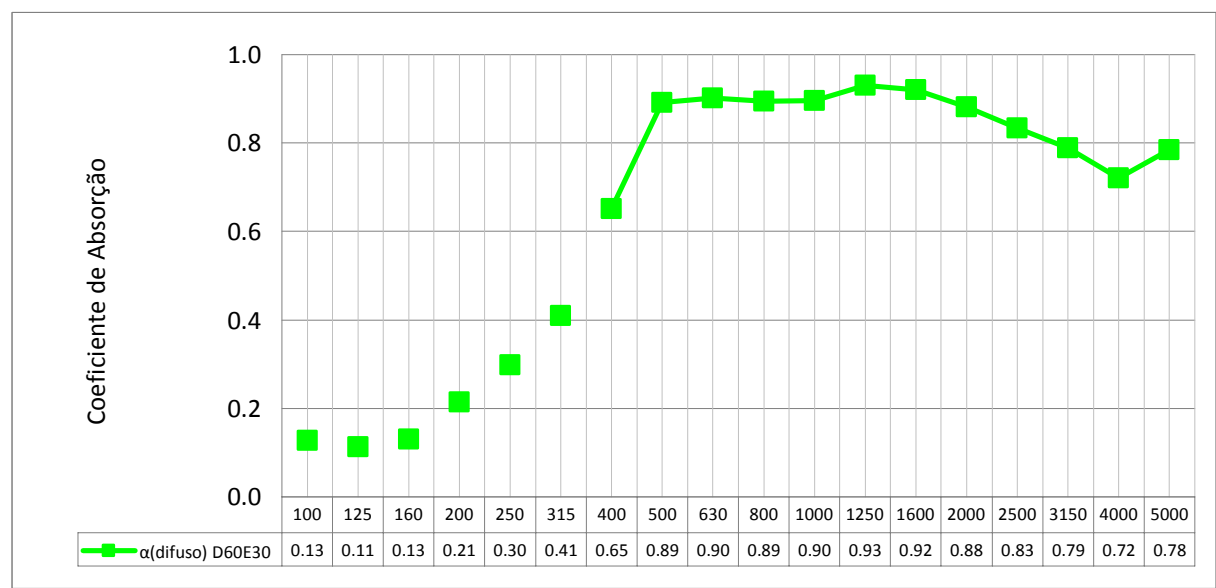


FIG. A4.15 - VALORES DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA PARA O AGLOMEX ACOUSTIC “PINTADO” COM DENSIDADE 60 KG/M³ E ESPESSURA DE 30 MM

Anexo 4.16. Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D60E60 (α difuso)

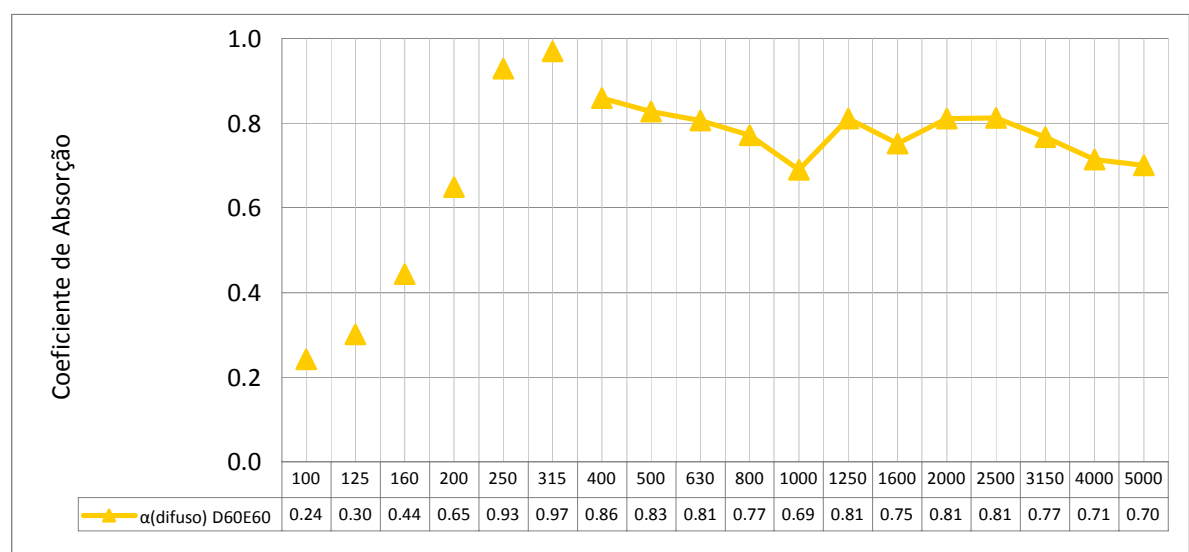


FIG. A4.16 - VALORES DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA PARA O AGLOMEX ACOUSTIC “PINTADO” COM DENSIDADE 60 KG/M³ E ESPESSURA DE 60 MM

Anexo 4.17. Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D60E100 (α difuso)

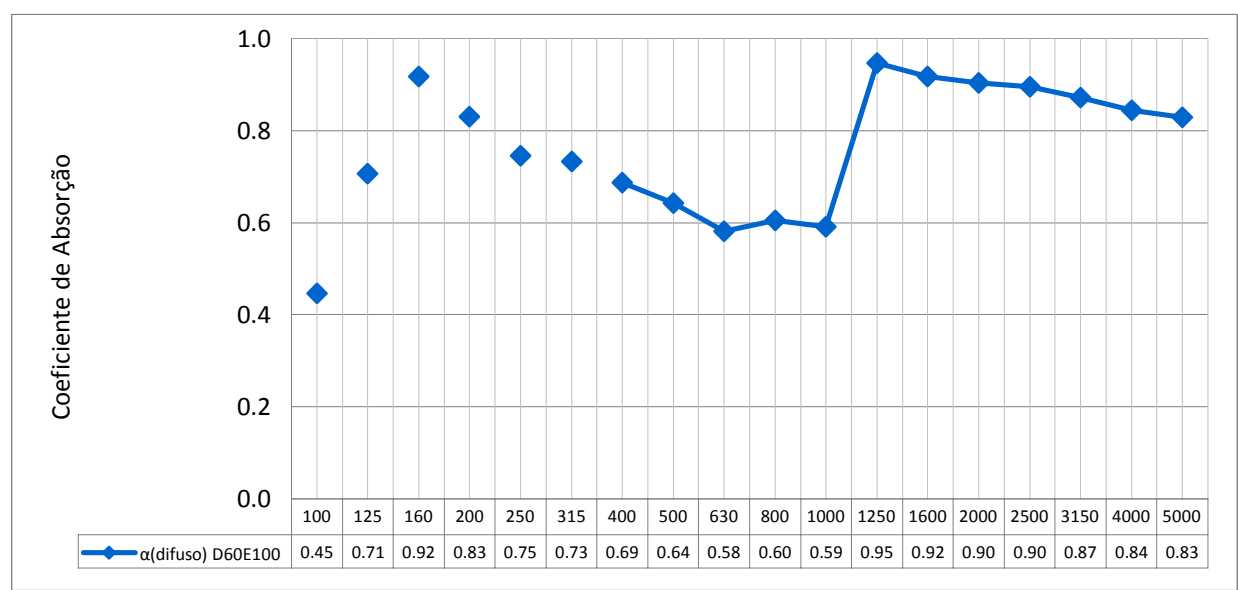


Fig. A4.17 - Valores do coeficiente de absorção sonora para o Aglomex Acoustic “pintado” com densidade 60 Kg/m³ e espessura de 100 mm

Anexo 4.18. Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D90E30 (α difuso)

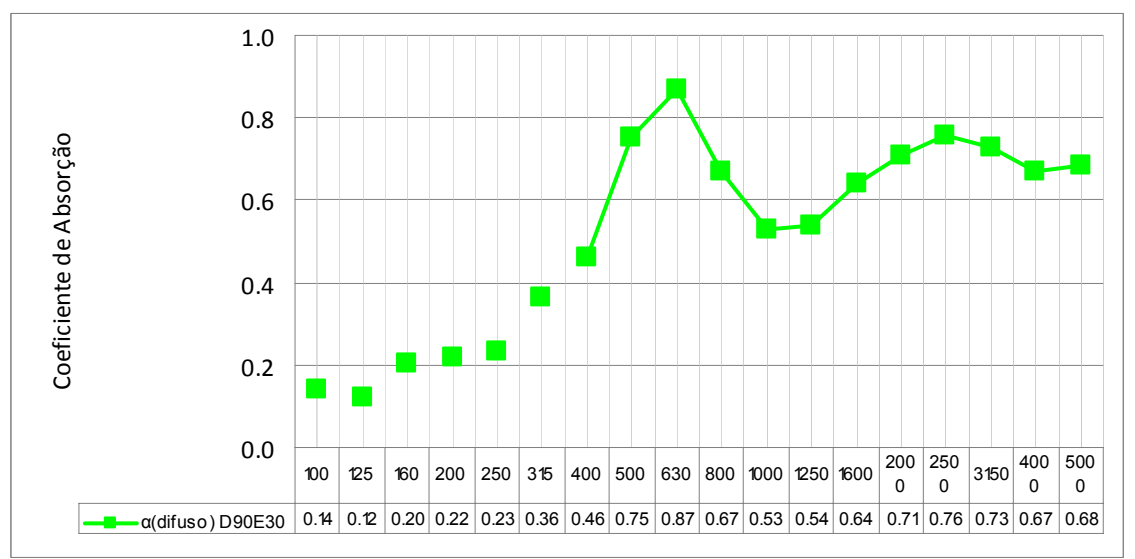


FIG. A4.18 - VALORES DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA PARA O AGLOMEX ACOUSTIC “PINTADO” COM DENSIDADE 90 Kg/m³ E ESPESSURA DE 30 MM

Anexo 4.19. Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D90E60 (α difuso)

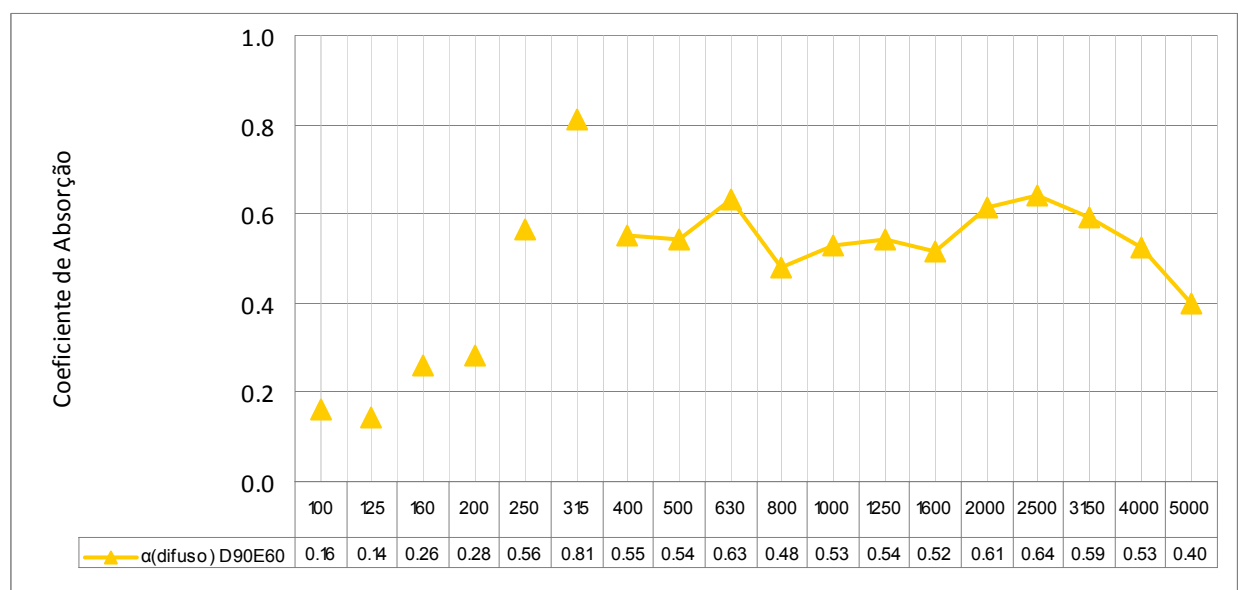


FIG. A4.19 - VALORES DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA PARA O AGLOMEX ACOUSTIC “PINTADO” COM DENSIDADE 90 KG/M³ E ESPESSURA DE 60 MM

Anexo 4.20. Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D90E100 (α difuso)

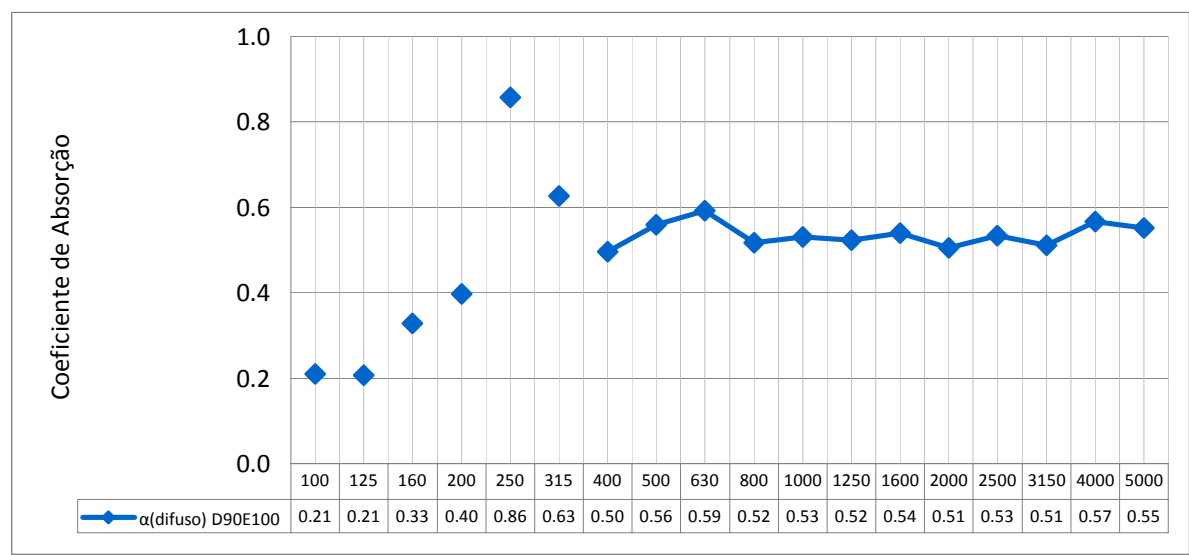


FIG. A4.20 - VALORES DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA PARA O AGLOMEX ACOUSTIC “PINTADO” COM DENSIDADE 90 Kg/M³ E ESPESSURA DE 100 MM

Anexo 4.21. Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D120E30 (αdifuso)

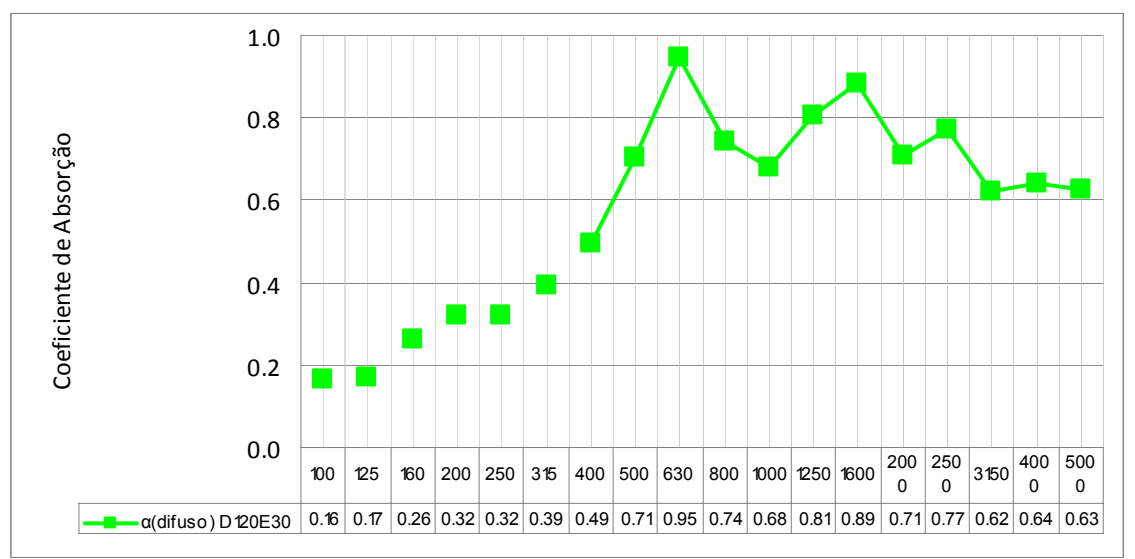


FIG. A4.21 - VALORES DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA PARA O AGLOMEX ACOUSTIC “PINTADO” COM DENSIDADE 120 KG/M³ E ESPESSURA DE 30 MM

Anexo 4.22. Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D120E60 (α difuso)

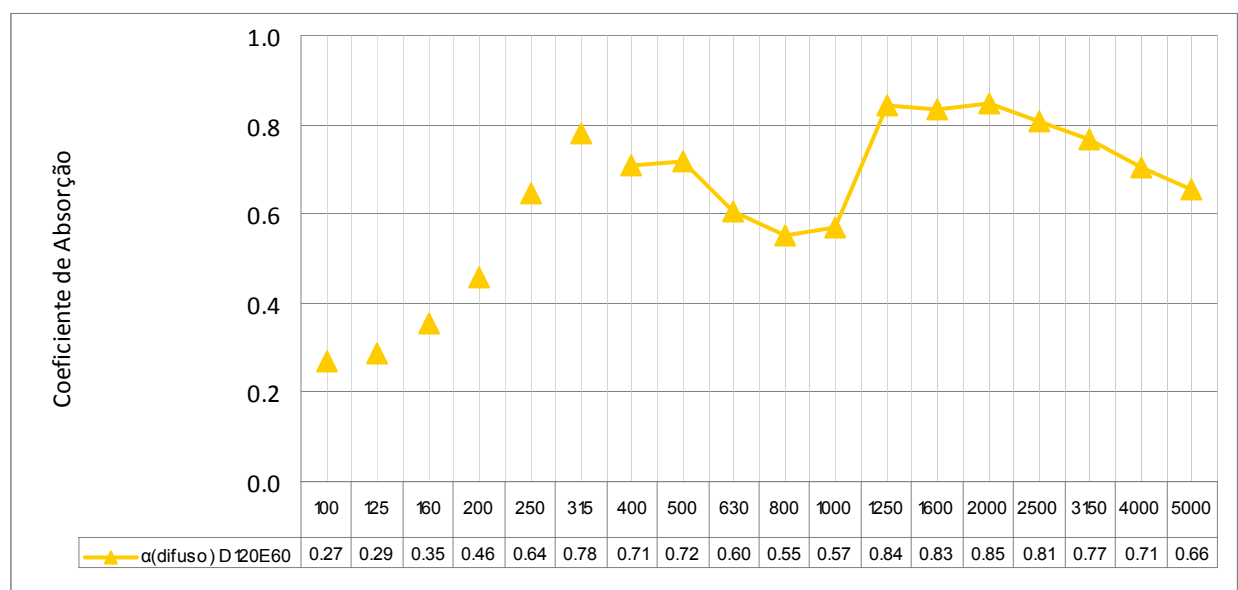


FIG. A4.22 - VALORES DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA PARA O AGLOMEX ACOUSTIC “PINTADO” COM DENSIDADE 120 KG/M³ E ESPESSURA DE 60 MM

Anexo 4.23. Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D120E100 (α difuso)

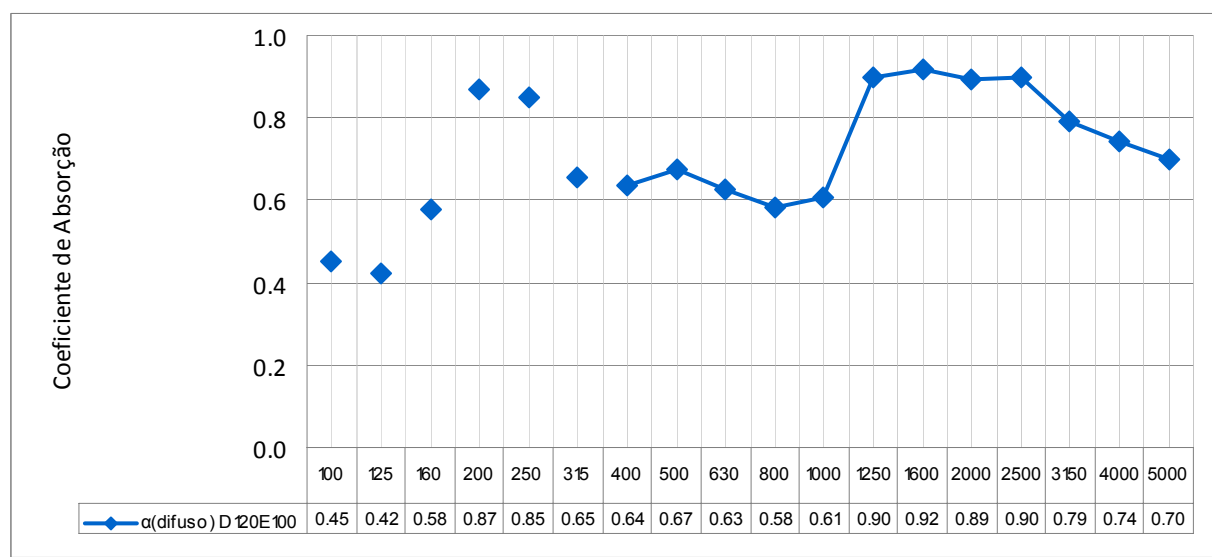


FIG. A4.23 - VALORES DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA PARA O AGLOMEX ACOUSTIC “PINTADO” COM DENSIDADE 120 KG/M³ E ESPESSURA DE 100 MM

Anexo 4.24. Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D200E30 (α difuso)

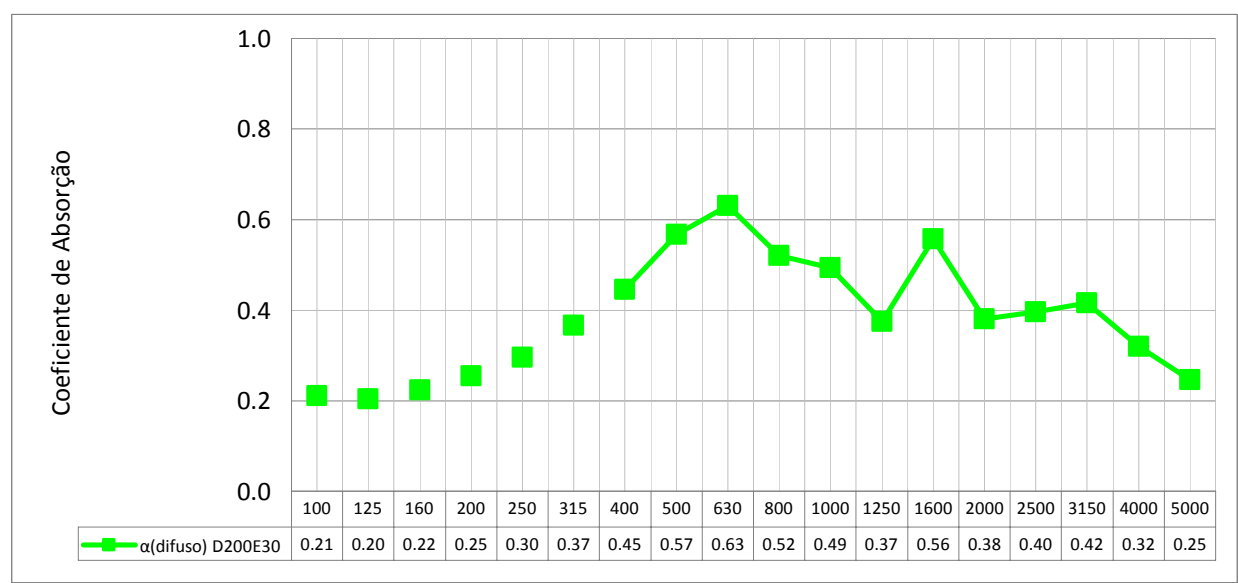


FIG. A4.24 - VALORES DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA PARA O AGLOMEX ACOUSTIC “PINTADO” COM DENSIDADE 200 Kg/M³ E ESPESSURA DE 30 MM

Anexo 4.25. Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D200E60 (α difuso)

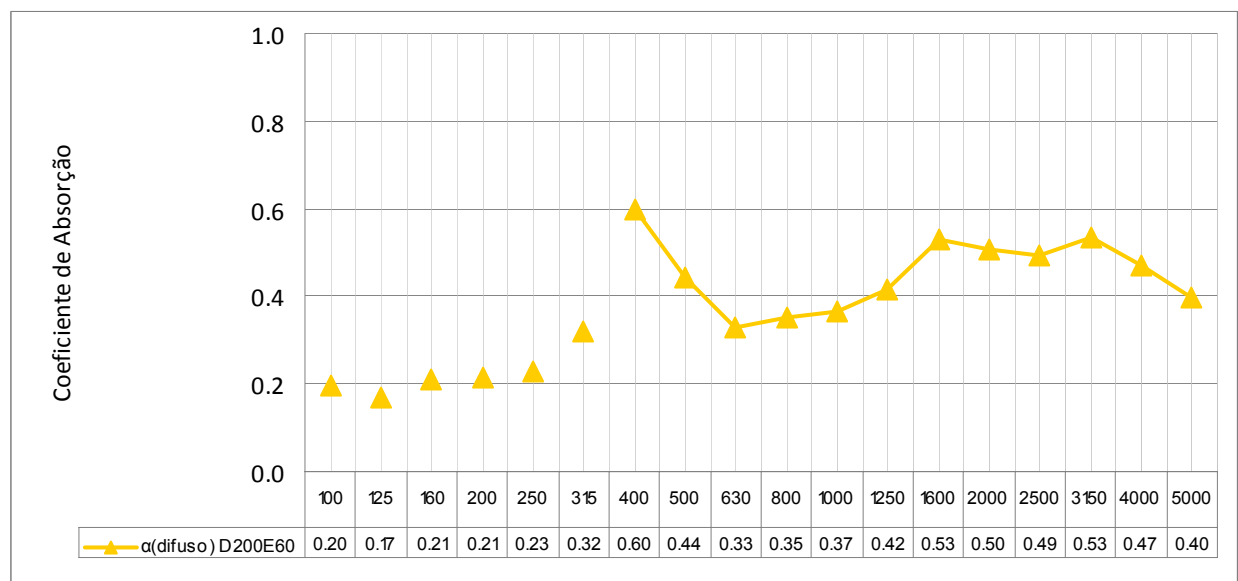


FIG. A4.25 - VALORES DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA PARA O AGLOMEX ACOUSTIC “PINTADO” COM DENSIDADE 200 Kg/M³ E ESPESSURA DE 60 MM

Anexo 4.26. Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D200E100 (α difuso)

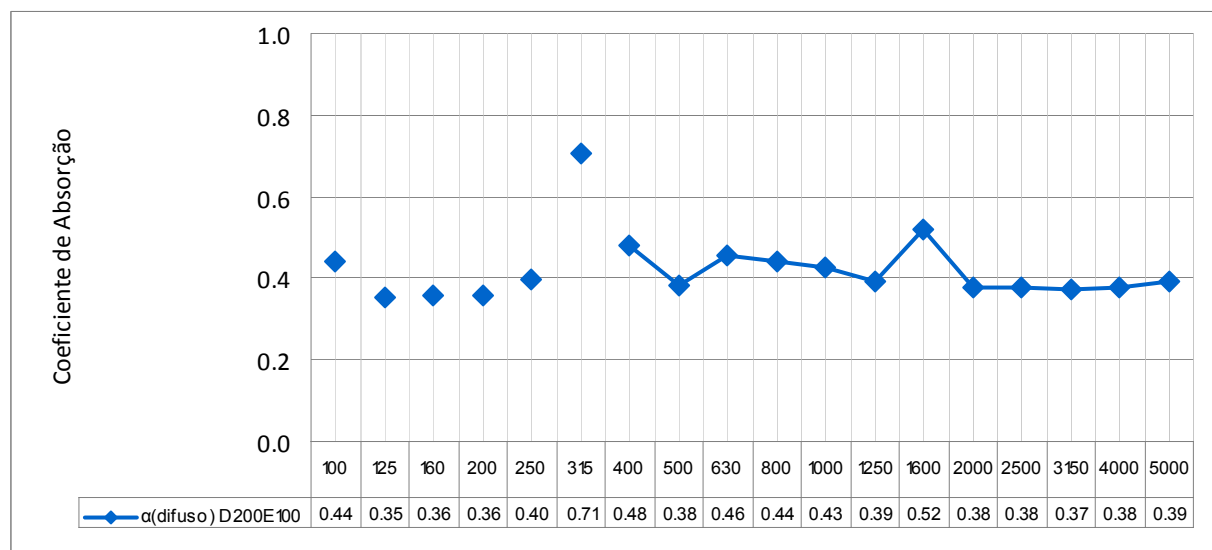


FIG. A4.26 - VALORES DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA PARA O AGLOMEX ACOUSTIC “PINTADO” COM DENSIDADE 200 KG/M³ E ESPESSURA DE 100 MM

Anexo 4.27. Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D60E30 (*ast*)

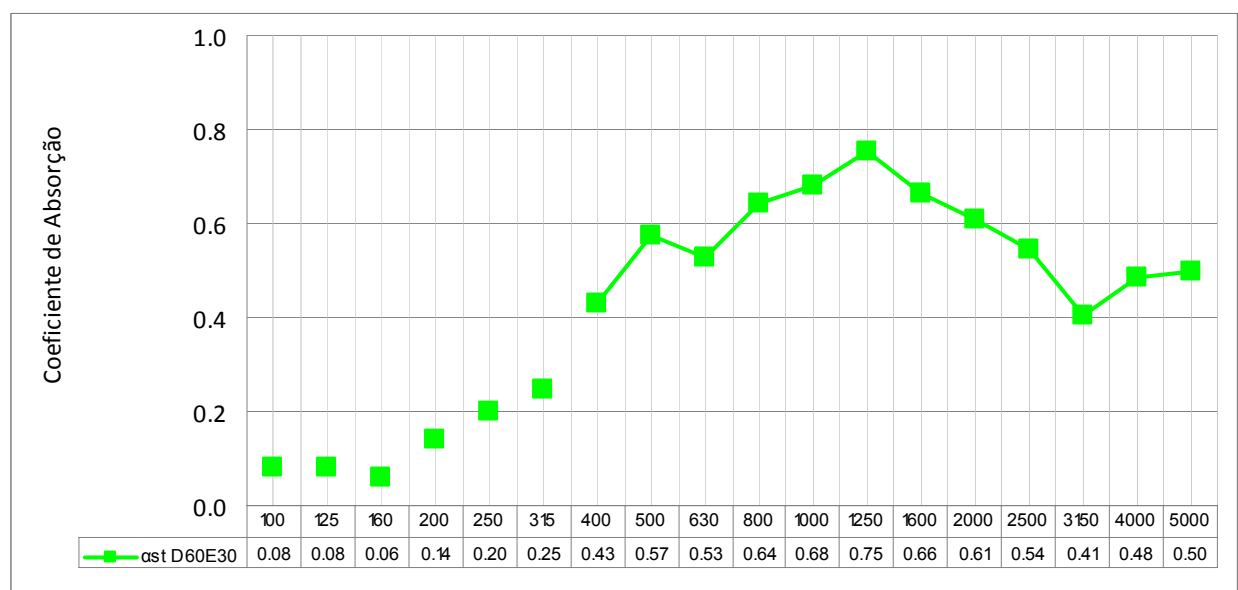


FIG. A4.27 - VALORES DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA PARA O AGLOMEX ACOUSTIC “PINTADO” COM DENSIDADE 60 KG/M³ E ESPESSURA DE 30 MM

Anexo 4.28. Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D60E60 (α_{st})

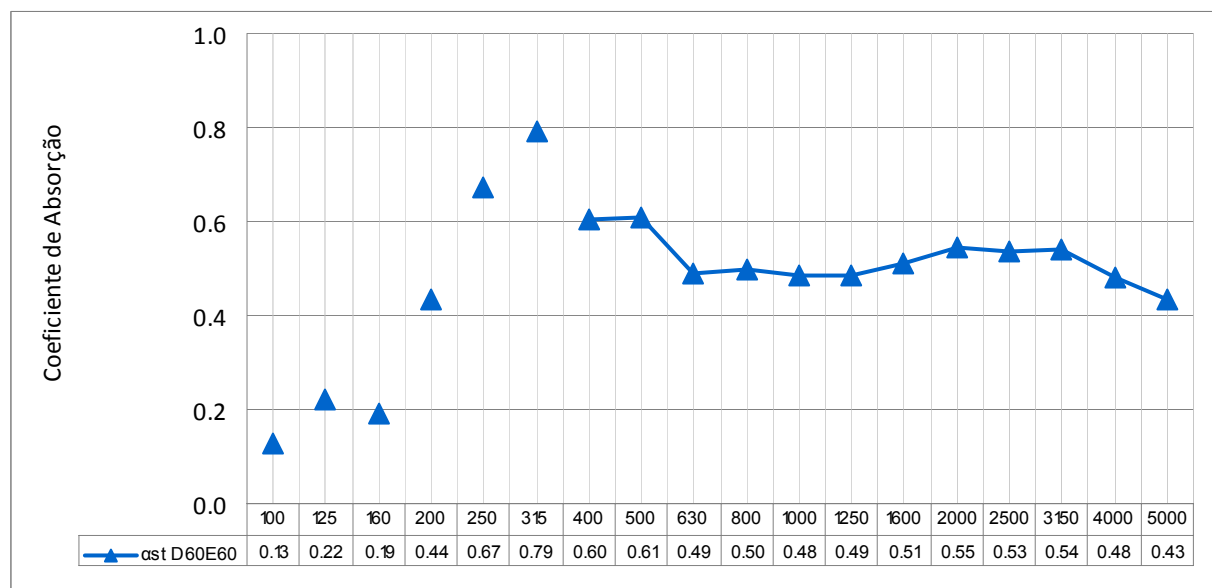


FIG. A4.28 - VALORES DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA PARA O AGLOMEX ACOUSTIC “PINTADO” COM DENSIDADE 60 KG/M³ E ESPESSURA DE 60 MM

Anexo 4.29. Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D60E100 (α_{st})

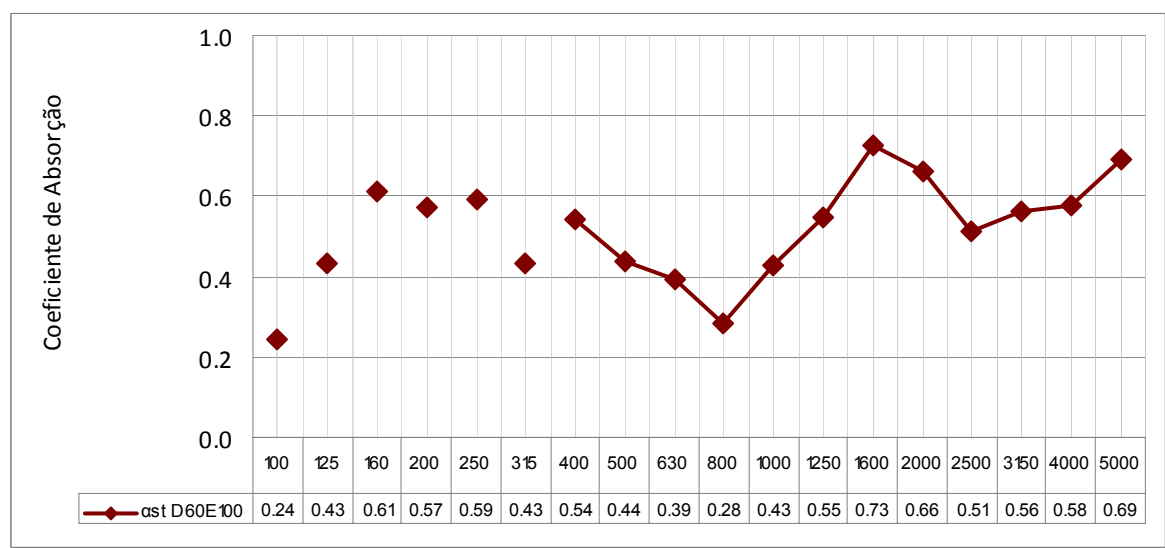


FIG. A4.29 - VALORES DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA PARA O AGLOMEX ACOUSTIC “PINTADO” COM DENSIDADE 60 KG/M³ E ESPESSURA DE 100 MM

Anexo 4.30. Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D90E30 (α_{st})

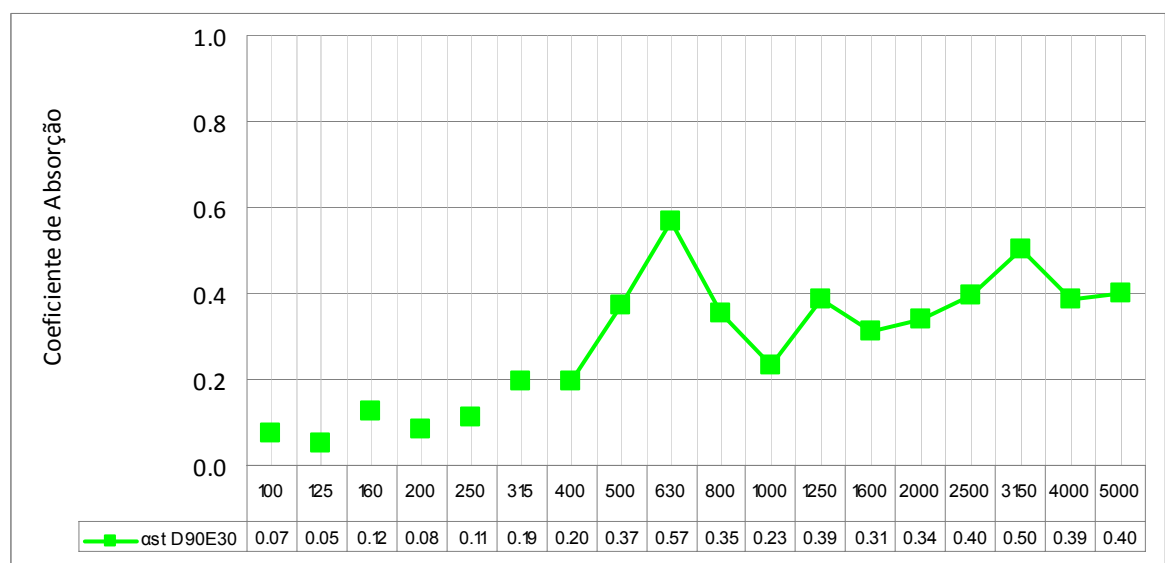


FIG. A4.30 - VALORES DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA PARA O AGLOMEX ACOUSTIC “PINTADO” COM DENSIDADE 90 KG/M³ E ESPESSURA DE 30 MM

Anexo 4.31. Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D90E60 (α_{st})

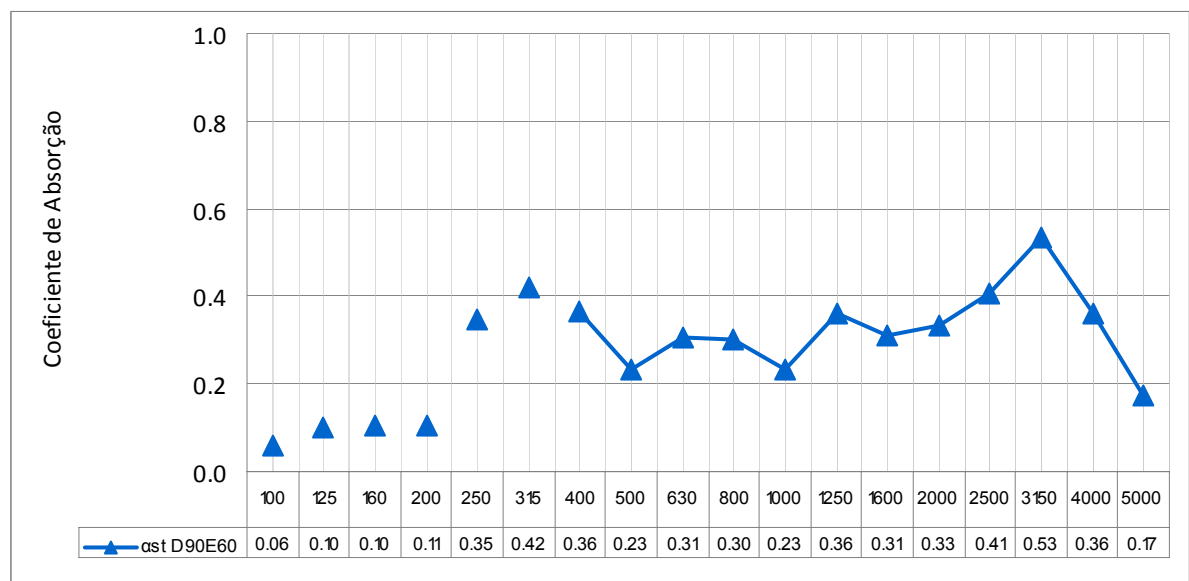


FIG. A4.31 - VALORES DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA PARA O AGLOMEX ACOUSTIC “PINTADO” COM DENSIDADE 90 KG/M³ E ESPESSURA DE 60 MM

Anexo 4.32. Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D90E100 (α_{st})

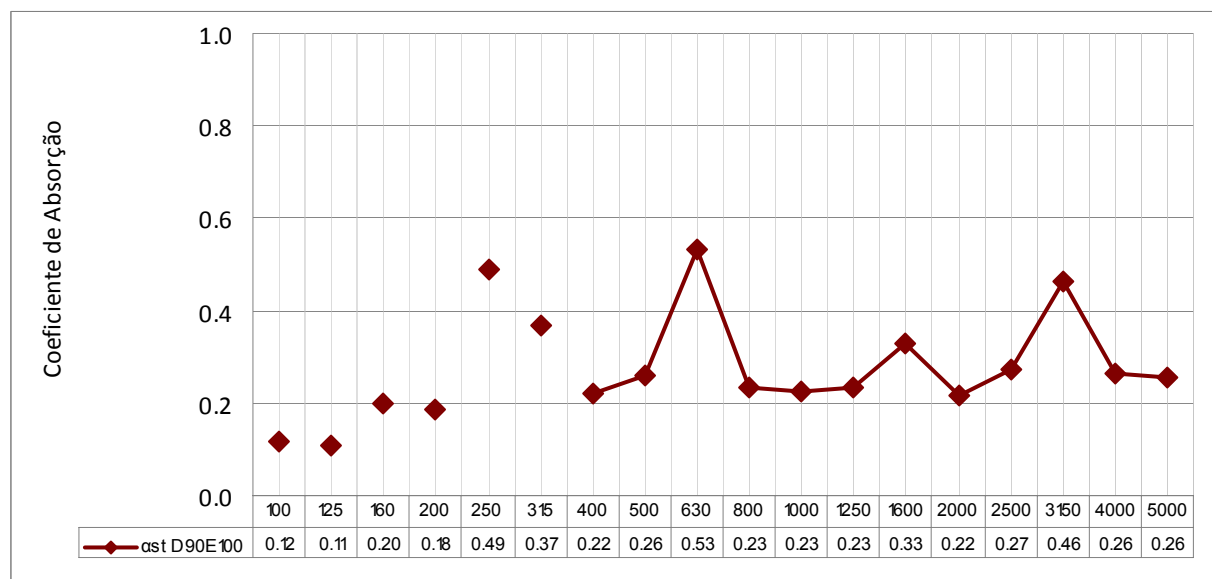


FIG. A4.32 - VALORES DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA PARA O AGLOMEX ACOUSTIC “PINTADO” COM DENSIDADE 90 KG/M³ E ESPESSURA DE 100 MM

Anexo 4.33. Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D120E30 (α_{st})

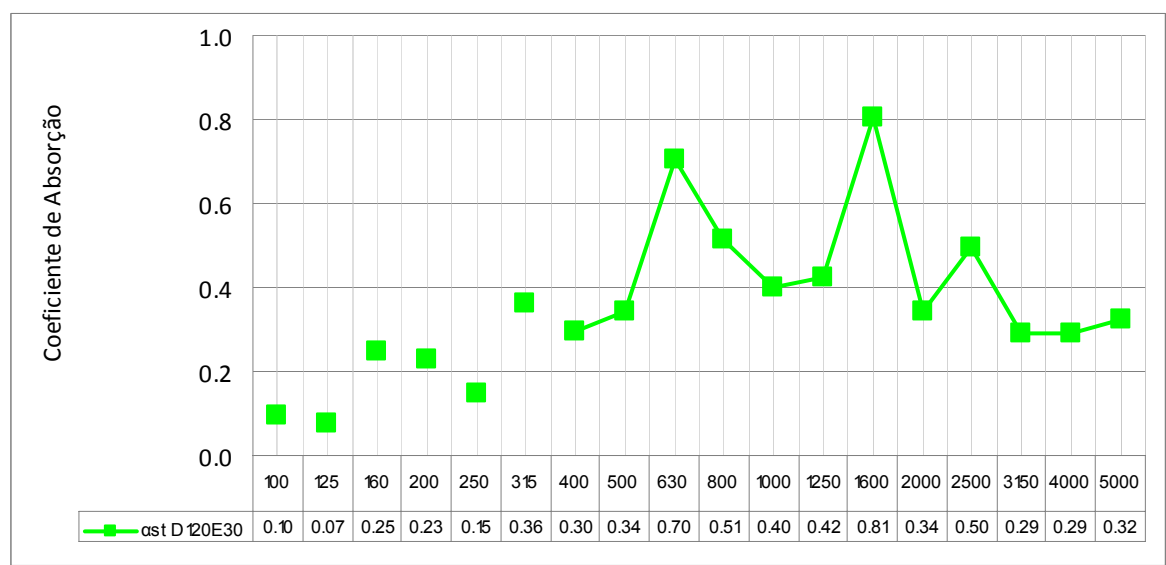


FIG. A4.33 - VALORES DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA PARA O AGLOMEX ACOUSTIC “PINTADO” COM DENSIDADE 120 KG/M³ E ESPESSURA DE 30 MM

Anexo 4.34. Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D120E60 (α_{st})

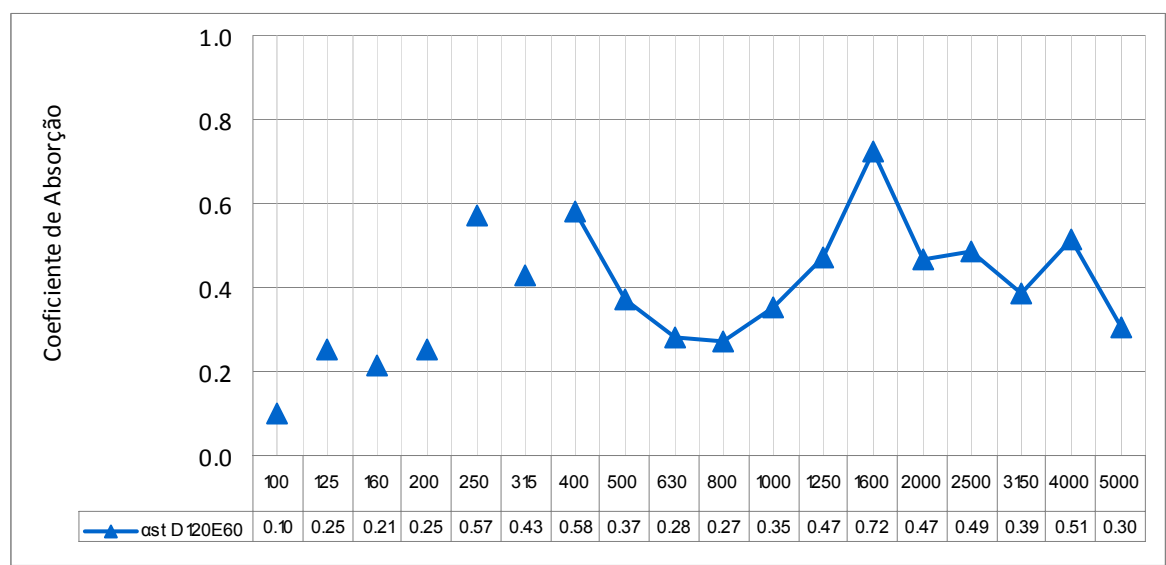


FIG. A4.34 - VALORES DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA PARA O AGLOMEX ACOUSTIC “PINTADO” COM DENSIDADE 120 KG/M³ E ESPESSURA DE 60 MM

Anexo 4.35. Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D120E100 (α_{st})

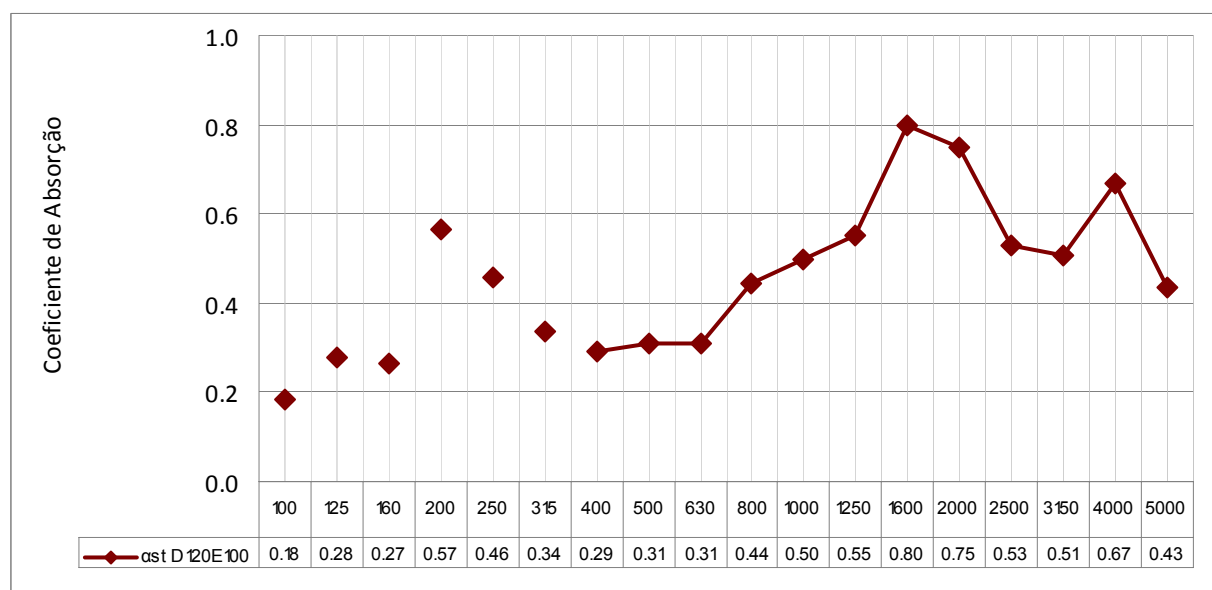


FIG. A4.35 - VALORES DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA PARA O AGLOMEX ACOUSTIC “PINTADO” COM DENSIDADE 120 KG/M³ E ESPESSURA DE 100 MM

Anexo 4.36. Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D200E30 (α_{st})

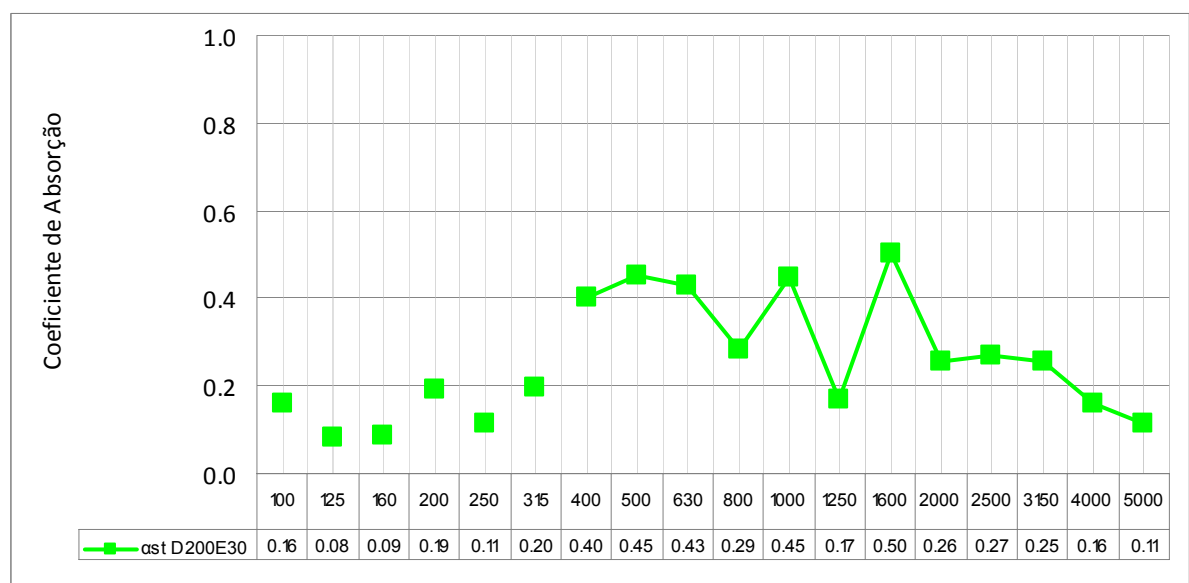


Fig. A4.36 - Valores do coeficiente de absorção sonora para o Aglomex Acoustic “pintado” com densidade 200 Kg/m³ e espessura de 30 mm

Anexo 4.37. Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D200E60 (α_{st})

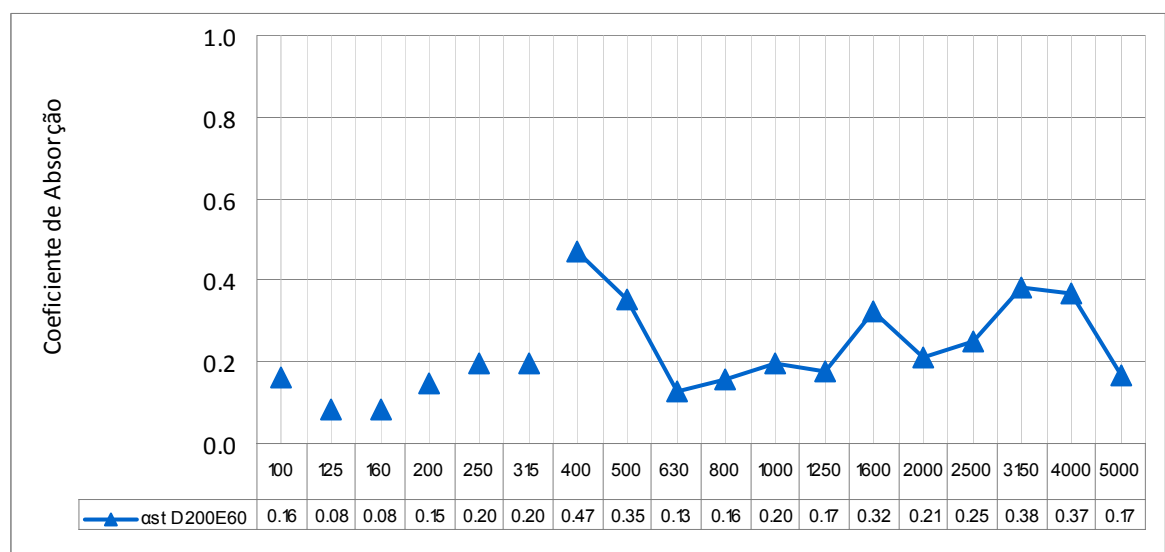


FIG. A4.37 - VALORES DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA PARA O AGLOMEX ACOUSTIC “PINTADO” COM DENSIDADE 200 Kg/m³ E ESPESSURA DE 60 MM

Anexo 4.38. Resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para Aglomex Acoustic “pintado” D200E100 (α_{st})

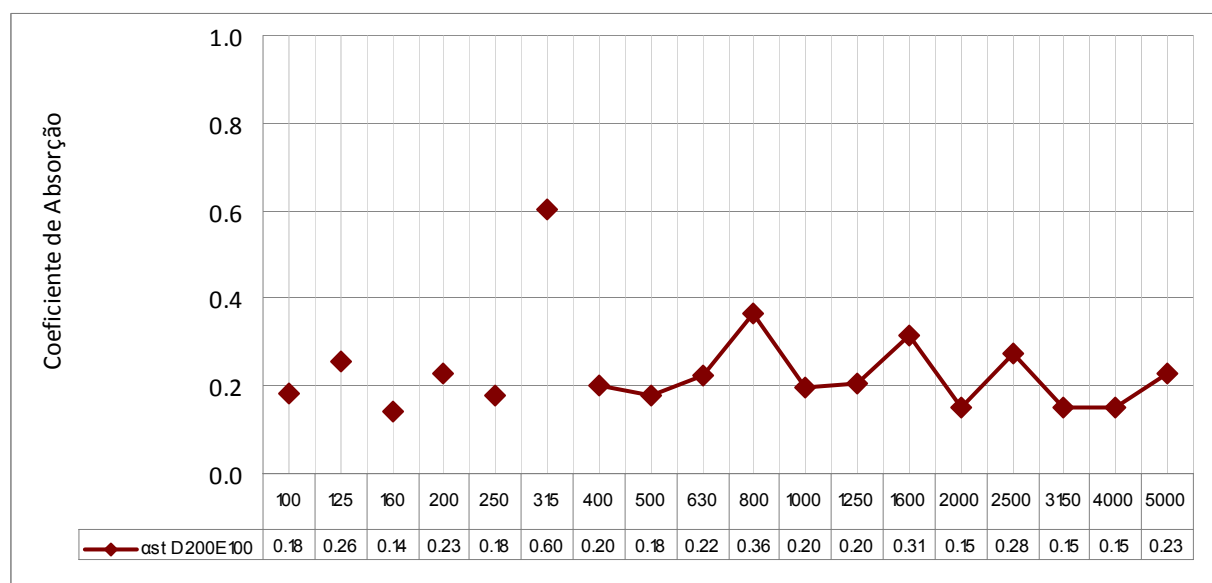


FIG. A4.38 - VALORES DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA PARA O AGLOMEX ACOUSTIC “PINTADO” COM DENSIDADE 200 Kg/M³ E ESPESSURA DE 100 MM

Anexo 4.39. Comparação dos resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para o Aglomex Acoustic “pintado” e “não pintado” com D60E30 (α_n)

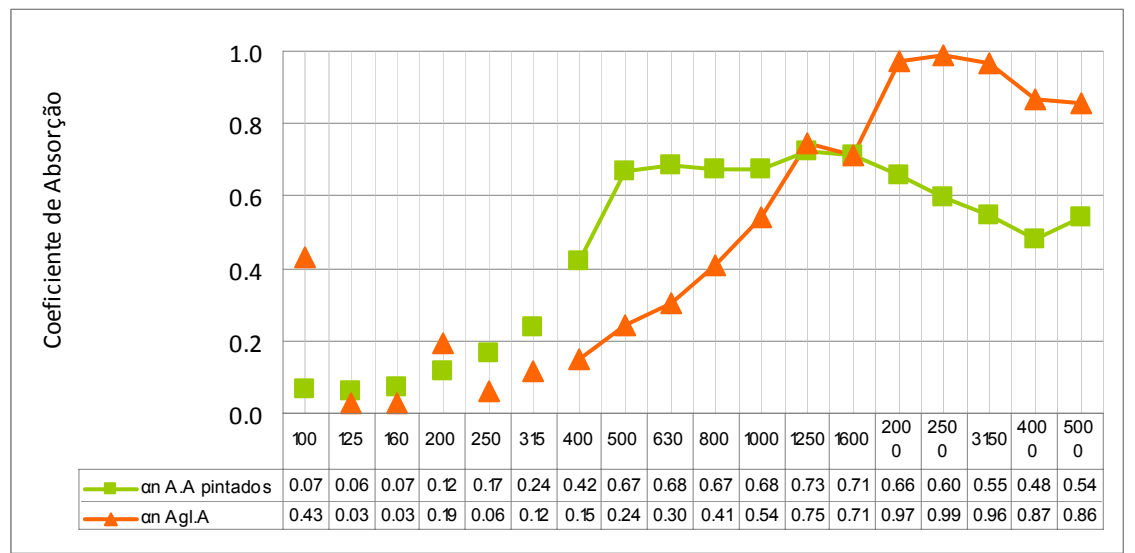


FIG. A4.39 - VALORES DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA PARA O AGLOMEX ACOUSTIC “PINTADO” E “NÃO PINTADO” COM DENSIDADE 60 KG/M³ E ESPESSURA DE 30 MM

Anexo 4.40. Comparação dos resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para o Aglomex Acoustic “pintado” e “não pintado” com D60E60 (α_n)

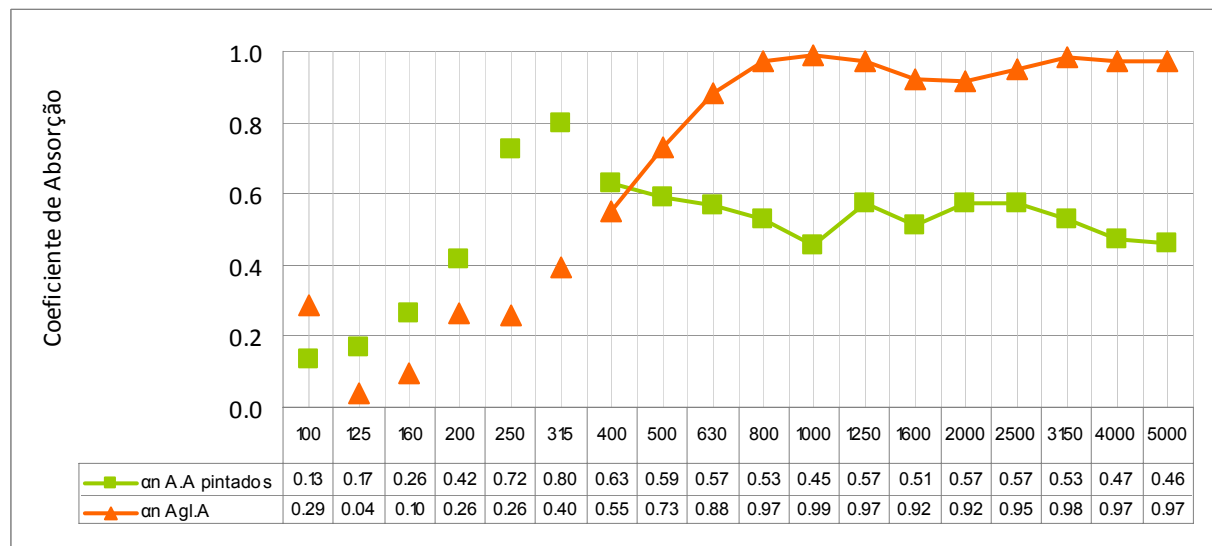


FIG. A4.40 - VALORES DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA PARA O AGLOMEX ACOUSTIC “PINTADO” E “NÃO PINTADO” COM DENSIDADE 60 KG/M³ E ESPESSURA DE 60 MM

Anexo 4.41. Comparação dos resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para o Aglomex Acoustic “pintado” e “não pintado” com D60E100 (α_n)

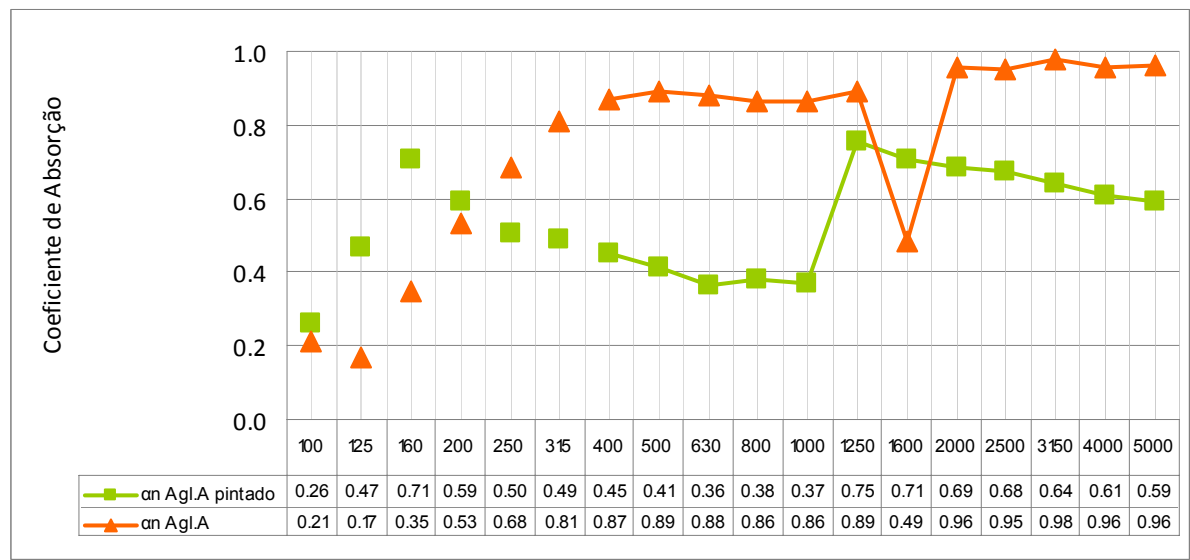


FIG. A4.41 - VALORES DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA PARA O AGLOMEX ACOUSTIC “PINTADO” E “NÃO PINTADO” COM DENSIDADE 60 KG/M³ E ESPESSURA DE 100 MM

Anexo 4.42. Comparação dos resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para o Aglomex Acoustic “pintado” e “não pintado” com D90E30 (α_n)

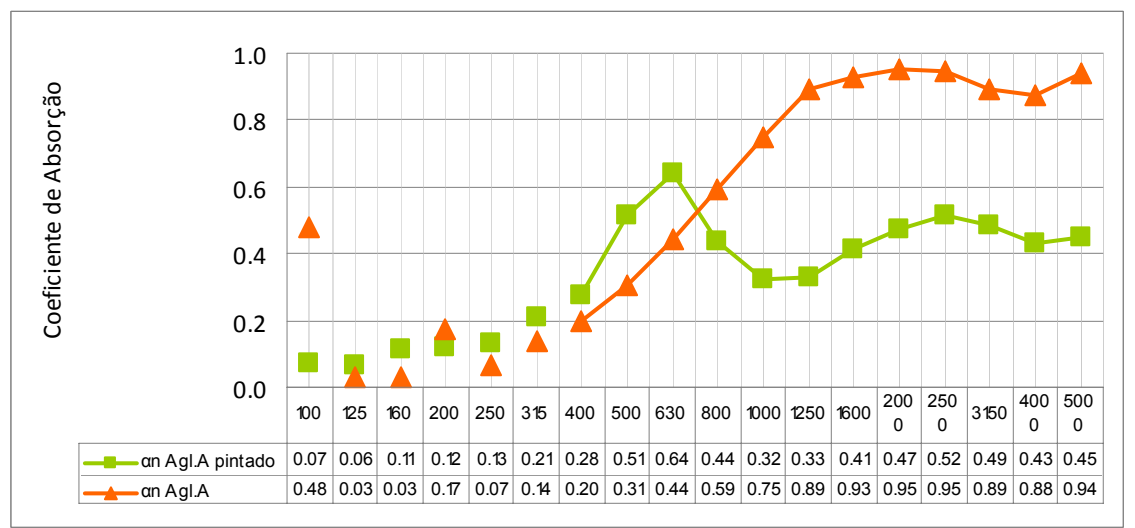


FIG. A4.42 - VALORES DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA PARA O AGLOMEX ACOUSTIC “PINTADO” E “NÃO PINTADO” COM DENSIDADE 90 KG/M³ E ESPESSURA DE 30 MM

Anexo 4.43. Comparação dos resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para o Aglomex Acoustic “pintado” e “não pintado” com D90E60 (α_n)

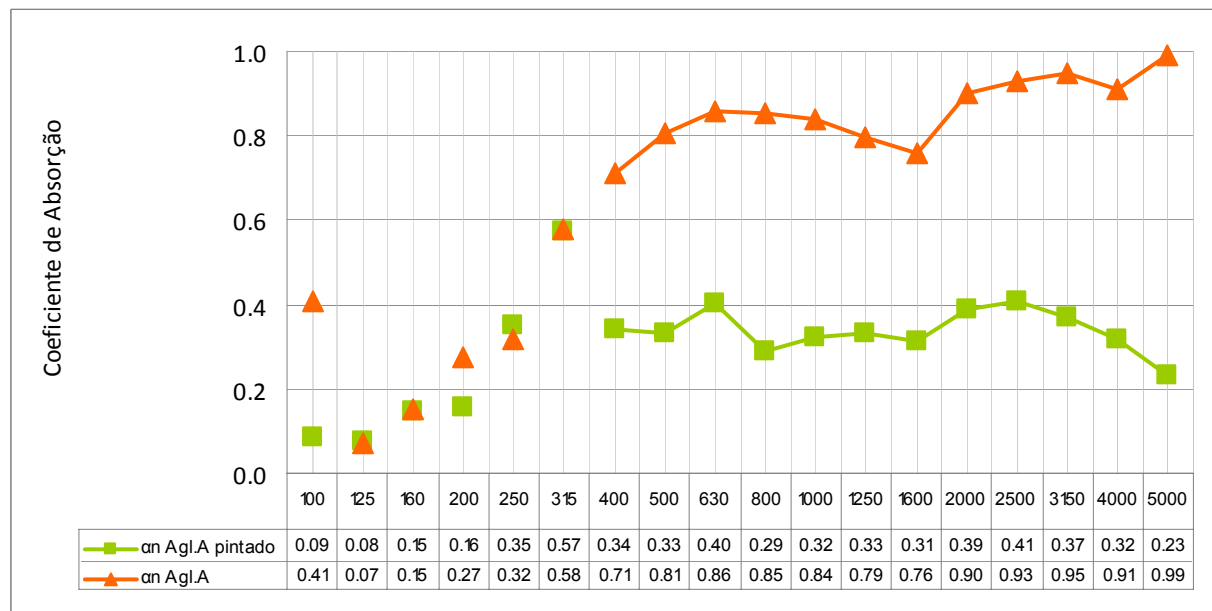


Fig. A4.43 - Valores do coeficiente de absorção sonora para o Aglomex Acoustic “pintado” e “não pintado” com densidade 90 Kg/m³ e espessura de 60 mm

Anexo 4.44. Comparação dos resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para o Aglomex Acoustic “pintado” e “não pintado” com D90E100 (αn)

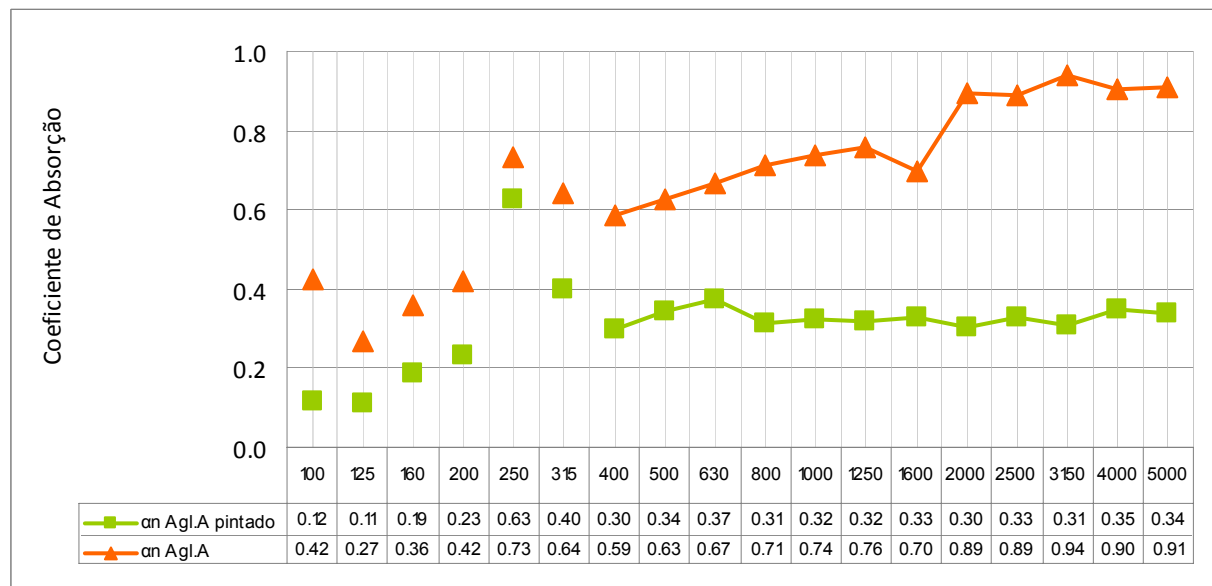


FIG. A4.44 - VALORES DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA PARA O AGLOMEX ACOUSTIC “PINTADO” E “NÃO PINTADO” COM DENSIDADE 90 KG/M³ E ESPESSURA DE 100 MM

Anexo 4.45. Comparação dos resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para o Aglomex Acoustic “pintado” e “não pintado” com D120E30 (α_n)

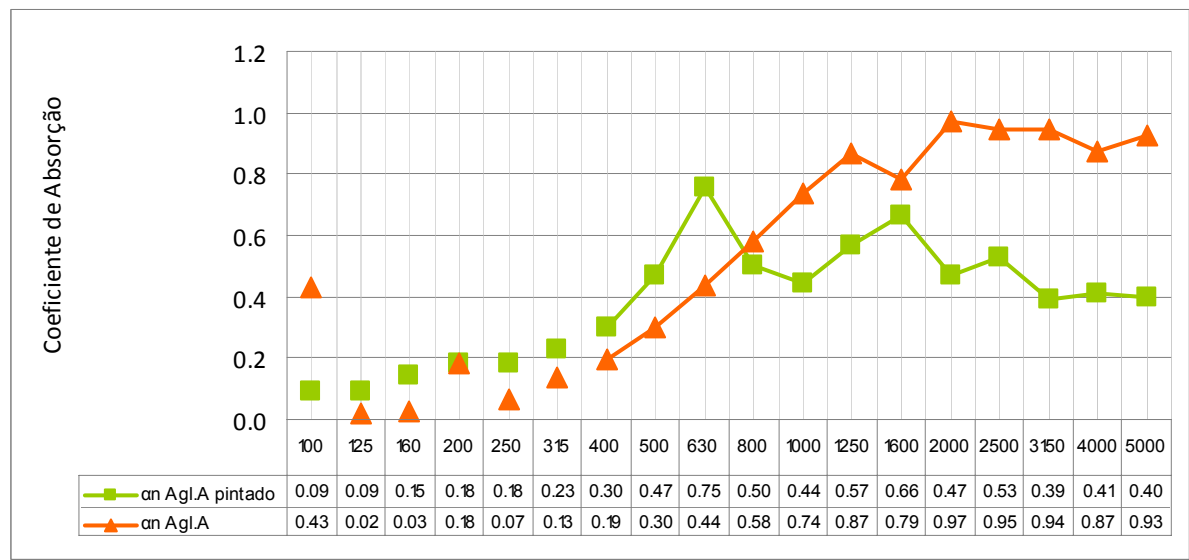


FIG. A4.45 - VALORES DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA PARA O AGLOMEX ACOUSTIC “PINTADO” E “NÃO PINTADO” COM DENSIDADE 120 KG/M³ E ESPESSURA DE 30 MM

Anexo 4.46. Comparação dos resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para o Aglomex Acoustic “pintado” e “não pintado” com D120E60 (α_n)

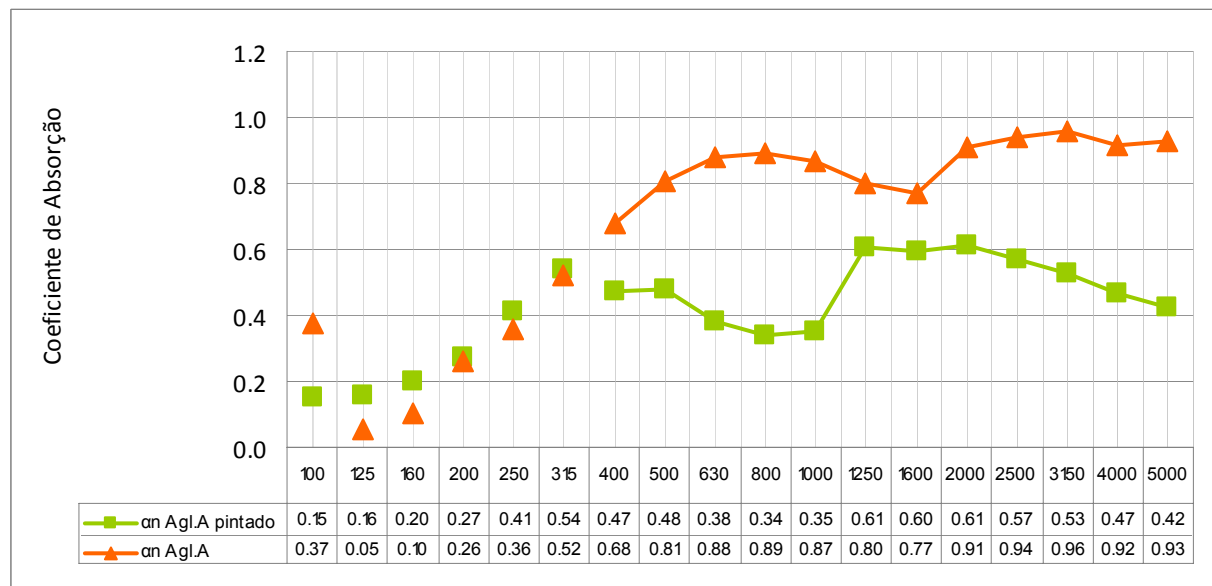


FIG. A4.46 - VALORES DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA PARA O AGLOMEX ACOUSTIC “PINTADO” E “NÃO PINTADO” COM DENSIDADE 120 KG/M³ E ESPESSURA DE 60 MM

Anexo 4.47. Comparação dos resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para o Aglomex Acoustic “pintado” e “não pintado” com D120E100 (α_n)

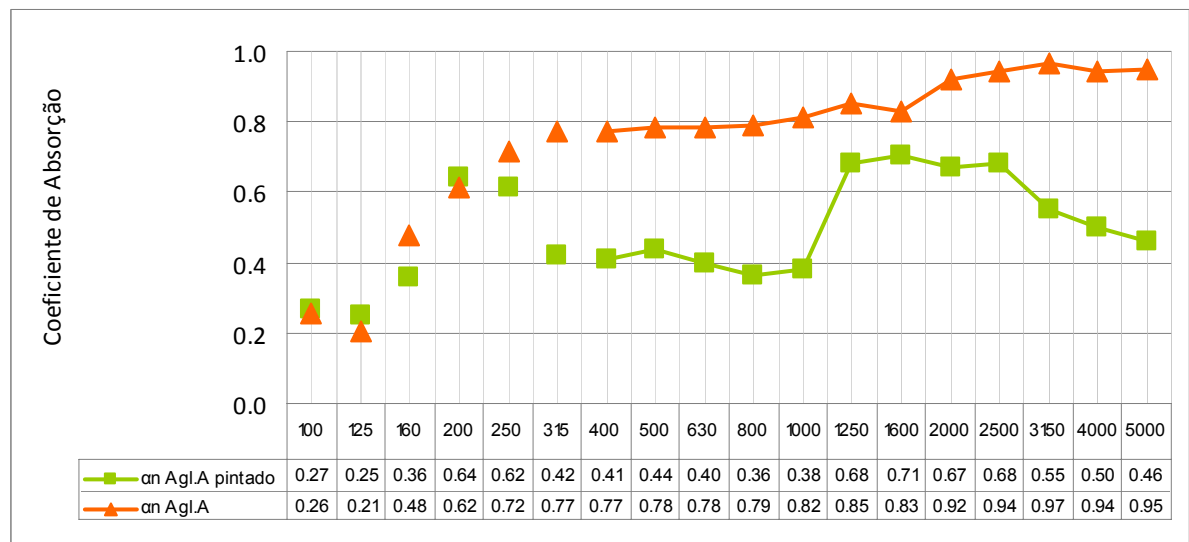


Fig. A4.47 - Valores do coeficiente de absorção sonora para o Aglomex Acoustic “pintado” e “não pintado” com densidade 120 Kg/m³ e espessura de 100 mm

Anexo 4.48. Comparação dos resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para o Aglomex Acoustic “pintado” e “não pintado” com D200E30 (α_n)

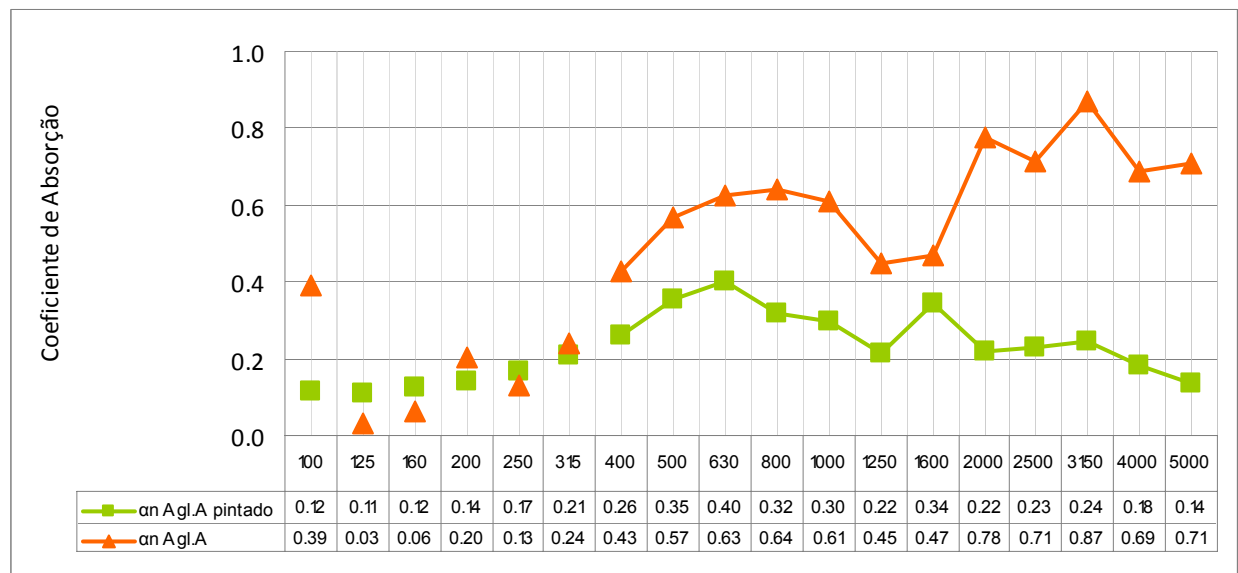


Fig. A4.48 - Valores do coeficiente de absorção sonora para o Aglomex Acoustic “pintado” e “não pintado” com densidade 200 Kg/m³ e espessura de 30 mm

Anexo 4.49. Comparação dos resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para o Aglomex Acoustic “pintado” e “não pintado” com D200E60 (α_n)

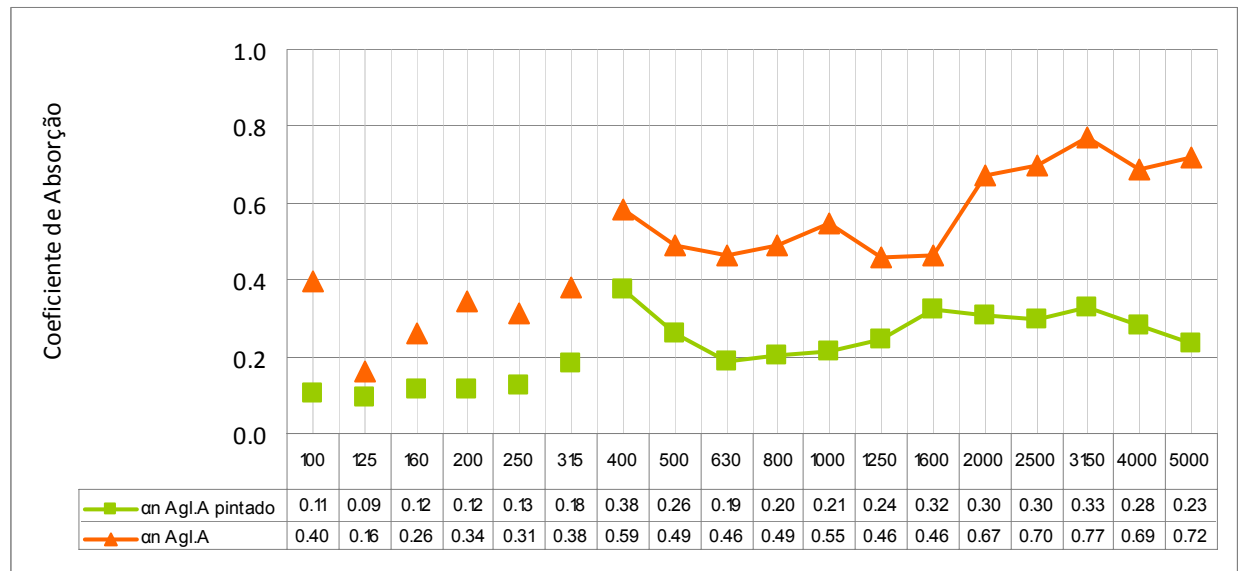


FIG. A4.49 - VALORES DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA PARA O AGLOMEX ACOUSTIC “PINTADO” E “NÃO PINTADO” COM DENSIDADE 200 KG/M³ E ESPESSURA DE 60 MM

Anexo 4.50. Comparação dos resultados obtidos pelo Método do Tubo de Ondas Estacionárias para o Aglomex Acoustic “pintado” e “não pintado” com D200E100 (α_n)

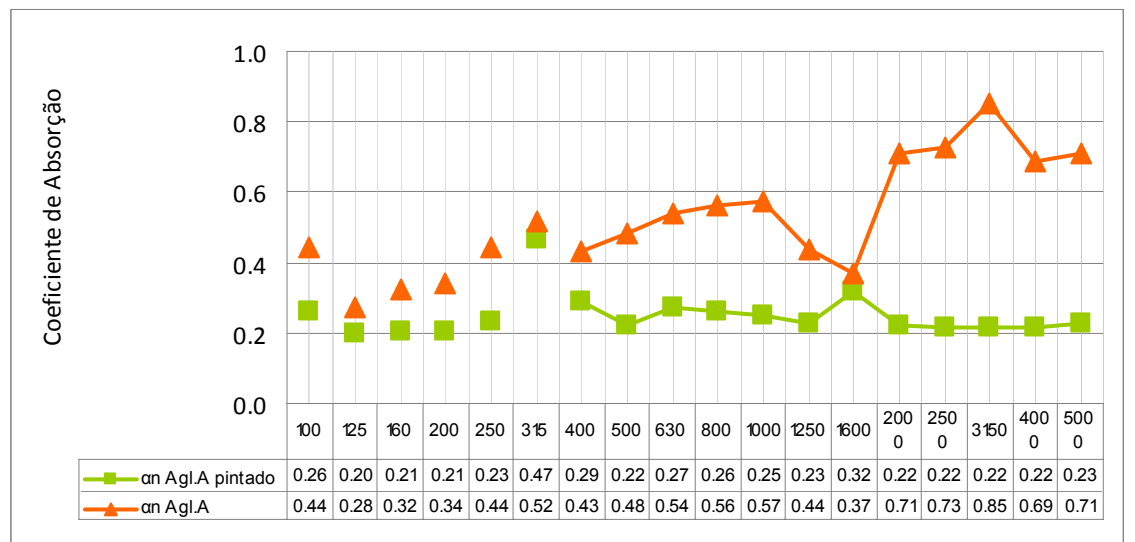


FIG. A4.50 - VALORES DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA PARA O AGLOMEX ACOUSTIC “PINTADO” E “NÃO PINTADO” COM DENSIDADE 200 KG/M³ E ESPESSURA DE 100 MM

Anexo 4.51. Resultados obtidos pelo Método da Câmara Reverberante para Aglomex Acoustic “pintado” D60E100 ensaiado no pavimento

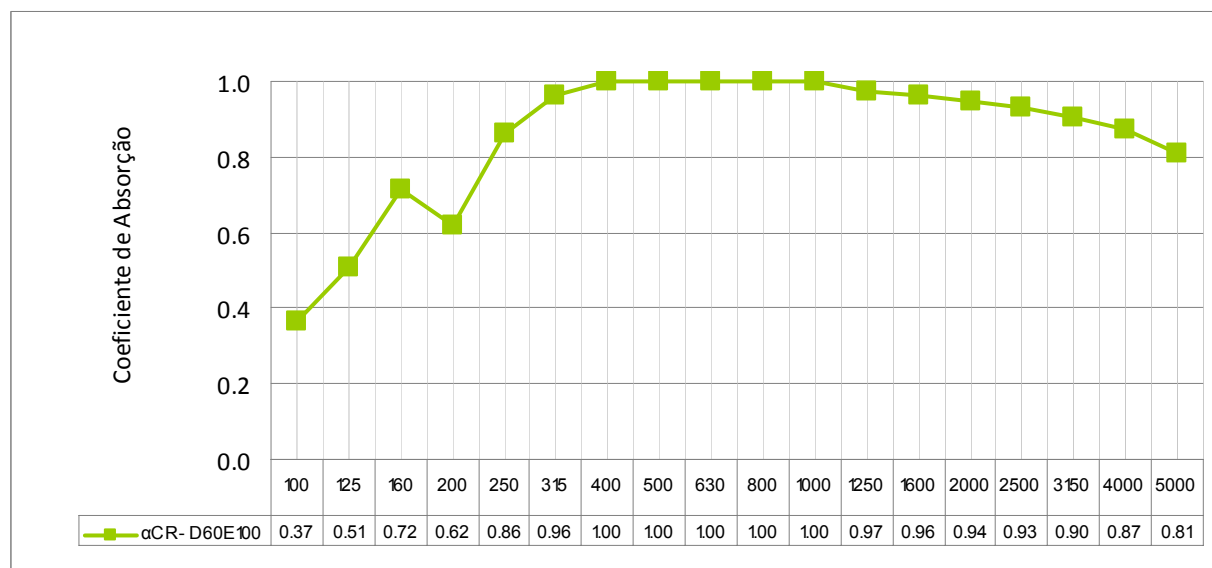


Fig. A4.51 - Valores do coeficiente de absorção sonora para o Aglomex Acoustic “pintado” com densidade 60 Kg/m³ e espessura de 100 mm

Anexo 4.52. Resultados obtidos pelo Método da Câmara Reverberante para Aglomex Acoustic “pintado” D60E100 ensaiado na vertical como Baffle, e afastamento 120 cm

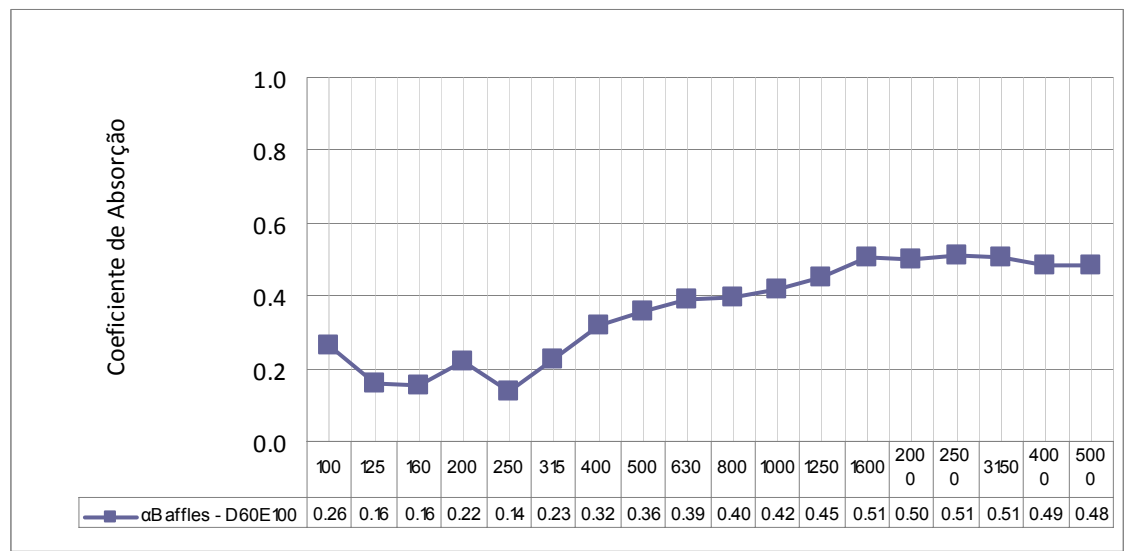


FIG. A4.52 - VALORES DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA PARA O AGLOMEX ACOUSTIC “PINTADO” COM DENSIDADE 60 KG/M³ E ESPESSURA DE 100 MM, E AFASTAMENTO ENTRE BAFFLES DE 120 CM

Anexo 4.53. Comparação dos resultados obtidos pelo Método da Câmara Reverberante para o Aglomex Acoustic “pintado” e “não pintado” com D60E100

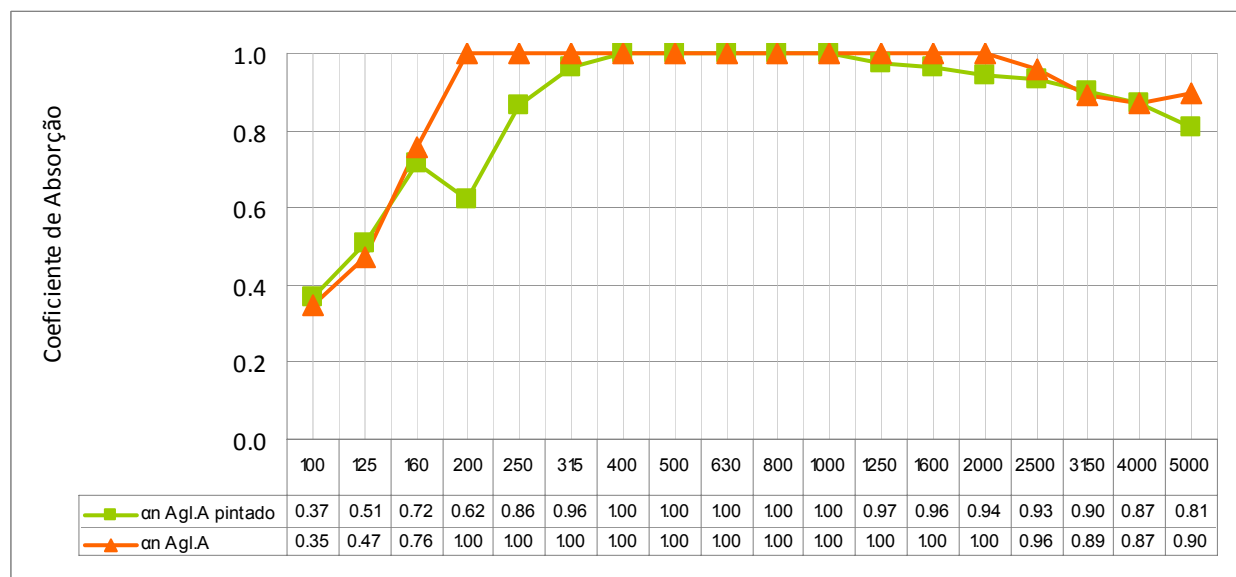


FIG. A4.53 - VALORES DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA PARA O AGLOMEX ACOUSTIC “PINTADO” COM DENSIDADE 60 KG/M³ E ESPESSURA DE 100 MM