



Laura Raquel Lourenço de Sousa

ESTUDO DA ATENUAÇÃO SONORA PROVOCADA POR COBERTURAS VERDES

STUDY OF SOUND ATTENUATION CAUSED BY
GREEN ROOFS

Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, na área de Especialização em Construções
orientada pelo Professor Doutor António Tadeu e pela Professora Doutora Julieta António.

Coimbra, 8 de Setembro de 2017



UNIVERSIDADE DE COIMBRA



FCTUC DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Laura Raquel Lourenço de Sousa

ESTUDO DA ATENUAÇÃO SONORA PROVOCADA POR COBERTURAS VERDES

STUDY OF SOUND ATTENUATION CAUSED BY GREEN ROOFS

Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, na área de Especialização em Construções orientada pelo Professor Doutor António Tadeu e pela Professora Doutora Julieta António.

Esta Dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor.
O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC, declina qualquer
responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões
que possam surgir

Colaboração Institucional



Coimbra, 8 de Setembro de 2017

AGRADECIMENTOS

Usufroo deste espaço para mostrar a minha gratidão a todos os que tornaram possível a realização deste trabalho.

Ao Professor Doutor António José Barreto Tadeu e à Professora Doutora Julieta Maria Pires António agradeço a orientação dada. Em especial à Professora Doutora Julieta Maria Pires António que me cativou e sempre se mostrou disponível para ajudar e transmitir conhecimento.

Aos engenheiros Ana Neves (ITeCons), David Tadeu (ITeCons), Igor Castro (ITeCons) e Ricardo Almeida agradeço o auxílio na execução dos ensaios experimentais.

Ao Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico para a Construção, Energia, Ambiente e Sustentabilidade (ITeCons) pela oportunidade de utilizar as suas instalações bem como equipamentos e materiais e ainda aos seus funcionários pela sua ajuda e simpatia.

Ao meu namorado, ao meu irmão e aos meus amigos que me têm acompanhado e apoiado.

E um agradecimento muito especial aos meus pais e avós que me deram a oportunidade de estudar.

A presente dissertação teve o apoio do Portugal 2020 através do Programa Operacional Competitividade e Internacionalização no âmbito dos projetos “GreenUrbanLiving (POCI-01-0247-FEDER-003393)” e “Concepção e caracterização de coberturas verdes e fachadas vivas construídas com sistemas estruturados em cortiça natural expandida (POCI-01-0145-FEDER-016852 e PTDC/ECM-COM/5251/2014)”.

RESUMO

Há vários séculos que a integração de coberturas verdes como solução construtiva é uma realidade. Tal mostra-se uma mais valia, num mundo cada vez mais preocupado com a sustentabilidade. Estas apresentam vários benefícios ambientais, económicos e sociais. De entre os benefícios ambientais têm sido evidenciados o aumento da biodiversidade urbana, o controlo da temperatura urbana (mitigação da ilha de calor), o controlo e gestão de águas pluviais, aumento da produção de oxigénio, o decréscimo da concentração de dióxido de carbono e a diminuição do ruído ambiente.

Esta dissertação insere-se num estudo que pretende incorporar aglomerado de cortiça expandida (ICB) para substituição da camada de isolamento térmico e dos elementos de drenagem e retenção de água utilizados nos sistemas de coberturas verdes tradicionais. No presente trabalho, estudou-se o isolamento sonoro a sons de condução aérea conferido por uma cobertura verde com isolamento térmico convencional do tipo XPS e comparou-se com o obtido numa cobertura verde com isolamento de aglomerado de cortiça expandida. Foram realizados ensaios em câmaras acústicas verticais e mediu-se o isolamento sonoro à medida que iam sendo colocadas as várias camadas constituintes da cobertura verde. Adicionalmente, avaliou-se a capacidade de atenuação sonora de ruído ambiente exterior promovida pelo tapete vegetal da cobertura verde. Simulou-se o ambiente exterior numa câmara anecoica, colocando o tapete vegetal numa estrutura elevada acima do pavimento. A atenuação sonora do ruído ambiente será dependente das capacidades de absorção sonora do tapete vegetal. Esta propriedade caracterizou-se através da medição do coeficiente de absorção sonora dos tapetes vegetais numa câmara reverberante.

PALAVRAS CHAVE: coberturas verdes, sustentabilidade, aglomerado de cortiça expandida, isolamento sonoro, atenuação sonora, coeficiente de absorção sonora.

ABSTRACT

For several centuries the integration of green roofs as a constructive solution has become a reality. This shows an added value, in a world increasingly concerned with sustainability. These have several environmental, economic and social benefits. Among the environmental benefits, there has been an increase in urban biodiversity, urban temperature control (heat island mitigation), rainwater management and management, increased oxygen production, decreased carbon dioxide concentration and the reduction of ambient noise.

This dissertation is part of a study that intends to incorporate insulation cork board (ICB) to replace the thermal insulation layer and drainage and water retention elements used in traditional green roofing systems. In the present work, was studied the sound insulation to air conduction sounds conferred by a green cover with conventional thermal insulation of type XPS and compared with that obtained in a green cover with insulation cork board. Tests were performed on vertical acoustic chambers and the sound insulation was measured as the various constituent layers of the green roof were placed. In addition, the sound attenuation capacity of external ambient noise was assessed by the green roof carpet. The outdoor environment was simulated in an anechoic chamber, placing the vegetable mat in a raised structure above the pavement. Sound attenuation of ambient noise will be dependent on the sound absorption capabilities of the vegetable carpet. This property was characterized by measuring the sound absorption coefficient of the plant carpets in a reverberant chamber.

KEY WORDS: green roofs, sustainability, insulation cork board, sound insulation, sound attenuation, noise absorption coefficient.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Enquadramento do tema	1
1.2	Objetivos.....	2
1.3	Organização da dissertação.....	3
2	COBERTURAS VERDES	4
2.1	Introdução	4
2.2	Revisão Bibliográfica	5
2.3	Constituição das coberturas verdes.....	11
2.4	Tipos de coberturas verdes.....	13
2.5	Vantagens das coberturas verdes	15
2.6	Desvantagens das coberturas verdes.....	17
3	PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS.....	18
3.1	Introdução	18
3.2	Técnicas experimentais.....	19
3.2.1	Ensaio em Câmaras Acústicas Verticais.....	19
3.2.2	Ensaio em Câmara Anecoica.....	29
3.2.3	Ensaio em Câmara Reverberante.....	31
4	RESULTADOS	36
4.1	Resultados dos ensaios em câmaras acústicas verticais.....	36
4.1.1	Valores do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea R e respectivo valor único R_w	36
4.1.2	Acréscimo do isolamento sonoro gerado pelas camadas da cobertura verde em relação à laje de referência	40
4.2	Resultados dos ensaios em câmara anecoica	44
4.2.1	Resultados dos ensaios em câmara anecoica sem amostra.....	44
4.2.2	Resultados dos ensaios em câmara anecoica com a amostra de relva.....	45
4.2.3	Resultados dos ensaios em câmara anecoica com a amostra de sedum.....	46
4.2.4	Comparação de resultados dos ensaios em câmara anecoica.....	47
4.3	Resultados dos ensaios em câmara reverberante	57

4.4	Principais Resultados	58
4.4.1	Principais resultados do ensaio em câmara acústica vertical.....	58
4.4.2	Principais resultados do ensaio em câmara anecoica.....	58
4.4.3	Principais resultados do ensaio em câmara reverberante.....	59
4.4.4	Variação do nível de pressão sonora e coeficiente de absorção sonora.....	59
5	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	62
5.1	Principais Conclusões	62
5.2	Trabalhos futuros	63
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
	ANEXOS	A-1

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Cobertura verde tradicional (adaptado de EM@, 2017).	11
Figura 2.2 – Cobertura verde intensiva (retirado de FV@, 2017).....	13
Figura 2.3 – Cobertura verde extensiva (retirado de PV@, 2017).	14
Figura 2.4 - Cobertura verde semi-intensiva (retirado de EC@, 2017)	14
Figura 3.1 – Relva (direita). Sedum (esquerda).	19
Figura 3.2 -Sistema de cobertura verde com XPS (esquerda) (adaptado de EM@, 2017); sistema de cobertura verde com ICB (direita) (adaptado de EM@, 2017).....	22
Figura 3.3 - Fases de montagem das coberturas verdes estudadas.....	22
Figura 3.4 - Fases de montagem das coberturas verdes estudadas.....	22
Figura 3.5 - Esquema com pontos onde se efetuaram medições (esquerda); foto da câmara anecoica contendo a estrutura de madeira e um tapete vegetal (direita).	30
Figura 4.1 - Valores de índice de redução sonora R (* Inclui uma tela de resistência mecânica colocada sob o isolamento;** Inclui um filtro;*** Inclui uma manta pitonada e um filtro).....	37
Figura 4.2 - Comparação de valores de R da laje de referência, ICB STD 100, ICB MD 100 e XPS 100. (* Inclui uma tela de resistência mecânica colocada).	38
Figura 4.3 - Comparação de valores de R da laje de referência com valores de R de ICB MD 100 com 7,5 cm de substrato e XPS com 7,5 cm de substrato (esquerda) e valores de R de ICB MD 100 com 10 cm de substrato e de XPS com 10 cm de substrato (direita). (** Inclui um filtro; *** Inclui uma manta pitonada e um filtro).....	38
Figura 4.4 - Comparação de valores de R da laje de referência com valores de R de ICB MD 100 com 10 cm de substrato e relva e XPS com 10 cm de substrato e relva (esquerda) e valores de R de ICB MD 100 com 10 cm de substrato e sedum e de XPS com 10 cm de substrato e sedum (direita).	39
Figura 4.5 - Comparação de valores de R da laje de referência com valores de R de ICB MD 100 com 10 cm de substrato e relva e ICB MD 100 com 10 cm de substrato e sedum (esquerda) e valores de R de XPS com 10 cm de substrato e relva e XPS com 10 cm de substrato e sedum (direita).	39

Figura 4.6 – Acréscimo do índice de redução sonora ΔR (* Inclui uma tela de resistência mecânica colocada sob o isolamento;** Inclui um filtro;*** Inclui uma manta pitonada e um filtro).....	41
Figura 4.7 – Comparação de valores de ΔR para ICB STD 100, ICB MD 100, XPS 100 (* Inclui uma tela de resistência mecânica colocada sob o isolamento).....	42
Figura 4.8 - Comparação de valores de ΔR . ICB e XPS com 7,5 cm de substrato (esquerda). ICB e XPS com 10 cm de substrato (direita). (** Inclui um filtro; *** Inclui uma manta pitonada e um filtro).....	42
Figura 4.9 - Comparação de valores de ΔR de ICB e XPS com 10 cm de substrato e relva (esquerda) e ICB e XPS com 10 cm de substrato e sedum (direita).....	43
Figura 4.10 - Comparação de valores de ΔR de ICB MD 100 com 10 cm de substrato e relva e ICB MD 100 com 10 cm de substrato e sedum (esquerda) e XPS com 10 cm de substrato e relva e XPS com 10 cm de substrato e sedum (direita).....	44
Figura 4.11- Medição dos níveis de pressão sonora em câmara anecoica, apenas com a estrutura de madeira.....	45
Figura 4.12- Medição dos níveis de pressão sonora em câmara anecoica, com a presença da estrutura de madeira e sobre esta o tapete de relva.....	46
Figura 4.13 - Medição dos níveis de pressão sonora em câmara anecoica, com a presença da estrutura de madeira e sobre esta o tapete de sedum.	47
Figura 4.14 – Variação dos valores de níveis de pressão sonora. Valores de referência/Valores com amostra de relva.	48
Figura 4.15 - Variação dos valores de níveis de pressão sonora. Valores de referência/Valores com amostra de relva. Alinhamento de pontos na horizontal.....	49
Figura 4.16 - Variação dos valores de níveis de pressão sonora. Valores de referência/Valores com amostra de relva. Alinhamento de pontos na vertical.	50
Figura 4.17 - Variação dos valores de níveis de pressão sonora. Valores de referência/Valores com amostra de sedum.....	51
Figura 4.18 - Variação dos valores de níveis de pressão sonora. Valores de referência/Valores com amostra de sedum. Alinhamento de pontos na horizontal.	52
Figura 4.19 - Variação dos valores de níveis de pressão sonora. Valores de referência/Valores com amostra de sedum. Alinhamento de pontos na vertical.	53
Figura 4.20 - Variação dos níveis de pressão sonora em vários nos pontos 1, 2, 3 e 4.....	54
Figura 4.21 - Variação dos níveis de pressão sonora em vários nos pontos 5, 6, 7 e 8.....	55
Figura 4.22 - Variação dos níveis de pressão sonora em vários nos pontos 9, 10, 11 e 12.....	56
Figura 4.23 - Variação dos níveis de pressão sonora em vários nos pontos 13 e 14.....	57

Figura 4.24 – Coeficiente de absorção sonora, α	57
Figura 4.25 - Variação de nível de pressão sonora e coeficiente de absorção sonora para os pontos 5, 6 e 7, para a relva.	60
Figura 4.26- Variação de nível de pressão sonora e coeficiente de absorção sonora para os pontos 8, 9 e 10, para a relva.	60
Figura 4.27 - Variação de nível de pressão sonora e coeficiente de absorção sonora para os pontos 5, 6 e 7, para o sedum.	61
Figura 4.28 - Variação de nível de pressão sonora e coeficiente de absorção sonora para os pontos 8, 9 e 10, para o sedum.....	61

SIMBOLOGIA

Letras maiúsculas latinas

A Área de absorção equivalente

A₁ Área de absorção sonora equivalente da câmara reverberante vazia

A₂ Área de absorção equivalente da câmara reverberante com o provete a ensaiar

A_T Área de absorção equivalente do provete de ensaio

C Fator de adaptação do espectro do ruído rosa (espectro 1)

C₁₀₀₋₅₀₀₀ Fator de adaptação do espectro do ruído rosa (espectro 1), para a gama de frequências 100 Hz a 5000 Hz

C_{tr} Fator de adaptação do espectro do ruído de tráfego (espectro 2)

C_{tr100-5000} Fator de adaptação do espectro do ruído de tráfego (espectro 2), para a gama de frequências 100 Hz a 5000 Hz

Hz Hertz

k Índice correspondente as bandas de um terço de oitava entre os 100 Hz e os 5000 Hz

L Nível sonoro médio corrigido para a banda de frequência em análise

L₁ Nível de pressão sonora obtido sem a camada vegetal

L₂ Nível de pressão sonora com a camada vegetal

L_{1e} Nível sonoro médio na camara emissora, para a banda de frequência

L_{2r} Nível sonoro médio na camara recetora, para a banda de frequência

L_b Nível sonoro médio produzido pelo ruído de fundo

-
- L_{i1} Nível sonoro para a frequência i e para o espectro 1
- L_{i2} Nível sonoro para a frequência i e para o espectro 2
- L_{k1} Nível sonoro para a frequência i e para o espectro 1, para uma gama de frequências mais alargada, de 100 HZ a 5000 Hz
- L_{k2} Nível sonoro para a frequência i e para o espectro 2, para uma gama de frequências mais alargada, de 100 HZ a 5000 Hz
- L_{sb} Nível sonoro médio medido com a fonte a funcionar e o ruído de fundo
- R Índice de isolamento aos sons de condução aérea
- R_i Isolamento sonoro normalizado para a frequência i
- R_w Valor único do índice de isolamento aos sons de condução aérea
- S Área do provete de ensaio
- S_e Área do elemento de ensaio
- T Tempo de reverberação médio
- T_1 Tempo de reverberação da câmara vazia
- T_2 Tempo de reverberação da câmara com o provete de ensaio
- V Volume da câmara reverberante vazia
- V_R Volume da câmara recetora
- X_i Valor medido para cada frequência

Letras minúsculas latinas

- c_1 Velocidade de propagação do som no ar à temperatura t_1
- c_2 Velocidade de propagação do do som no ar à temperatura t_2
- cm Centímetros

dB Decibel

i Índice correspondente as bandas de um terço de oitava entre os 100 Hz e os 3150 Hz;

m Metros

m² Metros quadrados

m³ Metros cúbicos

m/s Metros por segundo

m⁻¹ Metros recíprocos

m₁ Coeficiente de atenuação devido à presença do ar

m₂ Coeficiente de atenuação devido à presença do ar

Letras gregas

α Coeficiente de absorção

α_s Coeficiente de absorção sonora

ΔL Diferença entre níveis sonoros

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento do tema

Desde a antiguidade até aos dias de hoje, quer acidentalmente quer por opção, temos observado a existência de coberturas verdes. Dos jardins suspensos da Babilónia às habitações vikings, são vários os exemplos do uso das coberturas verdes e não apenas por razões estéticas, mas também por se lhes conhecerem outras boas características tais como boas propriedades isolantes.

Na atualidade verifica-se um crescimento extremamente exacerbado dos meios urbanos pelo que surgem novas preocupações como a preservação do ambiente e a sustentabilidade do ambiente construído. Atendendo a tal, começou a existir um interesse maior neste tipo de coberturas devido ao seu potencial para aumentar a qualidade de vida nas cidades.

Do crescimento dos meios urbanos advêm inúmeros problemas, sobretudo porque este não tem sido controlado nem organizado. Pudemos, sobretudo desde a revolução industrial, testemunhar um êxodo rural para centros urbanos muito significativo. Tal levou a um aumento contínuo da população urbana e de todo o tipo de consumos ligados às necessidades da população, tais como gastos energéticos e hídricos e aumento da área construída que, como não poderia deixar de ser trouxeram consequências nefastas. Destas, podem-se salientar o aumento da produção de dióxido de carbono e de outros poluentes, aumento das áreas impermeáveis, alterações climáticas, picos de chuva, diminuição da biodiversidade e o aumento dos diversos tipos de poluição.

Recentemente, tem-se considerado as coberturas verdes como meio de mitigação de alguns dos problemas suprarreferidos. As coberturas verdes são sistemas construtivos caracterizados pela colocação de uma camada vegetal sobre a laje ou sobre telhados tradicionais.

Tem-se assistido a um aumento dos estudos realizados que visam evidenciar os benefícios ambientais, sociais e económicos que este tipo de coberturas providencia. Até agora entre os benefícios ambientais encontrados estão: o aumento da biodiversidade urbana, o controlo da temperatura urbana (mitigação da ilha de calor, cujo conceito é explicado na página 16), o

controlo e gestão de águas pluviais, aumento da produção de oxigénio e decréscimo da concentração de dióxido de carbono. A evidência dos inúmeros benefícios que as coberturas verdes podem trazer para o ambiente urbano, faz com que estas façam parte da estratégia ambiental das cidades modernas, sendo já uma obrigação em cidades como Copenhaga, e altamente incentivadas por diversos governos um pouco por todo o mundo (ACNV@, 2017).

Por outro lado, com o aumento das zonas urbanas e com o desenvolvimento insustentável destas o ruído tem vindo a aumentar, criando assim incomodidade. É de tal modo preocupante que se encontra relacionado com o aparecimento de alguns efeitos nocivos na saúde humana, tais como: perda auditiva, alterações do ritmo cardíaco e respiratório, stress entre outros.

Revela-se então uma prioridade a mitigação do ruído. Esta pode ser feita de muitos modos, dos quais se destacam os meios naturais tais como a introdução de superfícies vegetais em fachadas e topos de edifícios, pilhas de pedras enjauladas (gabions), cintas vegetais, barreiras de solo, etc.. A escolha do modo de redução de ruído depende de fatores como o meio circundante; urbano ou rural, do espaço circundante disponível, da posição do recetor, a frequência do som emitido entre outros (Tadeu et al., 2010).

Surge então o interesse pelas coberturas verdes para reduzir ruído, quer através da absorção sonora proporcionada pela cobertura verde, reduzindo o ruído exterior, quer através do aumento de isolamento sonoro da cobertura, contribuindo para a redução de ruído no interior.

Esta dissertação aborda o uso de coberturas verdes como meio de mitigação do ruído urbano.

1.2 Objetivos

O presente trabalho insere-se no âmbito de dois projetos, um em co promoção, “GreenUrbanLiving – Sistemas multifuncionais baseados em aglomerados de cortiça expandida para a construção de coberturas verdes e fachadas vivas” e um projeto FCT “Conceção e caracterização de coberturas verdes e fachadas vivas construídas com sistemas estruturados em cortiça natural”. Estes dois projetos têm como finalidade a conceção, o desenvolvimento técnico, a prototipagem e a validação final de sistemas multifuncionais de coberturas verdes e fachadas vivas.

Nestes projetos pretende-se estudar a possibilidade de introduzir aglomerado de cortiça expandida (ICB) para substituição da camada de isolamento térmico e dos elementos de drenagem e retenção de água utilizados nos sistemas de coberturas verdes tradicionais. No presente trabalho, estudaram-se vários aspetos associados à atenuação de ruído provocada por coberturas verdes.

Um dos objetivos estabelecidos foi avaliar a contribuição das várias camadas constituintes da cobertura verde para o isolamento a sons aéreos da cobertura. Foram estudadas coberturas com duas constituições distintas, uma que integrou o sistema convencional de isolamento térmico e drenagem e retenção de água e outra que integrou uma camada de ICB para desempenhar as funções de isolamento térmico, drenagem e retenção de água. Para o efeito, foram realizados ensaios, em câmaras acústicas verticais, que permitiram a determinação do isolamento sonoro a sons de condução aérea.

Outro dos objetivos foi tentar perceber qual a contribuição da cobertura verde na diminuição dos níveis sonoros no ambiente exterior. Nesta parte do estudo, analisou-se apenas a contribuição do tapete vegetal, uma vez que, pelo facto de ser contínuo, é o principal elemento que contribui para a absorção sonora como já foi verificado num estudo anterior (Ângelo, 2017). Para verificar qual a diminuição do nível sonoro gerada pela cobertura verde, instalou-se uma estrutura elevada (paralelepípedica), no interior de uma câmara semi-anecoica, no topo da qual foi instalado o tapete vegetal. Na presença de uma fonte sonora, foram efetuadas medições do nível sonoro, em vários pontos, em duas situações distintas, com e sem a instalação do tapete vegetal. Uma vez que a diminuição do nível sonoro depende do coeficiente de absorção sonora do tapete vegetal, este parâmetro foi medido com o tapete instalado numa câmara reverberante.

1.3 Organização da dissertação

A presente dissertação está dividida em cinco capítulos, o presente que esclarece o âmbito e os objetivos do trabalho fazendo referência ao conteúdo dos restantes capítulos.

O segundo capítulo inclui a revisão bibliográfica, na qual são referidos estudos realizados anteriormente dentro do mesmo âmbito, explicando conceitos básicos e fazendo uma breve introdução.

No terceiro capítulo são descritos os trabalhos experimentais e os procedimentos a realizar para a obtenção dos parâmetros desejados.

No quarto capítulo são expostos os resultados obtidos nos ensaios para além de que também é efetuada uma análise crítica aos mesmos, como forma de encontrar um suporte firme para a formulação das conclusões.

O quinto capítulo apresenta as principais conclusões e aspetos que podem ser alvo de desenvolvimentos futuros para a utilização prática dos sistemas e materiais estudados.

2 COBERTURAS VERDES

Neste capítulo pretende-se apresentar uma breve introdução às coberturas verdes, referenciar trabalhos anteriormente realizados e expor alguns conceitos pertinentes para o presente trabalho.

2.1 Introdução

Em 1968, na conferência intergovernamental para uso racional e conservação da biosfera, promovida pela UNESCO, surgem as primeiras discussões acerca do desenvolvimento ecologicamente sustentável. Já em 1987, na publicação do relatório de Brundtland pela comissão mundial sobre o meio ambiente e desenvolvimento, foi criado pela primeira vez o conceito de “desenvolvimento sustentável”. Chegando então a 1994, Charles Kibert define o conceito de “construção sustentável”, como a criação e manutenção responsáveis de um ambiente construído saudável, baseado no uso eficiente de recursos e em princípios ecológicos. Desde 2010 é obrigatório, na cidade de Copenhaga, que todas as novas coberturas com inclinação inferior a 30°, incluindo as coberturas planas, tenham vegetação. Mais recentemente, em 2015, na França foi aprovada uma lei que exige que as coberturas de novos edifícios em zonas comerciais sejam parcialmente cobertas por plantas ou sistemas de painéis solares.

Como se tem vindo a constatar o desenvolvimento urbano insustentável afeta o modo e qualidade de vida da humanidade e do meio ambiente. Estando a indústria da construção civil diretamente ligada a este fator têm-se vindo a desenvolver novas tecnologias e práticas na engenharia civil, de modo a reduzir os impactos negativos que se têm sentido.

As coberturas verdes, ainda que não sendo uma tecnologia nova, têm vindo a evoluir e são lhes reconhecidas variados benefícios, tornando-se assim uma boa alternativa às coberturas convencionais que usam apenas materiais sintéticos. Os benefícios gerados por estas podem dividir-se em três tipos: ambientais, económicos e sociais. Entre os benefícios ambientais proporcionados pelas coberturas verdes encontram-se: o aumento da biodiversidade urbana, o controlo da temperatura urbana (mitigação da ilha de calor), o controlo e gestão de águas pluviais, aumento da produção de oxigénio e decréscimo da concentração de dióxido de

carbono. A nível económico diminui a energia consumida na climatização de edifícios e reduz caudais pluviais a drenar. Por fim os benefícios sociais, entre os quais a criação de espaços verdes nas cidades, a reaproximação do ser humano ao meio ambiente e a melhoria da qualidade do ar.

2.2 Revisão Bibliográfica

Em 2008 a propagação do som em coberturas verdes intensivas e extensivas foi numericamente estudada, recorrendo ao método das diferenças finitas no domínio do tempo, por Renterghem, T. V. e Botteldooren, D.. Para simularem a propagação do som na camada de substrato usaram o modelo de Zwicker e Kosten. A existência de cobertura verde é interessante, sobretudo para ruas estreitas e de edifícios altos (street canyon) e vai ao encontro do conceito de locais calmos, no entanto esta configuração tem um efeito limitado. Puderam observar efeitos positivos da cobertura verde relativamente a coberturas rígidas e verificaram que o tipo de fonte se mostrou irrelevante ao considerar este parâmetro particular. Para coberturas verdes extensivas, encontraram um pico de atenuação pronunciado ao variar a espessura da camada, levando a uma redução máxima de até 10 dB, em relação a um telhado acusticamente rígido, para a banda de oitava de 1000 Hz e observaram uma boa eficiência geral para uma espessura máxima da camada (15-20 cm) para este tipo de cobertura verde. Para coberturas verdes intensivas com uma espessura de camada de substrato superior a 20 cm, o que é comum, os efeitos positivos deixam de ser influenciados pela espessura do substrato.

Com o intuito de reduzir a carga sonora proveniente do tráfego rodoviário nas fachadas com recurso a coberturas verdes, Renterghem, T. V. e Botteldooren, D. (2009) realizaram uma investigação, para determinar numericamente, através do método das diferenças finitas no domínio do tempo, a influência de uma cobertura verde na redução do ruído de tráfego nas fachadas, quando estes se encontram a uma curta distância.

Puderam observar efeitos positivos devidos à presença de coberturas verdes em determinadas partes das fachadas que não estavam diretamente expostas ao som. Do estudo, verificaram que era necessária uma área de cobertura verde considerável, para obter reduções significativas do ruído de tráfego. Foi constatado que com o aumento da velocidade do tráfego, a influência da cobertura verde para a mitigação do ruído aumenta. Nas situações em que as ruas são estreitas, a carga acústica na fachada não exposta é francamente influenciada tanto pela inclinação da cobertura como pela presença de uma cobertura verde. A velocidade dos veículos mostrou-se menos influente nas ruas estreitas do que na configuração em terraço. Ficou claro que o tipo de telhado e a cobertura do telhado são parâmetros importantes para a qualidade acústica dos edifícios e que devem ser considerados durante o dimensionamento do edifício e o planeamento

do espaço, especialmente quando o tráfego rodoviário está situado perto das fachadas do edifício.

Wong, N. H. et al. (2010) preocuparam-se com a exposição dos edifícios e dos seus ocupantes ao ruído provocado pelo tráfego rodoviário. Deste modo avaliaram acusticamente os sistemas verticais verdes para a construção de paredes. Neste trabalho estudaram oito sistemas verticais verdes instalados em Hortpark, Singapura e um outro instalado numa câmara reverberante. Para os oito primeiros, avaliaram os seus impactos acústicos sobre a perda por inserção sonora de paredes de construção. A experiência mostrou uma forte atenuação do ruído em baixas a médias frequências devido ao efeito absorvente do substrato, enquanto que para altas frequências revelou uma menor atenuação devido à dispersão das plantas. Para o sistema vertical verde instalado na câmara reverberante, o objetivo foi determinar o coeficiente de absorção sonora do sistema, que se verificou ter um dos valores mais elevados quando comparado com outros materiais de construção e mobiliário. Para além disso, verificaram que o coeficiente de absorção sonora aumenta com o aumento das frequências e com o aumento da densidade de vegetação na cobertura. Também se mostrou uma solução eficaz para a preservação do silêncio e privacidade da fala em ambientes interiores. Os resultados demonstraram ainda que os benefícios acústicos destes sistemas em ambiente tropical são promissores.

Para obter uma perda por inserção razoável, tem de se assegurar que não existem espaços vazios dentro do sistema vertical verde que permitam a transmissão de ruído sem absorção significativa ou dispersão.

Chegaram à conclusão que a estrutura, materiais e dimensões dos painéis, composição e profundidade e ainda o teor de humidade do substrato bem como as plantas existentes afetam o comportamento acústico.

Renterghem, T. V., Botteldooren, D. (2011) apresentaram, para 5 casos, medições in-situ de propagação sonora em coberturas verdes extensivas e planas. As medições foram realizadas imediatamente antes e após a colocação da cobertura verde, em condições secas, com uma configuração fonte-recetor idêntica para ambas as situações, permitindo uma estimativa direta do efeito acústico. Concluíram que existia uma acentuada redução sonora nos locais onde apenas chegavam ondas difratadas, quando comparadas às coberturas tradicionais.

Yang, H. S. et al. (2012) estudaram os efeitos acústicos de sistemas de coberturas verdes ao nível da rua. Como exemplo deste tipo de cobertura temos a cobertura de parques de estacionamento subterrâneos nas quais é importante o estudo de vários parâmetros, dos quais se destaca o estudo das ondas sonoras difratadas. Neste trabalho realizaram medições em câmara semi-anecoica para sistemas de cobertura verde constituídos por substratos de Zinco e

de pedra calcária, colocados em tabuleiros. Os parâmetros avaliados foram a área, a profundidade, o tipo e posição da cobertura verde e o tipo de vegetação. Os resultados demonstraram que este género de cobertura verde é eficaz a reduzir o nível de pressão sonora do lado do recetor. Verificaram que a posição das coberturas verdes afeta o padrão de redução de nível de pressão sonora de forma diferente para diferentes frequências. Criaram também um simulador numérico para casos selecionados. As conclusões do estudo foram que a atenuação do nível de pressão sonora aumenta com o aumento da quantidade de tabuleiros usados em simultâneo ainda que existam variações devido ao efeito da geometria. A atenuação extra do nível de pressão sonora por parte do substrato comparado só com o efeito geométrico pode ser de até 9,5 dB em determinadas frequências. De entre os parâmetros considerados o efeito da espessura e tipo de substrato é relativamente pequeno quando comparado com o do sistema completo.

Num estudo realizado por Renterghem, T. V. et al. (2013), vemos que estes tiveram como preocupação a propagação do ruído do tráfego rodoviário em direção a pátios interiores de edifícios. Os resultados deste estudo numérico evidenciam que, de entre soluções como paredes verdes, coberturas verdes, barreiras verdes nas bordas dos telhados ou a combinação entre eles, as coberturas verdes são as que têm o maior potencial para mitigar o ruído nos pátios interiores e foram identificadas combinações acusticamente favoráveis entre formatos de telhados e coberturas verdes. As fachadas verdes demonstraram ser mais eficientes em cidades com ruas estreitas e com materiais de fachada acusticamente rígidos. Colocar vegetação nos andares superiores na rua e nas fachadas dos pátios é eficiente para a redução de ruído. As barreiras verticais verdes com baixa altura mostraram ser eficazes quando são colocadas várias barreiras e cujas suas faces estão a absorver. O uso de soluções combinadas tem um menor efeito do que se comparado com o efeito da soma linear das soluções isoladas. Concluíram que é interessante o uso combinado de coberturas verdes ou paredes verdes com barreiras verdes.

Asdrubali, F. et al. (2014) estudaram a absorção sonora em plantas tropicais. A escolha das plantas teve em conta a semelhança de condições de humidade, temperatura e luminosidade entre o seu meio natural e o interior das habitações uma vez que se destinam a uso interior. As plantas usadas foram: fetos, begónias, hera, soleirolia e avenca enquanto que o substrato usado era composto por fibras de coco e perlite. Este apresentava boa absorção sonora devido à sua alta porosidade. Determinaram o espectro do coeficiente de absorção usando um tubo de impedância de 100 mm de acordo com a ISO 10534-2 e o espectro do coeficiente de absorção com incidência aleatória usando uma câmara de reverberação de acordo com a ISO 354. O objetivo deste estudo era verificar se é viável substituir tratamentos acústicos tradicionais por painéis de plantas de modo a melhorar a qualidade acústica em espaços interiores. Com esta pesquisa concluíram que tanto para uma incidência normal como para um campo difuso, o

principal absorvente acústico é o substrato. As plantas só melhoram o desempenho se forem em grande número, podendo até ser prejudiciais. Das plantas estudadas, as que se revelaram ser mais eficientes foram: a soleirolia com uma absorção sonora acima dos 90 % para uma incidência normal e os fetos com uma absorção sonora acima de 98%. A planta mais eficiente é o feto melhorando em 25% a absorção acústica do substrato.

Azkorra, Z. et al. (2015) avaliaram paredes verdes como sistemas de isolamento acústico passivo em construções. Para juntar informação sobre a contribuição dos sistemas verticais verdes na redução de ruído, em especial das paredes modulares verdes, foram conduzidos dois ensaios laboratoriais distintos. Os principais resultados foram a média dos valores de índice de redução sonora, R_w de 15 dB e a média do coeficiente de absorção sonora, α de 0,4. Os resultados a baixas frequências foram particularmente interessantes quando comparados com alguns materiais. Puderam concluir que as paredes verdes têm um potencial não desprezável como ferramenta de isolamento sonoro, em edifícios.

Como anteriormente foi referido podemos mitigar o ruído de variadas formas. Renterghem, T. V. et al. (2015) fizeram então uma revisão dos modos de como podemos reduzir o ruído de tráfego recorrendo a meios naturais. Os dispositivos naturais que estudaram foram: superfícies vegetais em fachadas ou topos de edifícios, pilhas de pedras enjauladas (gabions), cintas vegetais, bermas de terra e diferentes tipos de superfície de solo. Nesta revisão testaram em laboratório e ou numericamente e discutiram experiências in-situ com o fim de avaliar ou melhorar a atenuação do ruído. Concluíram que as estruturas naturais consideradas isoladamente ou complementadas com outros dispositivos oferecem uma redução do ruído e que a sua aplicabilidade depende fortemente do ambiente envolvente (urbano, suburbano ou rural), do espaço disponível e da posição do recetor (distância em relação à altura da estrada e do recetor).

Renterghem, T. V., Botteldooren, D. (2014) estudaram a influência da chuva numa cobertura verde a nível sonoro. Previamente, fizeram experiências laboratoriais e in-situ, bem como simulações numéricas de modo a avaliar a potencialidade de uma cobertura verde para reduzir as ondas sonoras difratadas. Ao realizarem tais experiências era sabido que o desempenho acústico duma cobertura verde é influenciado pela presença/ausência de água, devida à porosidade do substrato nele existente. O ensaio de propagação de som, que decorreu ao longo de 46 dias, consistiu na monitorização da diferença de nível de pressão sonora entre dois microfones. Para tal colocaram o equipamento necessário perto da borda de um edifício de 6 metros de altura, com uma cobertura verde extensiva em que o substrato tinha 7 centímetros de espessura e em determinados instantes emitiram sinais sonoros permitindo monitorizar a atenuação entre um microfone de referência colocado perto do solo e um microfone posicionado

em cima da cobertura a 15,3 metros do bordo (em planta). Foi utilizada uma metodologia de processamento de sinal dedicada para eliminar o ruído perturbador, garantindo um número suficiente de pontos de dados com uma boa relação sinal / ruído. Os parâmetros meteorológicos e o teor de humidade do substrato foram medidos continuamente e combinados com as medições de nível sonoro. A difração sonora sobre uma cobertura verde mostrou ser sensível ao teor de humidade do substrato para o intervalo de frequências entre 250 Hz e 1250 Hz. A diferença na atenuação do ruído, entre um estado bastante seco (0,1 m³ / m³) do substrato e o teor de água máximo observado (próximo da saturação, 0,33 m³ / m³) pode variar até 10 dB. Para frequências baixas, o coeficiente de absorção é baixo e a presença de água não tem influência, já em frequências altas a borda da cobertura pode exercer um papel importante. Com base nos dados medidos para a cobertura verde em estudo, o impacto do teor de água do substrato na redução do nível de pressão sonora do tráfego rodoviário ponderado A é previsto ser inferior a 2 dB(A).

Foi realizada por parte de Connelly, M. e Hodgson, M. (2015) uma investigação experimental sobre a absorção sonora de coberturas verdes. Para o estudo usaram um tubo de impedância de modo a obter o coeficiente de absorção com incidência normal e um método de dois microfones (validado na câmara anecoica) para determinar o coeficiente de absorção em campo difuso. Através do tubo de impedância mediram o coeficiente de absorção com incidência normal dos substratos e seus constituintes e perceberam que a absorção aumenta com a percentagem de matéria orgânica e diminui com o teor de humidade e a compactação e ainda que os substratos contribuem significativamente para a absorção sonora com coeficientes a variar entre os 0,03 para 250 Hz e os 0,89 para os 2000Hz. Desenvolveram ainda um modelo de regressão multivariável para prever a capacidade de absorção dos substratos. Com o método de dois microfones determinaram os coeficientes de absorção em campo difuso em parcelas com e sem plantas. Denotou-se que a absorção sonora aumenta com o aumento da profundidade do substrato (sem vegetação) e diminui com a adição de plantas. O coeficiente de redução sonora, para parcelas de coberturas verdes com diferentes plantas e estratos com profundidades de 50-200 mm, tem valores entre 0,2 a 0,63, avaliados em 2 anos. Concluíram que a capacidade de absorção sonora de coberturas verdes depende do tipo de plantas utilizadas, da profundidade do substrato e do teor de humidade. Confirmaram que as coberturas verdes são um tipo de envolvente com boas características de absorção sonora e quantificaram alguns valores e condições de modo a otimizar a absorção sonora por parte da cobertura verde. O modelo de regressão multivariável criado pode ser utilizado para avaliar os coeficientes de absorção dos substratos em termos de especificações de dimensionamento, tais como as proporções das partes constituintes do mesmo.

Em 2017, Carvalho, F. realizou um estudo experimental, no qual pretendia avaliar a capacidade drenante do aglomerado de cortiça expandida (ICB). Era do interesse do estudo saber a viabilidade do aglomerado de cortiça expandida enquanto substituto das soluções tradicionais de drenagem em coberturas verdes. Realizou dois procedimentos experimentais: ensaio para drenagem vertical e ensaio de drenagem horizontal, nos quais estudou aglomerados de cortiça expandida de várias densidades e espessuras. Do primeiro ensaio acima citado, concluiu que: o ICB tem boas capacidades drenantes, sendo o ICB STD (densidade standard) o mais eficiente; a drenagem por parte do ICB STD é cerca de cinco vezes mais rápida que no ICB MD (densidade média) e onze vezes mais célere que no ICB HD (densidade elevada); a permeabilidade é influenciada pela espessura das amostras; nos provetes com uma única camada drenante o STD50 (densidade standard com 50 mm de espessura) foi o mais eficiente; o substrato contribui de modo não desprezável para a retenção de água; em sistemas completos (constituídos por drenante, filtro e substrato) o STD50 foi igualmente o mais eficaz e o ICB mostrou ser mais competente na drenagem quando comparado com provetes em Floradrain FD-25-E (solução drenante corrente). Em relação ao ensaio de drenagem horizontal averiguou que: as soluções de ICB analisadas apresentavam caudais de drenagem máximos superiores ao regulamentar a nível de precipitação máxima a considerar no dimensionamento de coberturas em Portugal (RGSPDADAR); as soluções de ICB drenaram caudais máximos superiores à solução de FD-25-E e nas soluções ICB STD50 e ICB MD50 verificou alguns comportamentos desadequados.

Também em 2017, Ângelo, M. avaliou acusticamente componentes constituintes de coberturas verdes. Neste estudo analisou experimentalmente as características de absorção sonora de dois substratos e dois tapetes vegetais para coberturas verdes. Realizou ensaios em tubo de impedância e em câmara reverberante. Os ensaios realizados em tubo de impedância, sob a incidência de ondas sonoras normais ao substrato, foram realizados fazendo variar os seguintes parâmetros: a constituição, a espessura, o teor de humidade e a compactação, relativamente ao substrato e a influência da vegetação foi estabelecida através de ensaios sem e com vegetação, estando esta última em várias fases do seu crescimento. Os ensaios em câmara reverberante, em condições de campo difuso, foram efetuados com provetes de grandes dimensões nos quais se fizeram variar as componentes que os constituíam. Avaliou a absorção sonora do substrato e a influência da vegetação, em vários estágios do seu desenvolvimento natural. Este estudo permitiu concluir que: o substrato com melhor desempenho ao nível da absorção sonora corresponde ao mais orgânico e o tapete vegetal que mais potencia a absorção sonora é o de sedum com herbáceas e gramíneas. Constatou ainda que o elemento mais absorvente é o substrato e que quando a este é adicionado o tapete vegetal, o mais vantajoso é aquele que possui uma estrutura menos densa, numa fase de crescimento moderada.

2.3 Constituição das coberturas verdes

As coberturas verdes para além de serem esteticamente agradáveis oferecem outros benefícios de cariz económico, social e ambiental. Estas devem ser construídas com o sistema correto, que promova a vegetação e proteja o edifício no qual estão inseridas.

Uma cobertura verde é um sistema constituído por diversas camadas. Tradicionalmente são constituídas por membrana de impermeabilização, barreira anti-raízes, camada de proteção, camada drenante, camada filtrante, substrato e cobertura vegetal (ver figura 2.1). No caso de coberturas invertidas, existe ainda uma camada de isolamento térmico acima da barreira anti-raízes.



Figura 2.1 – Cobertura verde tradicional (adaptado de EM@, 2017).

Seguidamente apresentam-se as características principais destas camadas.

Membrana de impermeabilização

É a camada adjacente à estrutura do edifício e que permite a sua estanquidade. É muito importante uma boa aplicação visto que protege o edifício de problemas de humidade e infiltrações devido também à humidade constante na cobertura verde. Os métodos, atualmente, mais utilizados são misturas líquidas ou telas.

Barreira anti-raízes

Corresponde à camada que visa a proteção da membrana de impermeabilização de danos provocados pelo crescimento de raízes das plantas da cobertura. Pode tratar-se de uma barreira física, tal como um tecido soldado à membrana de impermeabilização, ou químico como um inibidor de crescimento de raízes.

Camada de proteção

Tem como função principal evitar danos físicos na barreira de impermeabilização e na barreira anti-raízes. Também contribui para a retenção de água e nutrientes.

Camada drenante

É a camada que garante o escoamento da água existente em excesso no substrato. Há sistemas em que além de encaminhar a água, possuem pequenos depósitos para armazenamento de água. É uma camada muito importante para prevenir infiltrações por excesso de água, aliviar o peso da cobertura e tem alguma influência no melhoramento térmico do edifício.

Camada filtrante

Esta é a camada que fica entre o substrato e a camada drenante, não permitindo que os grânulos do substrato sejam escoados juntamente com a água. Retém também pequenas partículas como materiais orgânicos, que poderão ser utilizados pelas plantas. Deve ser de material resistente, podendo ser uma primeira proteção contra raízes mais curtas e moles, e química e biologicamente neutro (ZI@, 2017).

Substrato

O substrato é uma mistura leve, enriquecida com material orgânico, que retém a humidade. (António, J. 2015). É geralmente a maior camada da cobertura e tem de ser escolhido com base em vários parâmetros, tais como comportamento acústico e térmico e nível de retenção de água. Deve também ser adequado às plantas que irão ser utilizadas, tendo em conta a nutrição necessária, visto ser o suporte de vida destas, e também ter a capacidade de suportar as raízes.

Cobertura vegetal

Corresponde à camada mais superficial do sistema. É constituída por espécies vegetais que deverão ser escolhidas adequadamente para cada situação, respeitando a espessura do substrato, carga máxima suportada pela estrutura do edifício, manutenção desejada e também situações ambientais tais como o clima. A cobertura vegetal também tem um papel importante em relação

à proteção do edifício à exposição solar, provocando sombreamento e em relação à água, retendo alguma por absorção, e protegendo o substrato de lixiviação e erosão.

2.4 Tipos de coberturas verdes

Cobertura verde intensiva

É um sistema que necessita de uma estrutura de suporte mais resistente, pois é mais complexo e pesado visto requerer uma maior profundidade de substrato (46 a 61 cm), uma vez que irá albergar uma carga de vida vegetal maior. Requer maior manutenção, no entanto, será possível com este sistema, fazer autênticos jardins e ecossistemas complexos, criando também um espaço de lazer ao ar livre (António, J. 2015).



Figura 2.2 – Cobertura verde intensiva (retirado de FV@, 2017).

Cobertura verde extensiva

É um tipo de cobertura mais utilizado em coberturas de grande dimensão ou em aplicação em estruturas já existentes, que não foram devidamente projetadas para receberem cargas elevadas. Tem uma camada de substrato pequena (10 a 15 cm), logo, a camada vegetal será maioritariamente rasteira de baixa manutenção e com alta resistência às condições climáticas. Neste tipo de cobertura geralmente o acesso é só para manutenção (António, J. 2015).



Figura 2.3 – Cobertura verde extensiva (retirado de PV@, 2017).

Cobertura verde semi-intensiva

Esta é uma cobertura intermédia, representando um pequeno contributo de carga na estrutura e um tamanho moderado, visto ter uma espessura de substrato reduzido (mas maior que no sistema extensivo). Permite conjugar a instalação de um jardim (o que comporta uma maior manutenção que o sistema extensivo) mas sem provocar os problemas de sobrecarga do sistema intensivo, tornando-se assim um intermédio entre os dois, retirando vantagens de ambos.



Figura 2.4 - Cobertura verde semi-intensiva (retirado de EC@, 2017)

2.5 Vantagens das coberturas verdes

As coberturas verdes trazem vários benefícios ao meio envolvente onde estão inseridas. Além de serem esteticamente atraentes, as coberturas verdes, construídas com o sistema correto e adaptadas à especificidade do clima, oferecem muitos benefícios ecológicos, económicos e sociais (LN@, 2017). Em seguida são apresentados os principais benefícios das coberturas verdes.

Melhoria do microclima

As coberturas verdes criam um microclima muito benéfico nas zonas urbanas onde estão inseridas, uma vez que, arrefecem e aumentam os índices de humidade do ar que as circunda, melhorando assim significativamente o microclima nos grandes centros urbanos (LN@, 2017).

Redução da poluição atmosférica

Nas grandes cidades, o ar que se respira está muitas vezes carregado de partículas poluentes devido à grande concentração de veículos e à indústria nelas presentes. A vegetação que se encontra nas coberturas verdes, pode funcionar como um filtro ambiental, filtrando as partículas poluentes que se encontram no ar, melhorando assim significativamente a qualidade do ar (Renterghem, T. V. et al, 2013).

Retenção de águas pluviais

As coberturas verdes, ao contrário das habituais superfícies rígidas encontradas nos meios urbanos, permitem reter uma grande parte das águas das pluviais. O sistema de cobertura verde composto pelo substrato, vegetação e camada drenante, permite reduzir e atrasar os caudais de cheia nos sistemas de drenagem urbanos, prevenindo assim eventuais inundações. Além disso, o uso de coberturas verdes como regulador de caudais de cheia, permite também poupar na construção de saídas de água (LN@, 2017).

Melhoria do isolamento acústico

O isolamento acústico das coberturas verdes é outra grande vantagem em relação às superfícies rígidas. A vegetação que se encontra na cobertura é um bom isolador natural, absorvendo mais o som que as superfícies rígidas. As coberturas verdes reduzem a reflexão do som e aumentam o isolamento sonoro, característica esta muito útil nos grandes centros urbanos.

Melhoria do desempenho térmico

As coberturas verdes podem ser consideradas como uma técnica passiva de eficiência energética na construção de edifícios (Raposo, F.,2013). Estas têm uma capacidade reguladora da temperatura, aumentando a inércia térmica e atenuando os extremos de temperatura. Com esta característica reguladora, melhoram bastante o desempenho energético dos edifícios, reduzindo assim os custos de energia tanto em climas frios como em climas quentes.

Aumento da vida útil da impermeabilização

O sistema de cobertura verde protege a camada de impermeabilização dos edifícios contra a exposição a temperaturas extremas e contra os danos mecânicos e ainda contra os agentes erosivos. Assim, as coberturas verdes aumentam em grande medida a vida útil da camada de impermeabilização, poupando assim nos custos de manutenção das mesmas.

Redução do efeito “ilha de calor”

“Ilhas de calor” é a nomenclatura dada ao fenómeno climático que ocorre nas cidades com elevado grau de urbanização, onde a temperatura é superior às regiões rurais próximas. As coberturas verdes possuem características que contrariam este efeito. Devido à vegetação, absorvem a energia solar e ainda, aumentam a permeabilização do solo e o processo de evaporação, reduzindo assim o efeito de “ilha de calor”.

Criação de habitat natural

A implantação de coberturas verdes é também uma medida para aumentar os espaços verdes, muitas vezes escassos, das cidades. Estes novos espaços verdes fornecem por sua vez, novos habitats naturais a várias espécies de animais e promovem a biodiversidade dentro das cidades.

Proporcionam espaço adicional

Com o aumento de coberturas verdes, aumenta também o espaço útil da cidade, uma vez que, estas podem ser usadas para inúmeros fins, tais como, jardins, parques de lazer, campos de golfe, etc., aumentando bastante o espaço dentro dos grandes centros urbanos que, por si só já é bastante escasso.

2.6 Desvantagens das coberturas verdes

Ainda que sendo um sistema bastante eficiente, as coberturas verdes têm um custo associado elevado. Outra desvantagem a apontar é o facto de contribuir para um desempenho energético melhor apenas no andar da cobertura. Também necessitam de trabalhos de manutenção com uma regularidade superior à das coberturas convencionais. Estas coberturas, pela sua constituição, transferem maior peso à estrutura do edifício que as coberturas tradicionais.

3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

3.1 Introdução

Neste trabalho era objeto de estudo a atenuação sonora devido à existência de coberturas verdes, isto é, era objetivo saber se as coberturas verdes contribuem para a diminuição do ruído. Para tal foram realizados três procedimentos laboratoriais através dos quais se determinaram diferentes parâmetros. Os parâmetros determinados foram: níveis sonoros em diversos pontos com e sem a cobertura verde com a finalidade de perceber se esta reduz o ruído ambiente; o índice de redução sonora R e o respetivo valor único R_w , que permite saber a contribuição da cobertura verde para o isolamento a sons aéreos e o coeficiente de absorção sonora de modo a determinar qual a capacidade da cobertura verde para absorver som. Para a obtenção dos níveis sonoros em diversos pontos usou-se a câmara anecoica, para a determinação do índice de redução sonora R e o respetivo valor único R_w realizaram-se medições nas câmaras acústicas verticais e para a obtenção do coeficiente de absorção sonora recorreu-se à câmara reverberante.

Para a determinação do índice de redução sonora ensaiou-se uma cobertura verde convencional contendo um isolamento térmico e convencional em poliestireno extrudido (XPS) e uma camada drenante e de retenção de água em plástico e uma cobertura verde em que os dois últimos elementos mencionados foram substituídos por uma camada de aglomerado de cortiça expandido (ICB), e onde ainda se fez variar a espessura da camada de substrato. As camadas vegetais utilizadas foram uma mistura de espécies nativas da europa e algumas da zona mediterrânica, com 33 espécies de herbáceas, 4 espécies de sedum e 7 espécies de gramíneas (que se passa a designar por sedum) (figura 3.1 à direita) e uma constituída por plantas da espécie zoysia japónica (que se passa a designar por relva) (figura 3.1 à esquerda).



Figura 3.1 – Relva (esquerda). Sedum (direita).

Um dos pontos de interesse do projeto no qual se insere o estudo realizado nesta dissertação é a substituição da manta pitonada por ICB. Relativamente ao ICB é já sabido que este apresenta bom comportamento térmico, acústico e antivibrático. A sua incorporação torna-se ainda mais interessante uma vez que para além de servir como camada de isolamento este também funciona simultaneamente como camada drenante e de retenção (Carvalho, F., 2017).

Os ensaios experimentais foram realizados no laboratório de acústica do Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico para a Construção, Energia, Ambiente e Sustentabilidade (ITeCons).

Serve então o presente capítulo para descrever todos os processos laboratoriais realizados.

3.2 Técnicas experimentais

A componente experimental desta dissertação incidiu na preparação e realização de ensaios em câmara semi-anecoica, ensaios em câmaras acústicas verticais e em câmara reverberante.

3.2.1 Ensaio em Câmaras Acústicas Verticais

3.2.1.1 Princípio

O ensaio para determinar o índice de redução sonora R e o respetivo valor único R_w foi realizado em câmaras acústicas verticais.

O ensaio foi efetuado tendo em conta as seguintes normas: ISO 10140-1:2010 - ISO 10140-2:2010' ISO 10140-4:2010 ISO 10140-5:2010 ISO 717-1:2013. ISO 3382-2:2008 ISO 3382-2:2008 / Cor.1:2009. Estas fazem referência a regras de aplicação para produtos, procedimentos de medições e de apresentação de resultados, procedimentos de ensaios e requisitos para as

câmaras e equipamentos utilizados, procedimento de medição do tempo de reverberação e procedimento para obter o valor de R_w .

3.2.1.2 Equipamentos e Materiais

Os equipamentos utilizados no ensaio de isolamento a sons de condução aérea foram:

- Câmaras acústicas verticais IteCons
- Sistema de aquisição multianalisador Pulse – tipo 3560-C-T46 da marca Briel & Kjaer
- Amplificador – tipo 2739 da marca Briel & Kjaer
- Gerador de Sinal – tipo 131 da marca dBx
- Termohigrómetro, modelo Hygrolog HL-NT2-DP, da marca Rotronic
- Barómetro modelo 511, da marca Testo.
- Calibrador acústico, modelo 4231, da marca Briel & Kjaer
- Girafa giratória do tipo 3923, da marca Briel & Kjaer
- Microfones modelo 4190/4190-B, da marca Briel & Kjaer
- Fonte de ruídos aéreos, do tipo OMNIPOWER 4292, da marca Briel & Kjaer

Os materiais usados foram:

- Tela de resistência mecânica (ver características no anexo A-1)
- Filtro (geotêxtil - ver características no anexo A-1)
- Manta pitonada e drenante (ver características no anexo A-1)
- Aglomerado de cortiça expandida standard com 100 mm de espessura (ICB STD 100)
- Aglomerado de cortiça expandida de média densidade com 100 mm de espessura (ICB MD 100)

- Substrato (ver características no anexo A-1)
- Relva
- Sedum

3.2.1.3 Procedimento Experimental

Neste ensaio, determinou-se o isolamento a sons de condução aérea de dois sistemas de cobertura verde, um convencional e um não convencional, colocados sobre uma laje de betão armado de 14 cm de espessura. O sistema convencional é constituído por: laje, tela de resistência mecânica, poliestireno extrudido (XPS), manta pitonada e um filtro, substrato e camada vegetal (ver figura 3.2 à esquerda). O sistema de cobertura verde não convencional é constituído pela laje, tela de resistência mecânica, aglomerado de cortiça expandido (ICB), filtro, substrato e camada vegetal (ver figura 3.2 à direita). Em função das capacidades drenantes do ICB e dos estudos paralelos que estão a ser efetuados, poderia escolher-se ICB de densidade standard ou de densidade média. O ICB de densidade standard tem uma massa volúmica aparente no intervalo de 90 a 110 kg/m³ e o ICB de densidade média apresenta uma massa volúmica aparente entre 140 a 160 kg/m³. Inicialmente, determinou-se o isolamento sonoro dos dois tipos de cortiça e a solução final integrou o ICB que demonstrou melhores resultados. Ambos os sistemas descritos tinham uma área total de 3,56 m x 3,56 m, encontrando-se o seu perímetro, numa largura de 20 cm, apoiado no aro de ensaio. A abertura de ensaio apresenta dimensões livres de 3,16m x 3,16m, a que corresponde uma área de aproximadamente 10 m².

Para verificar a influência das camadas que constituem a cobertura verde no isolamento a sons de condução aérea, o ensaio foi sendo repetido à medida que se iam colocando determinadas camadas da solução. A cada colocação de uma camada eram também colocados os equipamentos e realizadas medições do nível sonoro. De uma forma resumida, o ensaio consiste em gerar um campo sonoro na câmara emissora e medir os níveis de pressão sonora na câmara emissora e na câmara recetora. Medem-se também o ruído de fundo e o tempo de reverberação na câmara recetora. Antes de se executar cada medição foram feitas leituras da temperatura, humidade relativa e pressão atmosférica no interior das câmaras acústicas.

Na figura 3.2 apresentam-se esquemas das coberturas verdes estudadas.



Figura 3.2 - Sistema de cobertura verde com XPS (esquerda) (adaptado de EM@, 2017); sistema de cobertura verde com ICB (direita) (adaptado de EM@, 2017).

Na figura 3.3 e 3.4 apresentam-se fotografias das diversas camadas.



Figura 3.3 - Fases de montagem das coberturas verdes estudadas.



Figura 3.4 - Fases de montagem das coberturas verdes estudadas.

Em ambos os sistemas de coberturas fizeram-se registos para duas espessuras diferentes de substrato e usaram-se duas camadas vegetais: sedum e relva.

Foram realizadas medições para as seguintes configurações:

- Laje Referência

- Laje + tela de resistência mecânica e ICB Std 100
- Laje + tela de resistência mecânica e ICB MD 100
- Laje + tela de resistência mecânica e ICB MD 100 + filtro e 7,5 cm de substrato
- Laje + tela de resistência mecânica e ICBMD100 + filtro e 10 cm de substrato
- Laje + tela de resistência mecânica e ICBMD100 + filtro e 10 cm de substrato + relva
- Laje + tela de resistência mecânica e ICBMD100 + filtro e 10 substrato + sedum

- Laje + tela de resistência mecânica e XPS 100
- Laje + tela de resistência mecânica e XPS 100 + manta pitonada, filtro e 7,5 cm de substrato
- Laje + tela de resistência mecânica e XPS 100 + manta pitonada, filtro e 10 cm de substrato
- Laje + tela de resistência mecânica e XPS 100 + manta pitonada, filtro e 10 cm de substrato + relva
- Laje + tela de resistência mecânica e XPS 100 + manta pitonada, filtro e 10 cm de substrato + sedum

Assim ao ter os resultados de uma configuração e da configuração seguinte, que terá uma nova camada, obtém-se a diferença de isolamento entre as mesmas, isto é o acréscimo de isolamento que essa nova camada oferece.

É de salientar que devido à pouca influência acústica que a tela de resistência mecânica oferece, esta foi colocada ao mesmo tempo que o ICB ou XPS 100, conforme a configuração, e assim sendo a tela e o ICB ou XPS 100 apenas formam uma camada. Devido ao mesmo fator, isto é

a influência acústica desprezável, a manta pintonada e o feltro foram colocados simultaneamente com o substrato de modo a estes três materiais constituírem uma só camada.

No caso da cobertura com ICB, o ICB MD 100 apresentou valores mais favoráveis do que o ICB STD 100 e, por isso, os ensaios prosseguiram apenas com a cortiça que deu melhores resultados.

3.2.1.4 Tratamento de dados

O tratamento dos dados consiste na utilização dos dados obtidos pelo software ao longo dos ensaios. Através destes dados obtiveram-se novas variáveis que permitiram chegar aos valores do índice de isolamento aos sons de condução aérea e às respetivas adaptações a espectros de referência.

Seguidamente apresentam-se as diversas variáveis.

Tempo de reverberação

O tempo de reverberação corresponde ao intervalo de tempo necessário para um decaimento de 60 dB após a interrupção da fonte, numa dada banda de frequências.

Este foi medido na câmara recetora de acordo com a norma suprarreferida ISO 3382-2 (T20). O ensaio foi efetuado com o objetivo de obter os tempos de reverberação em bandas de 1/3 de oitava, para posterior correção (ou normalização) da curva de isolamento sonoro.

Ruído de Fundo

O ruído de fundo obtém-se através da medição dos níveis de pressão sonora na câmara recetora com a fonte sonora desligada. Se estes níveis forem muito elevados poderão estar a contaminar os níveis sonoros medido na câmara recetora quando a fonte está ligada. Se isso acontecer, o ruído de fundo terá de ser descontado ao nível sonoro registado, como será explicado a seguir.

Nível médio de pressão sonora, corrigido com o ruído de fundo, para cada banda de frequência e para cada posição de fonte sonora

Este parâmetro obtém-se segundo:

Se o nível sonoro produzido pelo ruído de fundo for inferior ao nível sonoro medido considerando a fonte e o ruído de fundo em 15 dB, não se fazem correções;

Se a diferença entre estes dois níveis for inferior a 15 dB, mas superior a 6 dB, deve ser calculado o nível sonoro corrigido da seguinte forma:

$$L = 10 \log \left(10^{\frac{L_{sb}}{10}} - 10^{\frac{L_b}{10}} \right) \quad (3.1)$$

Em que:

L - Nível sonoro médio corrigido para a banda de frequência em análise (dB);

L_{sb} - Nível sonoro médio medido com a fonte a funcionar e o ruído de fundo (dB);

L_b - Nível sonoro médio produzido pelo ruído de fundo (dB).

Se a diferença entre aqueles níveis for menor ou igual a 6 dB, em qualquer das bandas de frequência, deverá ser efetuada uma correção de forma a subtrair 1.3 dB ao nível sonoro medido com a fonte sonora em funcionamento.

Área de absorção equivalente para cada banda de frequência

Esta variável obtém-se com a seguinte expressão:

$$A = 0,16 \frac{V_r}{T} \quad (3.2)$$

Na qual:

A - Área de absorção equivalente (m²);

V_r - Volume da câmara recetora (m³);

T - Tempo de reverberação médio (s)

Redução sonora para cada posição de fonte sonora

Para cada banda de frequência e para cada posição de fonte sonora (i), determinar o isolamento sonoro a sons aéreos:

$$R_i = L_{1e} - L_{2r} + 10 \log \left(\frac{S_e}{A} \right) \quad (3.3)$$

Onde:

L_{1e} - Nível sonoro médio na camara emissora, para a banda de frequência (dB);

L_{2r} - Nível sonoro médio na camara recetora, para a banda de frequência (dB);

S_e - Área do elemento de ensaio (m^2), que é igual a abertura de ensaio;

A - Área de absorção sonora equivalente da camara recetora (m^2)

Índice de isolamento aos sons de condução aérea

Cálculo da média do isolamento a sons de condução aérea, com n igual ao número de posições de fonte:

$$R = -10 \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{-\frac{10R_i}{10}} \quad (3.4)$$

A determinação do índice é feita de acordo com a norma ISO 717-1, através da comparação da curva de isolamento resultante das medições com uma curva de referência;

A curva de referência é definida para o intervalo de frequências compreendido entre 100 Hz e 3150 Hz, sendo os valores das ordenadas apresentados na seguinte tabela.

Frequência (Hz)	Valores de referência (dB)
100	33
125	36
160	39
200	42
250	45
315	48
400	51
500	52
630	53
800	54
1000	55
1250	56
1600	56
2000	56
2500	56
3150	56

Tabela 3.1-Valores da curva de referência.

O procedimento de comparação da curva obtida através de medições em bandas de um terço de oitava com a curva de referência é feito da seguinte forma:

a) Movimenta-se a curva de referência em intervalos de 1 dB na direção da curva de isolamento medida, até que a soma dos desvios desfavoráveis seja a maior possível, mas não superior a 32.0 dB;

b) Uma vez efetuado o ajuste, o índice de isolamento é dado pelo valor da curva de referência correspondente aos 500 Hz.

Um desvio desfavorável ocorre numa frequência particular quando o resultado da medição é inferior ao valor correspondente na curva de referência. Apenas os desvios desfavoráveis devem ser tidos em conta.

Adaptação a espectros de referência

Determinação dos parâmetros C , C_{tr} , $C_{100-5000}$ e $C_{tr100-5000}$, correspondentes à adaptação dos resultados aos dois espectros de referência indicados na norma ISO 717-1. Os dois espectros a considerar são, tomando bandas de um terço de oitava, os que se indicam na tabela abaixo.

Frequência central da banda de 1/3 de oitava (Hz)	Níveis sonoros para o espectro 1 (L_{i1}) para cálculo de C (dB)	Níveis sonoros para o espectro 2 (L_{i2}) para cálculo de C_{tr} (dB)	Níveis sonoros para o espectro 1 (L_{k1}) para cálculo de $C_{100-5000}$ (dB)	Níveis sonoros para o espectro 2 (L_{k2}) para cálculo de $C_{tr100-5000}$ (dB)
100	-29	-20	-30	-20
125	-26	-20	-27	-20
160	-23	-18	-24	-18
200	-21	-16	-22	-16
250	-19	-15	-20	-15
315	-17	-14	-18	-14
400	-15	-13	-16	-13
500	-13	-12	-14	-12
630	-12	-11	-13	-11
800	-11	-9	-12	-9
1000	-10	-8	-11	-8
1250	-9	-9	-10	-9
1600	-9	-10	-10	-10
2000	-9	-11	-10	-11
2500	-9	-13	-10	-13
3150	-9	-15	-10	-15
4000	-	-	-10	-16
5000	-	-	-10	-18

Tabela 3.2- Níveis sonoros para o espectro 1 e 2, para cálculo de C , C_{tr} , $C_{100-5000}$ e $C_{tr100-5000}$.

Cálculo dos parâmetros C e C_{tr}:

$$C = X_{A1} - R_w \quad (3.5)$$

$$C_{tr} = X_{A2} - R_w \quad (3.6)$$

$$C_{100-5000} = X_{A1\ 100-5000} - R_w \quad (3.7)$$

$$C_{tr\ 100-5000} = X_{A2\ 100-5000} - R_w \quad (3.8)$$

Em que:

$$X_{A1} = -10 \log \sum_i 10^{\frac{L_{i1} - R_i}{10}} \quad (3.9)$$

$$X_{A2} = -10 \log \sum_i 10^{\frac{L_{i2} - R_i}{10}} \quad (3.10)$$

$$X_{A1\ 100-5000} = -10 \log \sum_i 10^{\frac{L_{k1} - R_i}{10}} \quad (3.11)$$

$$X_{A2\ 100-5000} = -10 \log \sum_i 10^{\frac{L_{k2} - R_i}{10}} \quad (3.12)$$

i - Índice correspondente as bandas de um terço de oitava entre os 100 Hz e os 3150 Hz;

k - Índice correspondente as bandas de um terço de oitava entre os 100 Hz e os 5000 Hz;

L_{i1} - Nível sonoro para a frequência i e para o espectro 1;

L_{i2} - Nível sonoro para a frequência i e para o espectro 2;

L_{k1} - Nível sonoro para a frequência i e para o espectro 1, para uma gama de frequências mais alargada, de 100 HZ a 5000 Hz;

L_{k2} - Nível sonoro para a frequência i e para o espectro 2, para uma gama de frequências mais alargada, de 100 HZ a 5000 Hz;

R_i - Isolamento sonoro normalizado para a frequência i.

3.2.2 Ensaio em Câmara Anecoica

3.2.2.1 Princípio

Com o intuito de saber se, no exterior, as coberturas verdes permitem diminuir o ruído ambiente surge então o interesse em realizar o presente ensaio. Neste caso interessou saber, na presença de uma fonte sonora, quais são os níveis de pressão sonora, em vários pontos, com e sem a presença da cobertura. Posteriormente calculou-se a diferença entre níveis de pressão sonora, de modo a perceber a influência da existência da cobertura verde. Uma vez que as coberturas ficam a uma altura significativa do nível da rua, o campo sonoro gerado por exemplo pelo ruído de tráfego, ao nível da rua será distinto do campo sonoro que atinge a cobertura devido a fenómenos de difração e reflexão que as ondas sonoras sofrem no seu trajeto, provocados pelo edifício e outros obstáculos. Embora não se tenha simulado uma situação real, para perceber a influência do obstáculo (para além do contributo da absorção sonora da cobertura) decidiu construir-se uma estrutura paralelepípedica sobre a qual se instalou a cobertura verde. Neste ensaio apenas se instalaram os tapetes vegetais. Como estes tapetes são contínuos, iriam ficar sobrepostos ao substrato e nestas condições este não vai ter grande influência na absorção superficial do som (como já se verificou noutros trabalhos), pelo que se optou por não colocar o substrato.

3.2.2.2 Equipamentos e Materiais

Os equipamentos utilizados no ensaio foram:

- Câmara semi-anecoica ITeCons
- Dois Sistemas de aquisição multianalisador Pulse, modelo 3050-A-060, da marca Bruel & Kjaer
- Microfone modelo 4955, da marca Bruel & Kjaer
- Microfone modelo 4190-L-001, da marca Bruel & Kjaer
- Calibrador acústico, modelo 4231, da marca Bruel & Kjaer
- Termohigrómetro, modelo Hygrolog HL-NT2-DP, da marca Rotronic
- Barómetro modelo 511, da marca Testo.

Os materiais usados foram:

- Placas de madeira e parafusos para a construção da estrutura

- Parafusos
- Relva
- Sedum

3.2.2.3 Procedimento Experimental

Começou-se por colocar a estrutura de madeira paralelepípedica na câmara anecoica, de modo a poder simular um obstáculo com alguma altura dos edifícios. Tal é pertinente, uma vez que é interessante perceber se uma estrutura elevada vai influenciar os níveis de pressão sonora obtidos nas suas proximidade. Na figura 3.5 apresenta-se um esquema da estrutura supra referida. A caixa tem um comprimento de 4 m, uma largura de 3 m e uma altura de 1,25 m.

Foi colocada uma fonte sonora (no pavimento) do lado esquerdo da estrutura, a meio da sua largura e a uma distância de 50 cm. A localização da fonte sonora é pertinente para se perceber melhor a influência da estrutura elevada em relação aos valores de níveis sonoros obtidos.

Posteriormente mediu-se o nível sonoro produzido pela fonte, em vários pontos nas proximidades da estrutura elevada (ver figura 3.5), com e sem a presença da camada vegetal. Obtiveram-se dois níveis sonoros, designou-se L_1 o nível de pressão sonora obtido sem a camada vegetal e L_2 o nível de pressão sonora com a camada vegetal. Posteriormente determinou-se a diferença de nível de pressão sonora. Este procedimento foi realizado para a estrutura de madeira sem qualquer camada vegetal por cima, para a estrutura de madeira com relva e para a estrutura de madeira com sedum. Na figura 3.5 apresentam-se os pontos nos quais se efetuaram as medições dos níveis de pressão sonora e uma foto da câmara anecoica com a estrutura e sobre esta uma camada vegetal.

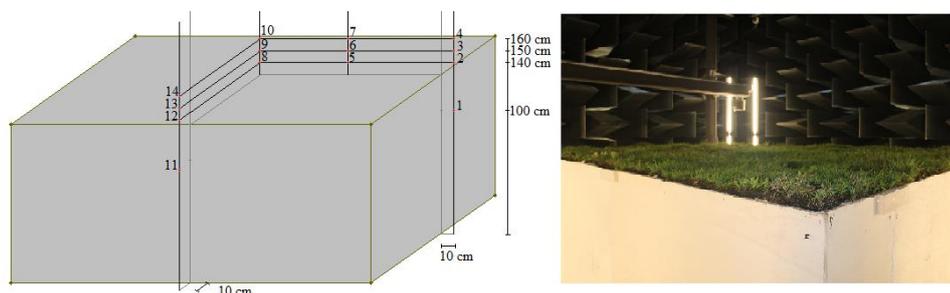


Figura 3.5 - Esquema com pontos onde se efetuaram medições (esquerda); foto da câmara anecoica contendo a estrutura de madeira e um tapete vegetal (direita).

Quando a diferença de níveis de pressão sonora é positiva tem-se uma diminuição do nível sonoro, isto é atenuação e quando a diferença é negativa tem-se um aumento do nível sonoro,

ou seja amplificação. No entanto, no caso em que existe amplificação não será devido ao tapete vegetal, mas sim como resultado da interação das ondas sonoras com a estrutura elevada (sobreposição de ondas refletidas e difratadas). Ou seja, se só estivéssemos a ver apenas a contribuição dos tapetes vegetais provavelmente existiria atenuação em todas as frequências, isto porque eles absorvem som em todas as frequências (com preponderância nas altas frequências). No entanto a presença da estrutura também influencia os resultados.

3.2.2.4 Tratamento de Dados

O software associado à realização do ensaio fornece os níveis sonoros medidos em cada ponto com e sem a presença dos tapetes vegetais. A diferença dos níveis sonoros obtidos nas duas situações permite determinar se houve atenuação ou amplificação dos níveis de pressão sonora.

Cálculo da diferença entre níveis sonoros, ΔL

O cálculo deste parâmetro foi efetuado segundo:

$$\Delta L = L_1 - L_2 \quad (3.13)$$

L_1 - nível de pressão sonora obtido sem a camada vegetal (dB);

L_2 - nível de pressão sonora com a camada vegetal (dB).

3.2.3 Ensaio em Câmara Reverberante

3.2.3.1 Princípio

O ensaio para determinar o coeficiente de absorção sonora foi realizado em câmara reverberante.

Este ensaio segue os procedimentos indicados nas seguintes normas: NP EN ISO 354:2007 e NP ISO 9613-1:2014. Estas são referentes a procedimentos de montagem do provete e de medições, requisitos para a câmara e equipamentos utilizados e apresentação de resultados.

3.2.3.2 Equipamentos e Materiais

Os equipamentos utilizados no ensaio da medição do coeficiente da absorção sonora foram:

- Câmara reverberante do ITeCons
- Sistema de aquisição multianalisador Pulse – tipo 3560-C-T46 da marca Bruel & Kjaer
- Amplificador – tipo 2739 da marca Bruel & Kjaer

- Gerador de Sinal – tipo 131 da marca dBx
- Termohigrómetro, modelo Hygrolog HL-NT2-DP, da marca Rotronic
- Calibrador acústico, modelo 4231, da marca Bruel & Kjaer
- Girafa giratória do tipo 3923, da marca Bruel & Kjaer
- Microfone modelo 4190, da marca Bruel & Kjaer
- Fonte de ruídos aéreos, do tipo OMNIPOWER 4292, da marca Bruel & Kjaer

Os materiais usados foram:

- Relva
- Sedum

3.2.3.3 Procedimento Experimental

Neste ensaio mediram-se tempos de reverberação no interior da câmara reverberante com e sem as amostras de relva e sedum, para posteriormente se poder determinar o coeficiente de absorção sonora das amostras de relva e sedum.

Primeiro fez-se a medição do tempo de reverberação da câmara sem amostras. Começou por se colocar a fonte sonora na câmara reverberante. Seguidamente ligou-se a fonte e aguardou-se até o nível sonoro ficar constante. Por fim desligou-se a fonte. Durante este procedimento regista-se a diminuição do nível sonoro ao longo do tempo, o que vai permitir determinar o tempo de reverberação. Repetiu-se depois este mesmo procedimento, tendo previamente colocado o provete de relva diretamente sobre o pavimento da câmara e o mesmo foi ainda repetido para o provete de sedum. Ao método usado dá-se o nome de método do ruído interrompido. Ambos os provetes eram retangulares, com uma área de 3 m x 4 m e foi utilizada uma montagem do tipo A.

Foram medidas as condições de temperatura e humidade com a câmara vazia e com a câmara contendo os provetes.

O som foi gerado por uma fonte sonora de ruído estacionário, constituída por vários altifalantes de modo a garantir um campo sonoro uniforme e omnidirecional.

3.2.3.4 Tratamento de Dados

Fez-se então uso dos dados fornecidos pelo software durante os ensaios para obter novos parâmetros e deste modo determinar o coeficiente de absorção sonora.

Passa-se a apresentar os parâmetros necessários para a determinação do coeficiente de absorção sonora.

Tempo de reverberação baseado em curvas de decaimento

Como anteriormente referido o tempo de reverberação é o intervalo de tempo necessário para um decaimento de 60 dB após a interrupção da fonte, numa dada banda de frequências.

A avaliação da curva de decaimento para cada banda de frequência deve começar 5 dB abaixo do nível de pressão sonora inicial. A gama de avaliação deve ser 20 dB. O nível inferior da gama de avaliação deve ser pelo menos 10 dB superior ao ruído de fundo global do sistema de medição.

Tempos de reverberação médios sem amostra, T_1 e com amostra, T_2

O tempo de reverberação da câmara reverberante, em cada banda de frequências, é expresso a partir da média aritmética do número total de medições do tempo de reverberação em cada banda de frequências. O número de curvas de decaimento independentes (no espaço) registadas deve ser pelo menos 12. O número mínimo de posições de fonte sonora é de 2 e de microfones é de 3. Devem usar-se, no mínimo, 4 posições de fonte e 3 posições de microfones, registando 3 decaimentos em cada, ou seja, um total de 36 medições.

Área de absorção sonora equivalente da câmara reverberante vazia, A_1

A área acima enunciada é expressa pela seguinte expressão:

$$A_1 = \frac{55,3 V}{c_1 T_1} - 4Vm_1 \quad (3.14)$$

Na qual:

V - volume da câmara reverberante vazia, em metros cúbicos (m^3);

c_1 - velocidade de propagação do som no ar à temperatura t_1 (m/s), que para temperaturas entre 15° e 30° se pode calcular de acordo com a expressão seguinte:

$$c_1 = 331 + 0,6t_1 \quad (3.15)$$

T_1 - tempo de reverberação da câmara vazia (s);

m_1 - coeficiente de atenuação devido à presença do ar (m^{-1}), calculado de acordo com a NP ISO 9613-1, usando as condições climáticas observadas durante a medição com a câmara reverberante vazia. O valor de m_1 pode ser determinado a partir do coeficiente de atenuação atmosférica, α , referido na NP ISO 9613-1, segundo a seguinte expressão:

$$m_1 = \frac{\alpha}{10\log(e)} \quad (3.16)$$

Para temperaturas entre 15 e 30 °C, a velocidade de propagação do som, c , em metros por segundo, pode ser calculada pela expressão: $c_i = 331 + 0,6 t$ (m/s), onde t é a temperatura do ar, em graus Celsius.

Os valores de A_1 não devem apresentar, no domínio da frequência, amplitudes superiores a 15% da média dos valores correspondentes às duas bandas de terços de oitava adjacentes.

Área de absorção equivalente da câmara reverberante com o provete a ensaiar, A_2

Esta foi calculada segundo:

$$A_2 = \frac{55,3 V}{c_2 T_2} - 4V m_2 \quad (3.17)$$

Em que:

V - volume da câmara reverberante vazia, em metros cúbicos (m^3);

c_2 - velocidade de propagação do do som no ar à temperatura t_2 (m/s), que para temperaturas entre 15° e 30° se pode calcular de acordo com a expressão seguinte:

$$c_2 = 331 + 0,6t_2 \quad (3.18)$$

T_2 - tempo de reverberação (s) da câmara com o provete de ensaio;

m_2 - coeficiente de atenuação devido à presença do ar (m^{-1}), calculado de acordo com a NP ISO 9613-1, usando as condições climáticas observadas durante a medição com a câmara reverberante vazia. O valor de m_2 pode ser determinado a partir do coeficiente de atenuação atmosférica, α , referido na NP ISO 9613-1, segundo a seguinte expressão:

$$m_2 = \frac{\alpha}{10\log(e)} \quad (3.19)$$

Área de absorção equivalente do provete de ensaio, A_T

Esta vem da expressão seguinte:

$$A_T = A_2 - A_1 = 55,3V \left(\frac{1}{c_2 T_2} - \frac{1}{c_1 T_1} \right) - 4V(m_2 - m_1) \quad (3.20)$$

Onde:

c_1 , c_2 , A_1 , V , T_1 , A_2 , V 2 T_2 têm o mesmo significado supra citado.

Coefficiente de absorção sonora, α_s

O coeficiente de absorção sonora deve ser calculado de acordo com a expressão:

$$\alpha_s = \frac{A_T}{S} \quad (3.21)$$

Onde:

A_T - área de absorção sonora equivalente do provete de ensaio (m^2);

S - área do provete de ensaio (m^2).

4 RESULTADOS

Serve o presente capítulo para apresentar e analisar os resultados obtidos nos diferentes ensaios experimentais. O capítulo subdivide-se em quatro partes e de acordo com os ensaios realizados. Os ensaios realizados nas câmaras acústicas verticais permitiram determinar o isolamento da cobertura a sons de condução aérea. Com os ensaios realizados em câmara anecoica verificou-se a diminuição do nível sonoro provocada por um tapete vegetal colocado sobre uma estrutura. Os ensaios em câmara reverberante permitiram determinar o coeficiente de absorção sonora dos tapetes vegetais em estudo.

4.1 Resultados dos ensaios em câmaras acústicas verticais

Neste subcapítulo são apresentados os resultados obtidos nos ensaios realizados nas câmaras acústicas verticais. Como anteriormente foi referido, nestes ensaios obtiveram-se o índice de redução sonora R e o respetivo valor único R_w .

4.1.1 Valores do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea R e respetivo valor único R_w

Analisaram-se para cada configuração supracitada (ver 3.2.1.3 procedimento experimental), o índice de redução sonora R e respetivo valor único R_w e compararam-se os mesmos entre configurações diferentes.

Na figura 4.1 apresentam-se os valores de R medidos.

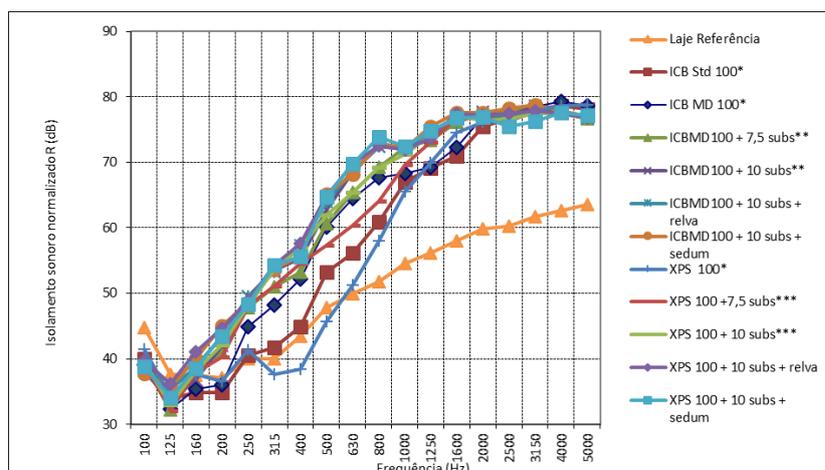


Figura 4.1 - Valores de índice de redução sonora R (* Inclui uma tela de resistência mecânica colocada sob o isolamento;** Inclui um filtro;*** Inclui uma manta pitonada e um filtro).

Na figura 4.1, pode observar-se que os valores de isolamento sonoro da laje de referência se encontram bastante abaixo dos das outras configurações estudadas, com exceção dos valores de R correspondentes a frequências abaixo de 630 Hz. Com esta observação já se pode concluir que quaisquer umas das restantes configurações apresenta, de uma forma geral, melhores resultados de isolamento sonoro quando comparada com a configuração laje de referência, sobretudo a altas frequências.

De seguida apresentam-se análises mais pormenorizadas da comparação de diversas configurações.

Na figura 4.2 faz-se uma análise das configurações ICB STD 100, ICB MD 100 e XPS 100. Das configurações com ICB a que obteve melhores resultados foi a de maior densidade, o ICB MD 100. Esta última também teve um comportamento global mais favorável que a configuração com XPS.

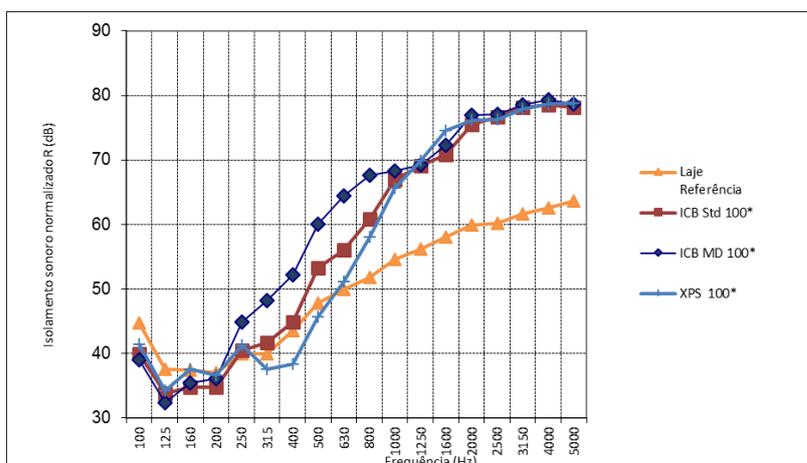


Figura 4.2 - Comparação de valores de R da laje de referência, ICB STD 100, ICB MD 100 e XPS 100. (* Inclui uma tela de resistência mecânica colocada sob isolamento).

De acordo com a figura 4.3 a configuração ICB MD 100 com 7,5 cm de substrato apresenta um comportamento melhor que o XPS 100 com 7,5 cm de substrato, acima dos 500 Hz. Abaixo dessa frequência as curvas de isolamento sonoro são próximas (ver figura 4.3 à esquerda). A configuração ICB MD 100 com 10 cm de substrato apresenta um comportamento melhor que o XPS 100 com 10 cm de substrato, acima dos 500 Hz. Abaixo dessa frequência têm curvas de isolamento sonoro semelhantes (ver figura 4.3 à direita). Comparando as curvas do gráfico à esquerda e do gráfico à direita, da figura 4.3, nota-se que as configurações com maior espessura de substrato (10 cm) apresentam valores de R ligeiramente superiores. Para a configuração ICB MD 100 com 10 cm de substrato tem-se o valor máximo de R de aproximadamente 78 dB para a frequência de 3150 Hz.

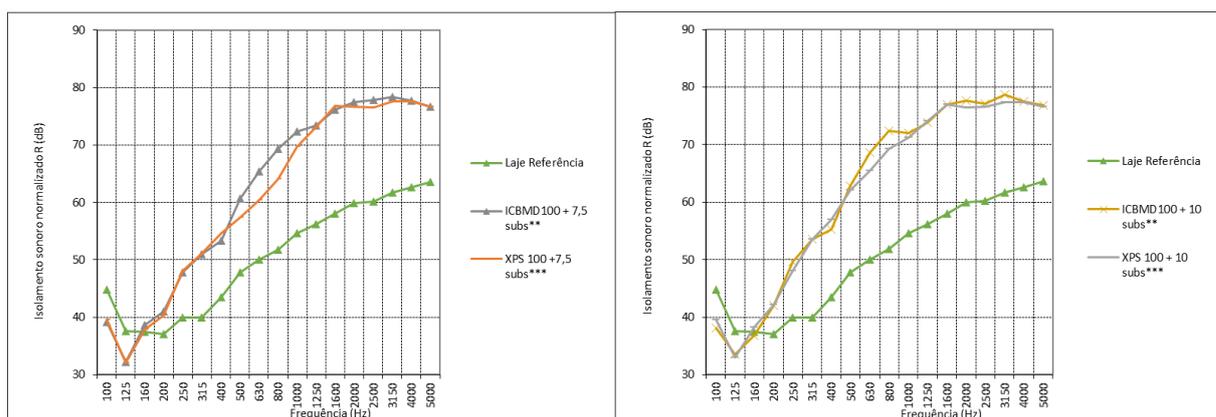


Figura 4.3 - Comparação de valores de R da laje de referência com valores de R de ICB MD 100 com 7,5 cm de substrato e XPS com 7,5 cm de substrato (esquerda) e valores de R de

ICB MD 100 com 10 cm de substrato e de XPS com 10 cm de substrato (direita). (** Inclui um filtro; *** Inclui uma manta pitonada e um filtro).

Da adição dos tapetes de relva (ver figura 4.4, à esquerda) e de sedum (ver figura 4.4, à direita) às configurações anteriores, não se obtiveram mudanças significativas nos valores de isolamento sonoro normalizado.

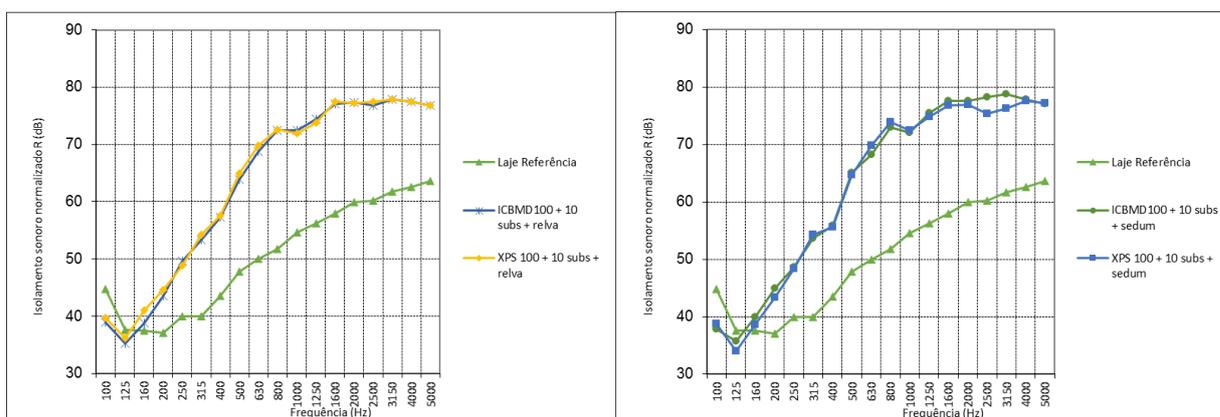


Figura 4.4 - Comparação de valores de R da laje de referência com valores de R de ICB MD 100 com 10 cm de substrato e relva e XPS com 10 cm de substrato e relva (esquerda) e valores de R de ICB MD 100 com 10 cm de substrato e sedum e de XPS com 10 cm de substrato e sedum (direita).

Na figura 4.5 pretende-se comparar o contributo da relva face ao do sedum nos valores do isolamento sonoro. Verifica-se que, de uma forma geral, a diferença entre as curvas de isolamento sonoro são bastante ténues, podendo concluir-se que para os tapetes vegetais em estudo a sua contribuição para o isolamento sonoro é semelhante.

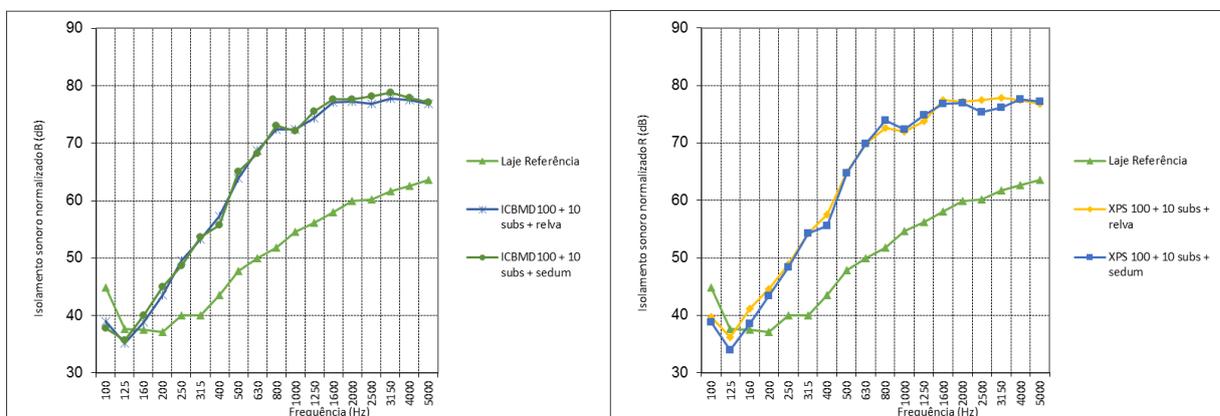


Figura 4.5 - Comparação de valores de R da laje de referência com valores de R de ICB MD

100 com 10 cm de substrato e relva e ICB MD 100 com 10 cm de substrato e sedum (esquerda) e valores de R de XPS com 10 cm de substrato e relva e XPS com 10 cm de substrato e sedum (direita).

Os valores de R_w obtidos estão apresentados da seguinte forma: R_w ($C_{100-3500}$; $C_{tr 100-3500}$; $C_{100-5000}$; $C_{tr 100-5000}$) Hz, na tabela 4.1:

	R_w (Hz)
Laje Referência	51 (-1; -5; 0; -5)
ICB Std 100*	52 (-2; -6; -1; -6)
ICB MD 100*	55 (-3; -8; -2; -8)
ICBMD100 + 7,5 subs**	57 (-3; -8; -2; -8)
ICBMD100 + 10 subs**	58 (-3; -9; -2; -9)
ICBMD100 + 10 subs + relva	59 (-3; -8; -2; -8)
ICBMD100 + 10 subs + sedum	59 (-2; -8; -1; -8)
XPS 100*	50 (-2; -5; -1; -5)
XPS 100 + 7,5 subs***	57 (-3; -8; -2; -8)
XPS 100 + 10 subs***	59 (-4; -9; -3; -9)
XPS 100 + 10 subs + relva	60 (-2; -8; -1; -8)
XPS 100 + 10 subs + sedum	59 (-3; -9; -2; -9)

Tabela 4.1 - Valores de R_w (* Inclui uma tela de resistência mecânica colocada sob o isolamento;** Inclui um filtro;*** Inclui uma manta pitonada e um filtro).

O valor de R_w da laje de referência é inferior a todos restantes exceto ao R_w da configuração XPS 100.

À medida que se acrescentavam camadas o valor de R_w foi se mantendo ou aumentando.

4.1.2 Acréscimo do isolamento sonoro gerado pelas camadas da cobertura verde em relação à laje de referência

Neste ponto analisam-se para cada configuração supracitada (ver 3.2.1.3 procedimento experimental), o acréscimo de isolamento sonoro ΔR e o respetivo valor único ΔR_w , em relação à laje de referência.

A figura 4.6 apresenta o contributo das camadas acima do suporte (laje) para o isolamento sonoro. No fundo, está-se a verificar qual o acréscimo de isolamento sonoro (ΔR), em relação ao isolamento da laje, que se vai obtendo pela colocação das sucessivas camadas. Nesta figura apresentam-se todas as configurações que foram ensaiadas. Como se pode observar, existem frequências onde existe decréscimo de isolamento (i.e. valores negativos de ΔR). Este fenómeno acontece para bandas de frequência mais baixas, em todas as configurações de ensaio ou para um intervalo de frequências específico no caso da aplicação da placa de XPS. Este

comportamento deve-se a fenómenos de ressonância que surgem, em determinadas frequências, com a aplicação das novas camadas, o que origina uma diminuição de isolamento devido ao aumento de vibrações do sistema em determinadas frequências.

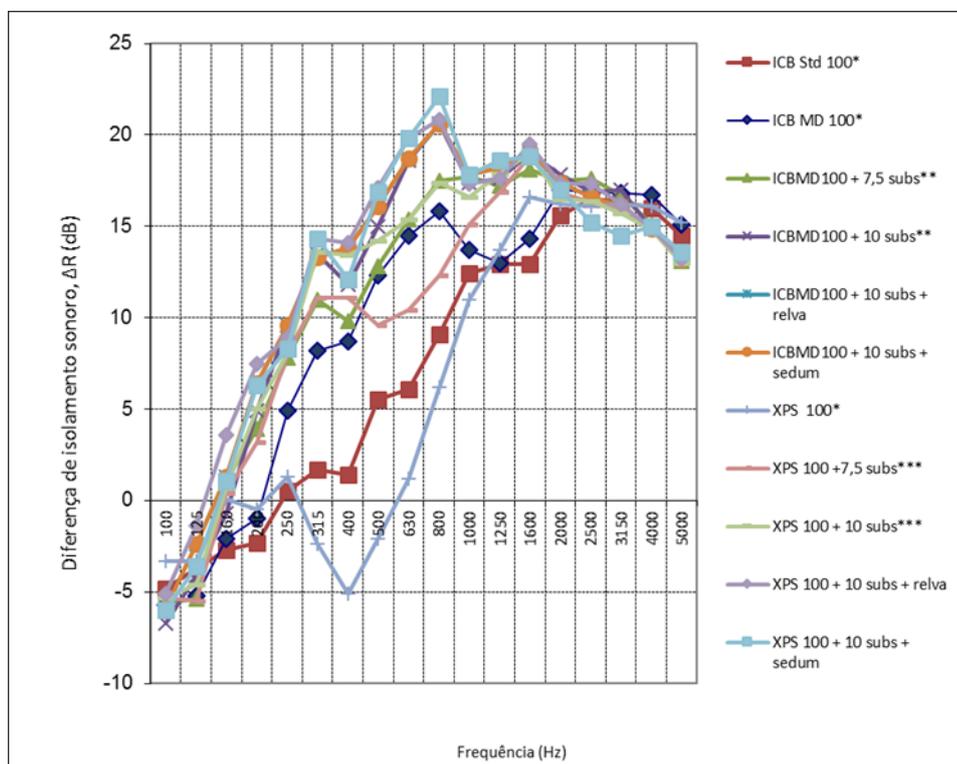


Figura 4.6 - Acréscimo do índice de redução sonora ΔR (* Inclui uma tela de resistência mecânica colocada sob o isolamento;** Inclui um filtro;*** Inclui uma manta pitonada e um filtro).

Na figura 4.7 apresentam-se os resultados das configurações ICB STD 100, ICB MD 100 e XPS 100. Das configurações com ICB a que obteve melhores resultados foi a de maior densidade, o ICB MD 100. Esta última também teve um comportamento global mais favorável que a configuração com XPS. A curva de acréscimo de isolamento sonoro relativa ao XPS 100 apresenta uma acentuada descida entre os 250 Hz e os 400 Hz (chegando a apresentar valores negativos). Este fenómeno deve-se a uma ressonância gerada pela colocação do XPS.

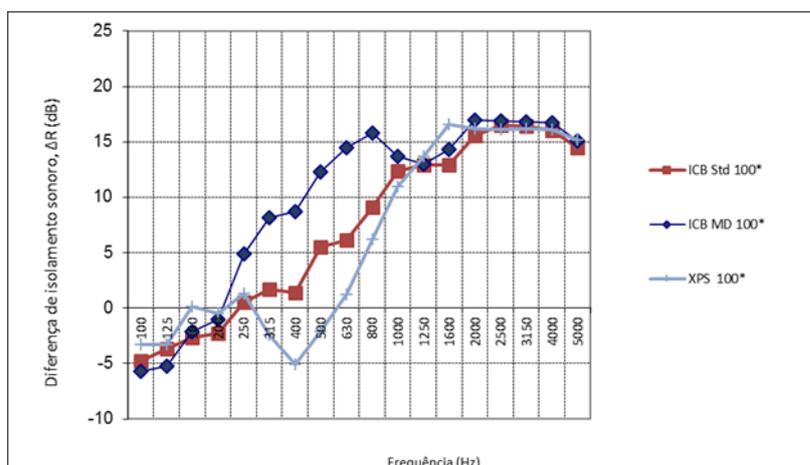


Figura 4.7 – Comparação de valores de ΔR para ICB STD 100, ICB MD 100, XPS 100 (* Inclui uma tela de resistência mecânica colocada sob o isolamento)

A configuração ICB MD 100 com 7,5 cm de substrato apresenta um comportamento melhor que o XPS 100 com 7,5 cm de substrato, acima dos 500 Hz. Abaixo dessa frequência apresentam curvas de acréscimo de isolamento sonoro semelhantes (ver figura 4.8 à esquerda). A colocação da massa do substrato em cima do XPS fez desaparecer a ressonância que se verificava anteriormente. Para a configuração ICB MD 100 com 10 cm de substrato apresenta um comportamento melhor que o XPS 100 com 10 cm de substrato acima dos 500 Hz. Abaixo dessa frequência têm curvas semelhantes (ver figura 4.8 à direita). Comparando as curvas do gráfico à esquerda e do gráfico à direita, da figura 4.8, nota-se que as curvas com maior espessura de substrato têm valores de ΔR superiores, como seria expectável. Para a configuração ICB MD 100 com 10 de substrato tem-se o valor máximo de ΔR de aproximadamente 21 dB para a frequência de 800 Hz.

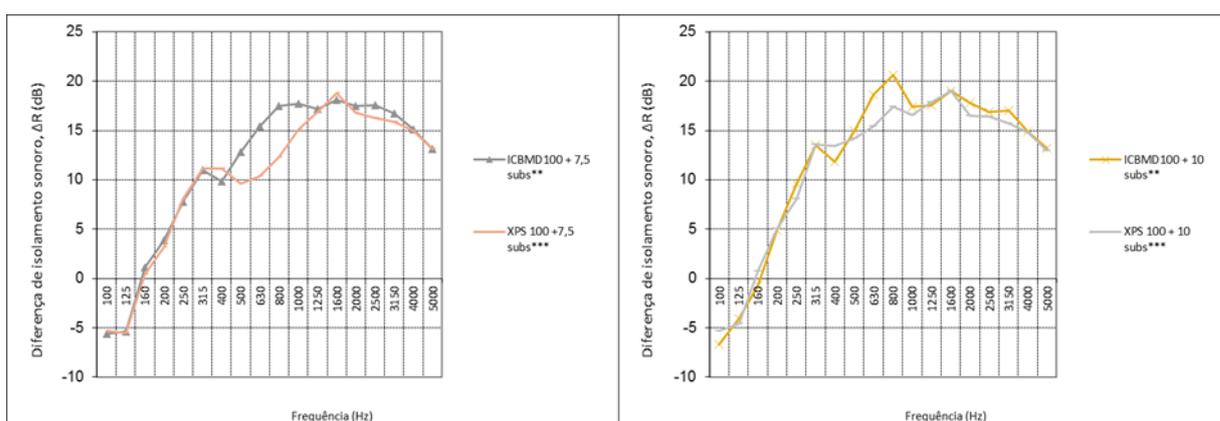


Figura 4.8 - Comparação de valores de ΔR . ICB e XPS com 7,5 cm de substrato (esquerda).

ICB e XPS com 10 cm de substrato (direita). (** Inclui um filtro; *** Inclui uma manta pitonada e um filtro).

Nos gráficos da figura 4.9 todas as curvas têm comportamentos bastante idênticos, ainda que o valor máximo de ΔR na curva relativa ao XPS 100 com 10 de substrato e sedum seja uma pouco superior às restantes com aproximadamente 22 dB para a frequência de 800 Hz.

Ao comparar-se os gráficos da figura 4.9 com o gráfico à direita da figura 4.8 nota-se que os valores do ΔR aumentaram quando se acrescentaram as camadas vegetais.

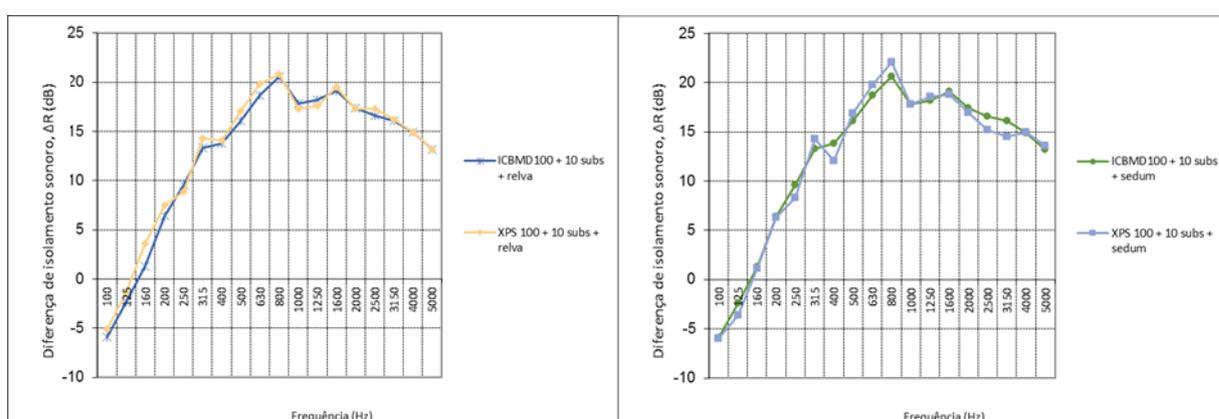


Figura 4.9 - Comparação de valores de ΔR de ICB e XPS com 10 cm de substrato e relva (esquerda) e ICB e XPS com 10 cm de substrato e sedum (direita).

Na figura 4.10 comparam-se valores do ΔR devidos à influência da camada de relva face à de sedum. A configuração com ICB e relva apresenta valores de R aproximadamente iguais aos da ICB e sedum; a configuração com XPS e sedum apresenta valores inferiores até aos 630 Hz e a partir dos 1600 Hz quando comparada com a solução XPS e relva. No entanto, os valores são bastante semelhantes. Se forem sobrepostas as curvas das quatro soluções finais verifica-se que o acréscimo de isolamento é muito semelhante em todas, concluindo-se que a contribuição da camada de substrato em conjunto com a vegetação (no caso de tapete vegetal contínuo) é preponderante para o isolamento final. Apesar de forma isolada a camada de cortiça apresentar melhores resultados que o XPS, na solução final não é visível essa diferença.

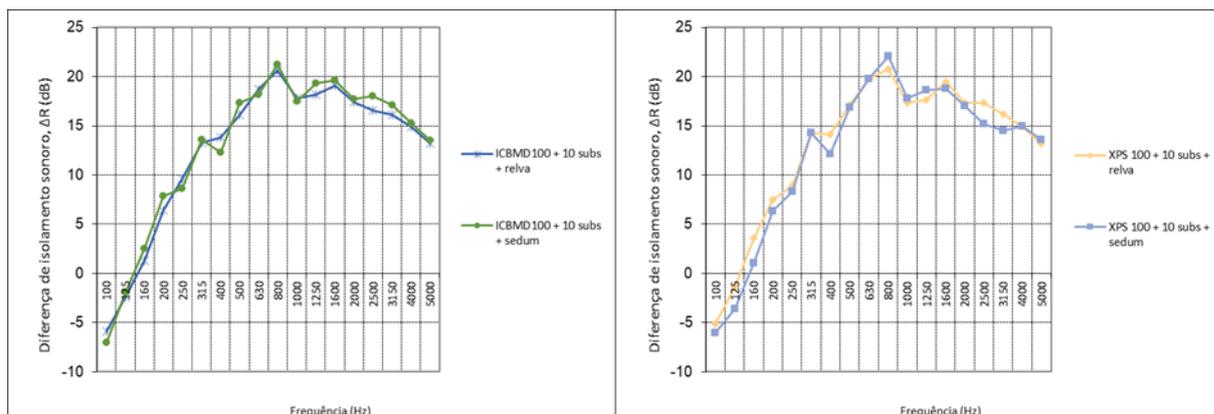


Figura 4.10 - Comparação de valores de ΔR de ICB MD 100 com 10 cm de substrato e relva e ICB MD 100 com 10 cm de substrato e sedum (esquerda) e XPS com 10 cm de substrato e relva e XPS com 10 cm de substrato e sedum (direita).

Na tabela 4.2 apresentam-se os valores únicos para o acréscimo do isolamento sonoro, ΔR_w .

	ΔR_w (dB)
ICB Std 100*	1
ICB MD 100*	4
ICBMD100 + 7,5 subs**	6
ICBMD100 + 10 subs**	7
ICBMD100 + 10 subs + relva	8
ICBMD100 + 10 subs + sedum	8
XPS 100*	-1
XPS 100 + 7,5 subs***	6
XPS 100 + 10 subs***	8
XPS, 100 + 10 subs + relva	9
XPS 100 + 10 subs + sedum	8

Tabela 4.2 - Valores únicos para o acréscimo do isolamento sonoro, ΔR_w .

4.2 Resultados dos ensaios em câmara anecoica

4.2.1 Resultados dos ensaios em câmara anecoica sem amostra

Os valores obtidos neste ensaio servem de referência aos restantes valores registados, isto é, são usados como termo de comparação face aos valores obtidos com a amostra de relva e com a amostra de sedum.

No gráfico da figura 4.11 estão apresentados os valores de nível de pressão sonora medidos, em câmara anecoica, em cada ponto (ver os pontos representados em 3.2.1.3, na figura 3.1). Nesta análise apenas a estrutura em madeira se encontrava na câmara anecoica.

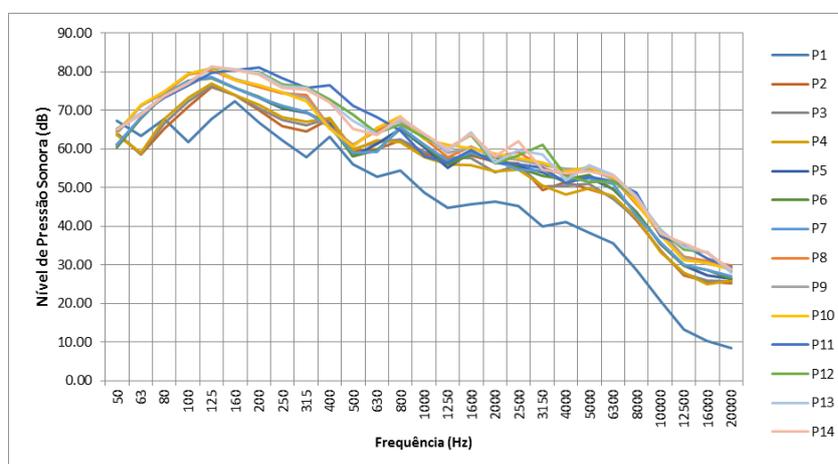


Figura 4.11- Medição dos níveis de pressão sonora em câmara anecoica, apenas com a estrutura de madeira.

Neste gráfico (ver figura 4.11) pode-se observar, como seria de esperar, que os pontos mais distantes da fonte sonora, 1, 2, 3 e 4, têm níveis de pressão sonora mais baixos, em especial o ponto 1 uma vez que se encontra protegido pela estrutura de madeira. Também se vê que os níveis sonoros são mais elevados nas baixas frequências. Tal deve-se ao facto de as frequências baixas apresentarem comprimentos de onda altos, pelo que têm mais facilidade a contornar a estrutura de madeira, tal como também têm mais facilidade em transpor edifícios.

Os pontos 11, 12, 13 e 14 (ver figura 4.11) destacam-se dos restantes, apresentando níveis de pressão sonora um pouco superiores. Tal deve-se à sua localização e à influência da caixa, uma vez que esta gera ondas de som refletidas e difratadas.

4.2.2 Resultados dos ensaios em câmara anecoica com a amostra de relva

Neste ponto são analisados os valores dos níveis de pressão sonora obtidos nos diversos pontos com a presença da estrutura de madeira e da amostra de relva sobre esta, na câmara anecoica.

Do gráfico da figura 4.12 podem-se retirar as seguintes observações: os pontos 11, 12, 13 e 14 são os que apresentam maiores valores de níveis de pressão sonora, são atingidos mais facilmente pelas ondas sonoras emitidas pela fonte. O ponto 1 apresenta os menores valores de níveis de pressão sonora sobretudo devido à proteção conferida pela estrutura existente e ainda pela distância à fonte sonora. Também se vê que os níveis de pressão sonora são mais elevados nas baixas frequências.

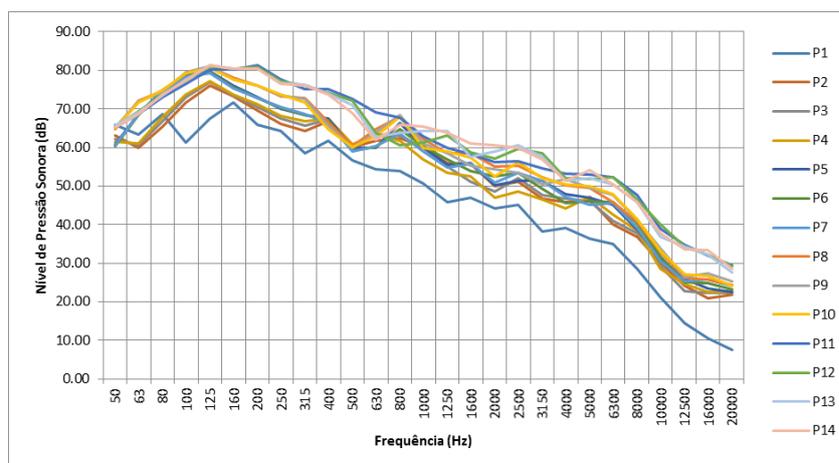


Figura 4.12- Medição dos níveis de pressão sonora em câmara anecoica, com a presença da estrutura de madeira e sobre esta o tapete de relva.

4.2.3 Resultados dos ensaios em câmara anecoica com a amostra de sedum

Neste ponto são apreciados os valores de níveis de pressão sonora obtidos nos diversos pontos aquando da existência da estrutura de madeira e da amostra de sedum sobre esta, na câmara anecoica.

À semelhança do que se pôde observar com a relva e recorrendo ao gráfico seguinte (ver figura 4.13) repara-se que: os pontos 11, 12, 13 e 14 são os que apresentam maiores valores de níveis de pressão sonora na maioria das frequências, uma vez que são mais afetados pelo som difratado e refletido que os restantes, e o ponto 1 apresenta-se com menores valores de níveis de pressão sonora sobretudo devido à proteção conferida pela estrutura de madeira existente e ainda pela distância à fonte sonora. Também se vê que os níveis de pressão sonora são mais elevados nas baixas frequências.

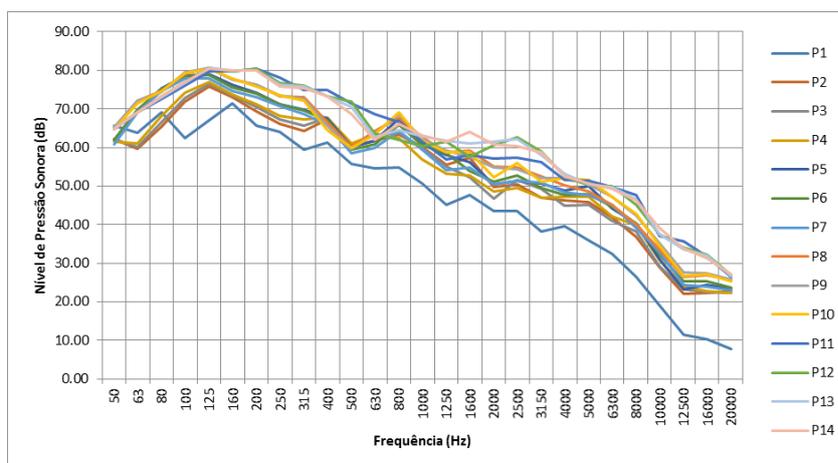


Figura 4.13 - Medição dos níveis de pressão sonora em câmara anecoica, com a presença da estrutura de madeira e sobre esta o tapete de sedum.

4.2.4 Comparação de resultados dos ensaios em câmara anecoica

Passa-se agora a comparar os valores de níveis de pressão sonora obtidos nas três situações anteriores.

4.1.4.1 Variação dos Níveis de Pressão Sonora – Valores de referência/Valores com amostra de relva.

O gráfico abaixo (ver figura 4.14) refere-se à variação do nível de pressão sonora, nos diversos pontos e nas várias frequências (ΔL). Esta variação foi obtida pela subtração dos valores de referência (valores medidos com a presença da estrutura de madeira apenas) pelos valores com a amostra de relva sobre a estrutura supra referida.

Da análise da figura 4.14 de imediato se nota o comportamento algo diferente das curvas referentes aos pontos 11, 12, 13 e 14. Estes pontos apresentam valores de ΔL mais baixos. Refira-se que estes pontos são aqueles que estão mais próximos da fonte sonora e os percursos das ondas que os atingem, não são tão influenciados pela presença da relva.

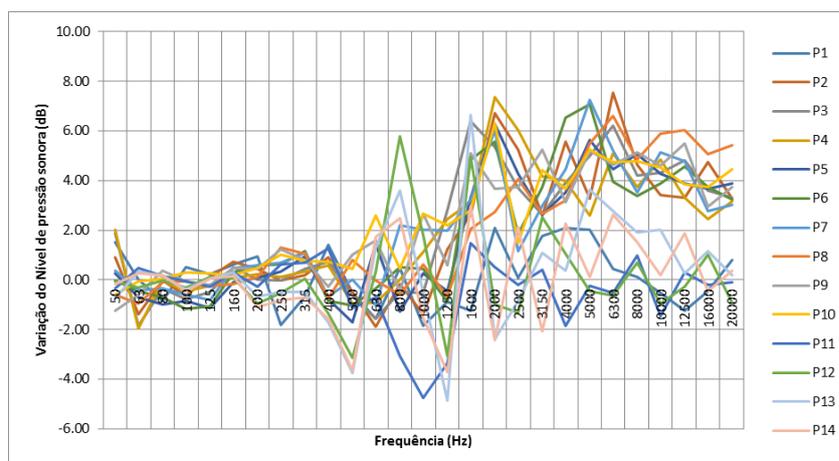


Figura 4.14 – Variação dos valores de níveis de pressão sonora. Valores de referência/Valores com amostra de relva.

Passa-se a analisar mais detalhadamente as curvas obtidas, agrupando os pontos em alinhamentos horizontais e verticais.

No gráfico superior esquerdo, da figura 4.15, nota-se uma maior variação de valores medidos no ponto 11 do que no ponto 1 devido às ondas refletidas e difratadas geradas pela presença da estrutura e menor face aos restantes pontos. Estes dois pontos apresentam valores de atenuação sonora inferiores aos dos restantes pontos (no máximo cerca de 2 dB) devido à sua localização ser inferior à superfície superior da caixa onde está instalada a relva (ver figura 4.15). Os valores de ΔL negativos significam que nas frequências onde acontecem não se verificou atenuação, mas sim amplificação do nível sonoro. Este fenómeno pode dever-se à interação de ondas refletidas e difratadas pelas superfícies da estrutura. Refira-se que não se está apenas a ver o efeito do tapete vegetal, mas há também a interação das ondas com a estrutura.

Quanto às curvas referentes aos pontos 2, 5 e 8 (gráfico inferior esquerdo, da figura 4.15), 3,6 e 9 (gráfico superior direito, figura 4.15) e 4, 7 e 10 (gráfico inferior direito, da figura 4.15), observam-se comportamentos semelhantes, isto é, observam-se maiores variações de níveis de pressão sonora nas altas frequências (os valores máximos de ΔL são cerca de 7 dB).

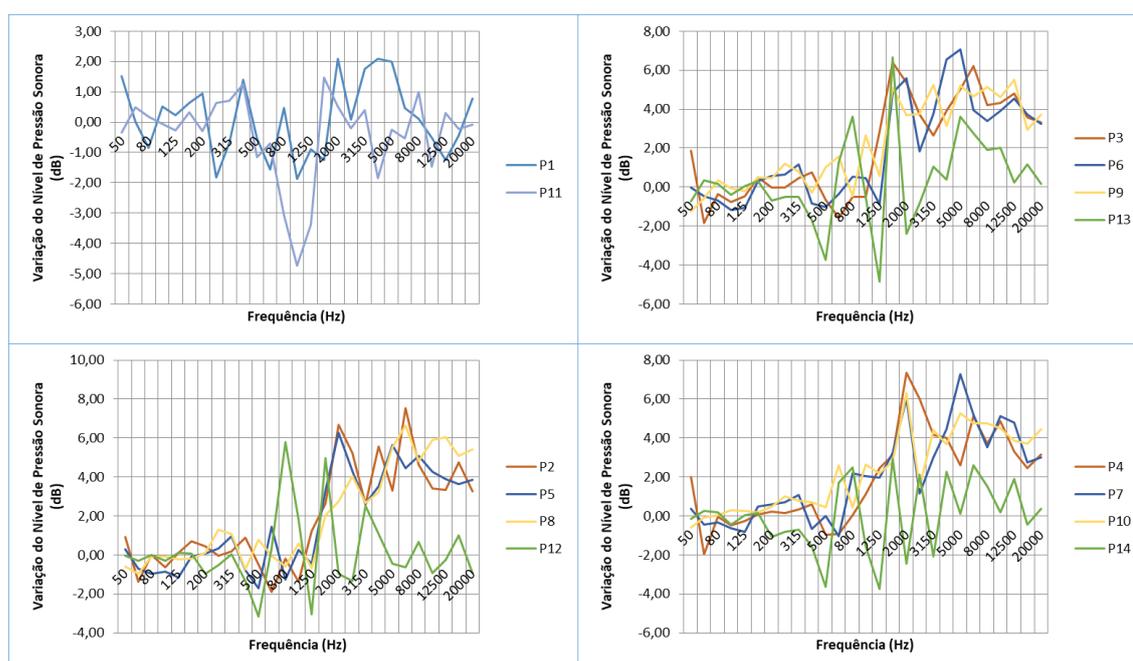


Figura 4.15 - Variação dos valores de níveis de pressão sonora. Valores de referência/Valores com amostra de relva. Alinhamento de pontos na horizontal.

Nos gráficos da figura 4.16, são bastantes evidentes as variações dos níveis de pressão sonora relativamente à localização dos pontos. Observa-se que os pontos 5, 6 e 7 (gráfico inferior esquerdo, figura 4.16) e 8, 9 e 10 (gráfico superior direito, figura 4.16) são francamente influenciados pelo facto de se encontrarem sobre a camada de relva, apresentando maioritariamente grandes variações positivas, sobretudo a partir dos 800 Hz.

Já as variações no ponto 1 não são muito grandes tal como as dos pontos 2, 3 e 4 (ver figura 4.16). O ponto 1 apresenta valores menores devido à proteção conferida pela estrutura (já estava protegido antes de existir a relva).

Relativamente aos pontos 11, 12, 13 e 14, estes apresentam valores de ΔL mais baixos. Refira-se que estes pontos são aqueles que estão mais próximos da fonte sonora e os percursos das ondas que os atingem, não são tão influenciados pela presença da relva.

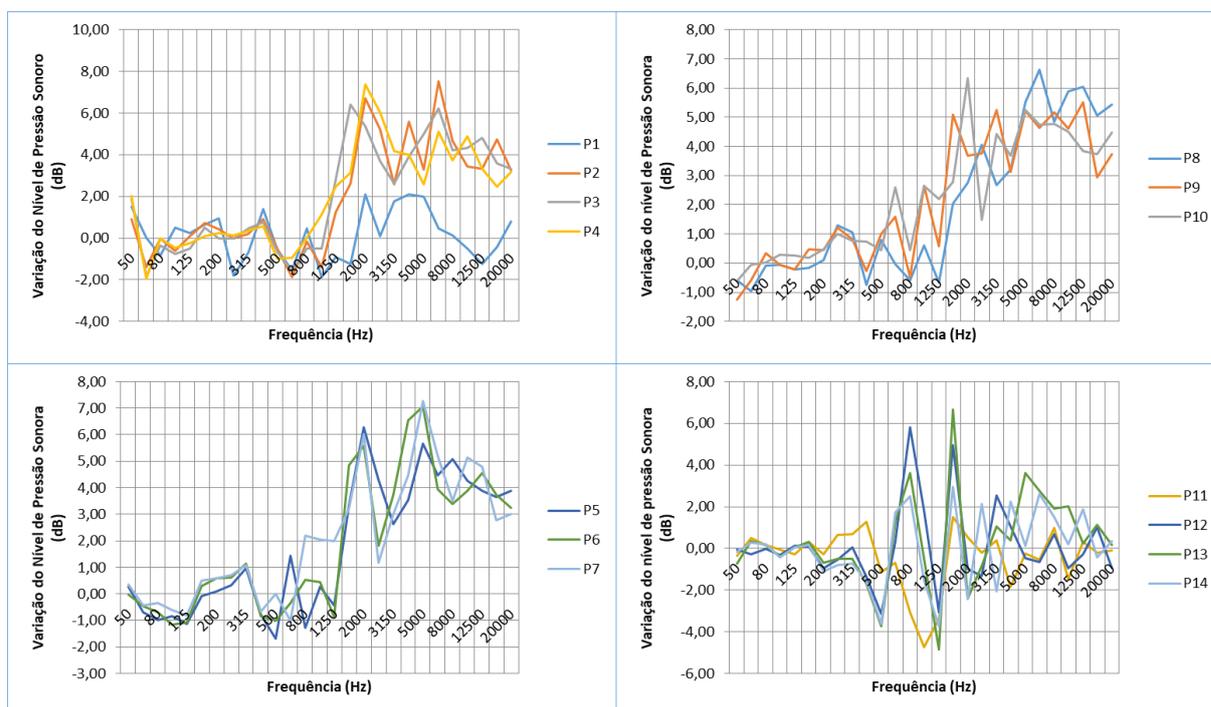


Figura 4.16 - Variação dos valores de níveis de pressão sonora. Valores de referência/Valores com amostra de relva. Alinhamento de pontos na vertical.

4.1.4.2 Variação dos Níveis de Pressão Sonora – Valores de referência/Valores com amostra de sedum

A figura 4.17 faz referência à variação do nível de pressão sonora, nos diversos pontos e nas várias frequências. Esta variação foi obtida pela subtração dos valores de referência (valores medidos com a presença da estrutura de madeira apenas) pelos valores com a amostra de sedum sobre a referida estrutura.

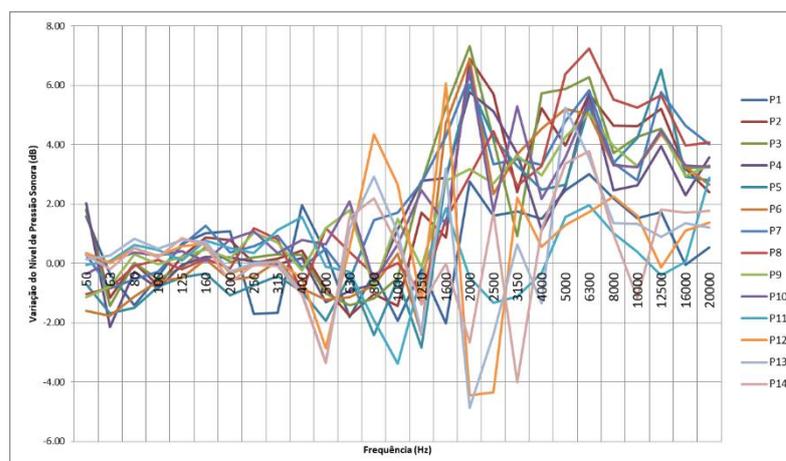


Figura 4.17 - Variação dos valores de níveis de pressão sonora. Valores de referência/Valores com amostra de sedum

À semelhança do que acontecia com a cobertura de relva, as curvas referentes aos pontos 11, 12, 13 e 14 (ver figura 4.17) apresentam um comportamento distinto das restantes. Tal deve-se aos mesmos fenómenos anteriormente referidos.

De seguida procede-se a uma análise mais detalhada dos valores obtidos. Para tal agruparam-se e compararam-se os pontos contidos nos vários alinhamentos horizontais e verticais.

Observando a figura 4.18 nota-se uma maior variação de valores medidos no ponto 11 do que no ponto 1 devido às ondas refletidas e difratadas geradas pela presença da estrutura e menor face aos restantes pontos. Estes dois pontos apresentam valores de atenuação sonora inferiores aos dos restantes pontos (no máximo cerca de 2 dB) devido à sua localização ser inferior à superfície superior da caixa onde está instalada o sedum. Os valores de ΔL negativos significam que nas frequências onde acontecem não se verificou atenuação, mas sim amplificação do nível sonoro. Este fenómeno pode dever-se à interação de ondas refletidas e difratadas pelas superfícies da estrutura. Refira-se que não se está apenas a ver o efeito da camada vegetal, mas há também a interação das ondas com a estrutura.

Quanto às curvas referentes aos pontos 2, 5 e 8 (gráfico inferior esquerdo, da figura 4.18), 3, 6 e 9 (gráfico superior direito, figura 4.18) e 4, 7 e 10 (gráfico inferior direito, da figura 4.18), observam-se comportamentos semelhantes, isto é, observam-se maiores variações de níveis de pressão sonora nas altas frequências (os valores máximos de ΔL são cerca de 7 dB).

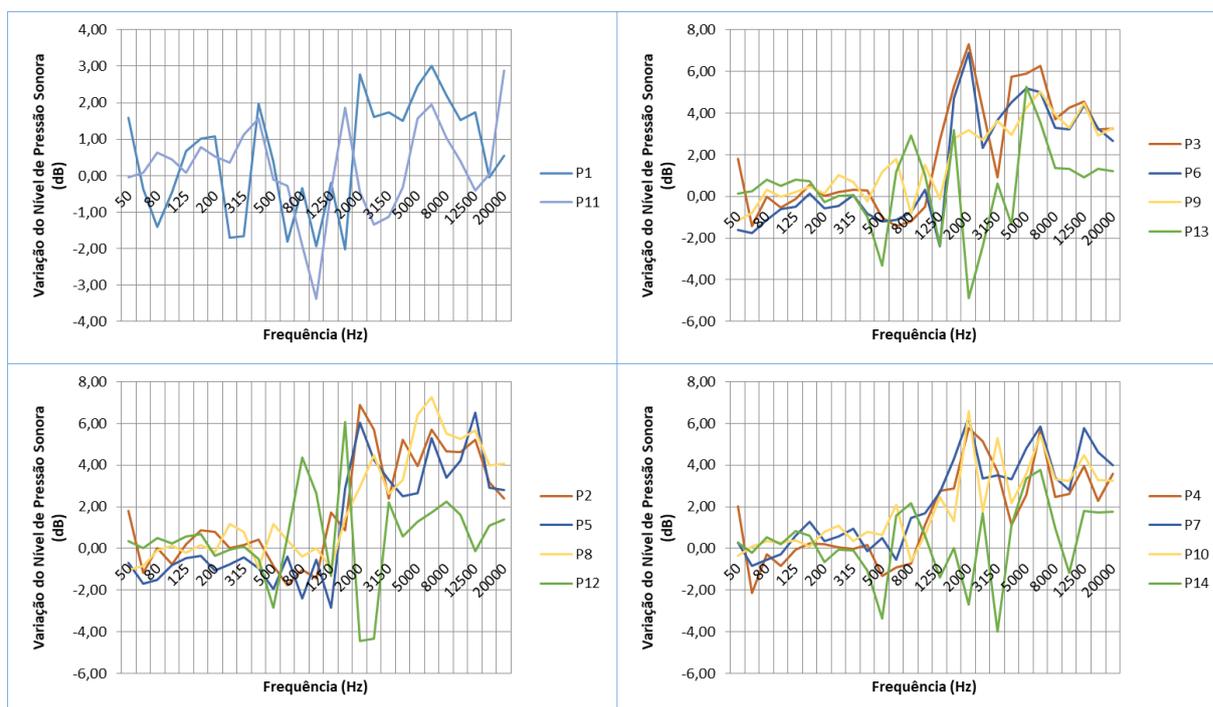


Figura 4.18 - Variação dos valores de níveis de pressão sonora. Valores de referência/Valores com amostra de sedum. Alinhamento de pontos na horizontal.

As variações para o ponto 1 não são muito elevadas a variar entre os -2 dB e os 3 dB (ver gráfico superior esquerdo da figura 4.18).

Os gráficos da figura 4.19, são bastantes evidentes quanto à variação dos níveis de pressão sonora relativamente à localização dos pontos. Observa-se que os pontos 5, 6 e 7 (gráfico inferior esquerdo, figura 4.19) e 8, 9 e 10 (gráfico superior direito, figura 4.19) são francamente influenciados pelo facto de se encontrarem sobre a camada de relva, apresentado maioritariamente grandes variações positivas, sobretudo a partir dos 800 Hz. Para o ponto 3 e o ponto 8 às frequências 2000 Hz e 8000 Hz respetivamente, encontram-se as maiores variações do nível sonoro com valores de 7.3 dB. Como será constatado posteriormente, os tapetes vegetais apresentam maior absorção sonora nas frequências mais altas.

As curvas dos pontos 11, 12, 13 e 14 apresentam valores de variação de nível sonoro entre os -4 dB e os 6 dB. São pontos francamente influenciados pela presença da estrutura.

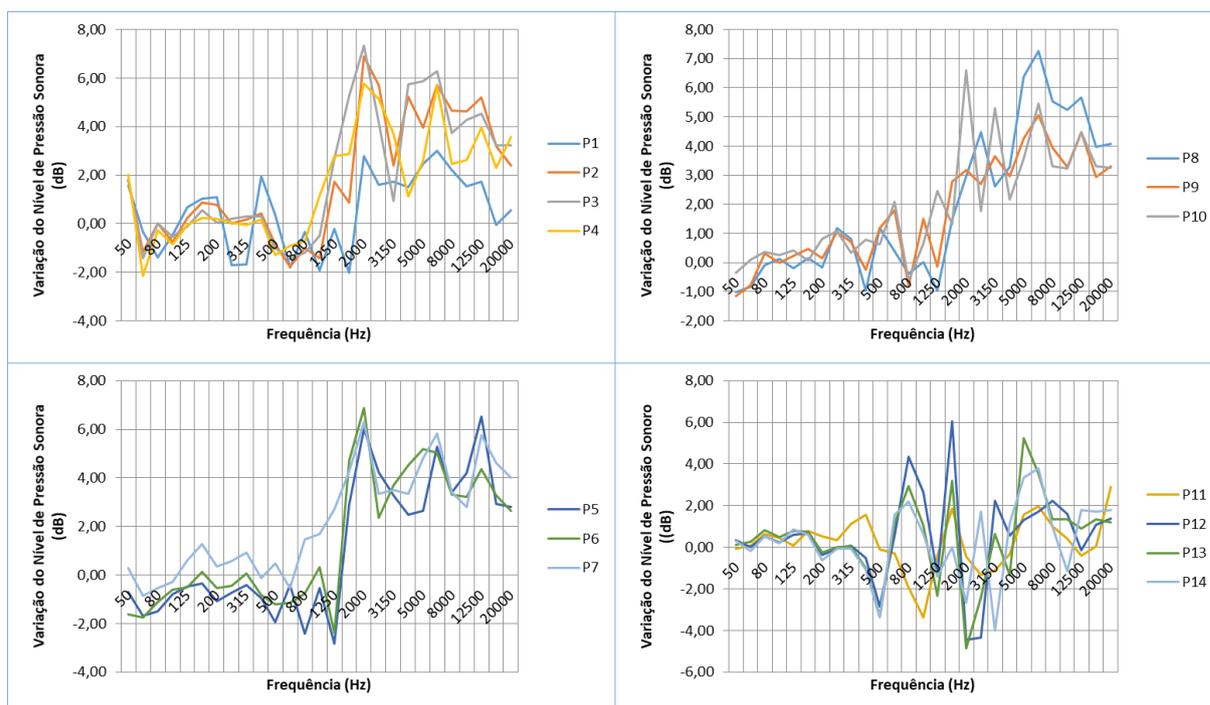


Figura 4.19 - Variação dos valores de níveis de pressão sonora. Valores de referência/Valores com amostra de sedum. Alinhamento de pontos na vertical.

4.1.4.3 Variação dos Níveis de Pressão Sonora – Variação de valores com amostra de relva/Variação de valores com amostra de sedum

Neste subcapítulo vai-se comparar as variações dos valores de níveis de pressão sonora obtidas com valores de referência/valores com amostra de relva com as obtidas com valores de referência/valores com amostra de sedum, para todos os pontos analisados.

Tanto para a relva como para o sedum o ponto 1 apresenta variações de níveis sonoros entre -2 dB e 3 dB (ver figura 4.20, gráfico superior esquerdo), sendo este o ponto que apresenta um intervalo de valores menor. O tapete de sedum, nas frequências mais altas, parece ser melhor.

Para os pontos 2, 3 e 4 a variação do nível de pressão sonora varia entre os -2 dB e os 7 dB (ver figura 4.20). Para os pontos 2 e 4 a relva apresenta valores de atenuação sonora superiores, em relação ao sedum, sobretudo a partir dos 1000 Hz. Para o ponto 3 (ver figura 4.20, gráfico inferior esquerdo) não existe um tapete vegetal que se afirme como melhor em relação ao outro.

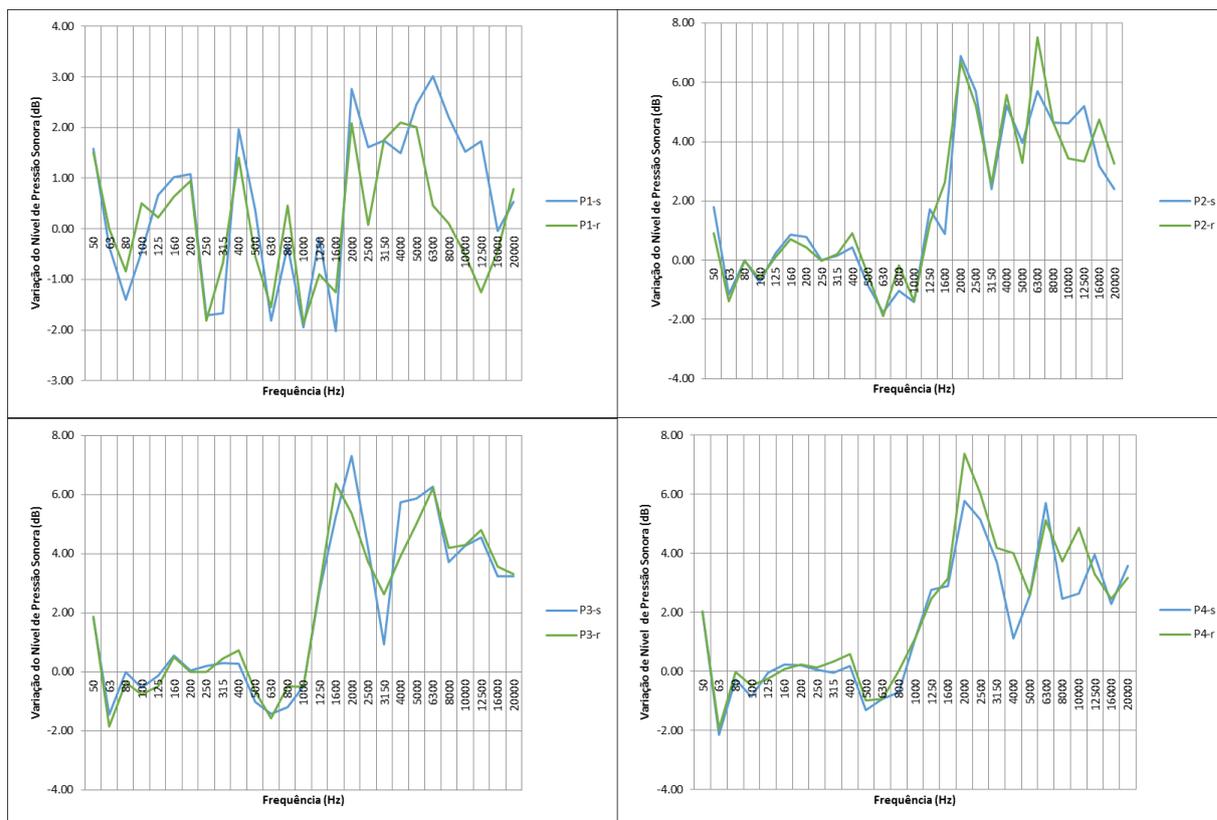


Figura 4.20 - Variação dos níveis de pressão sonora em vários nos pontos 1, 2, 3 e 4.

Em todos os pontos 5, 6, 7 e 8 presentes na figura 4.21 se nota uma maior variação de níveis sonoros nas altas frequências, tanto para a amostra relva como para a amostra de sedum.

Para o ponto 7, (ver gráfico inferior esquerdo da figura 4.21) a partir dos 630 Hz já se nota uma variação mais acentuada de níveis sonoros.

Para os pontos 5 e 6 (ver figura 4.21) a relva tem um comportamento mais favorável até aos 1250 Hz face ao sedum. Acima desta frequência nenhum dos tapetes vegetais é claramente melhor que o outro.

A maior variação de níveis sonoros ronda os 7 dB e localiza-se nas altas frequências. De uma forma geral ambos os tapetes vegetais apresentam comportamentos bastante próximos.

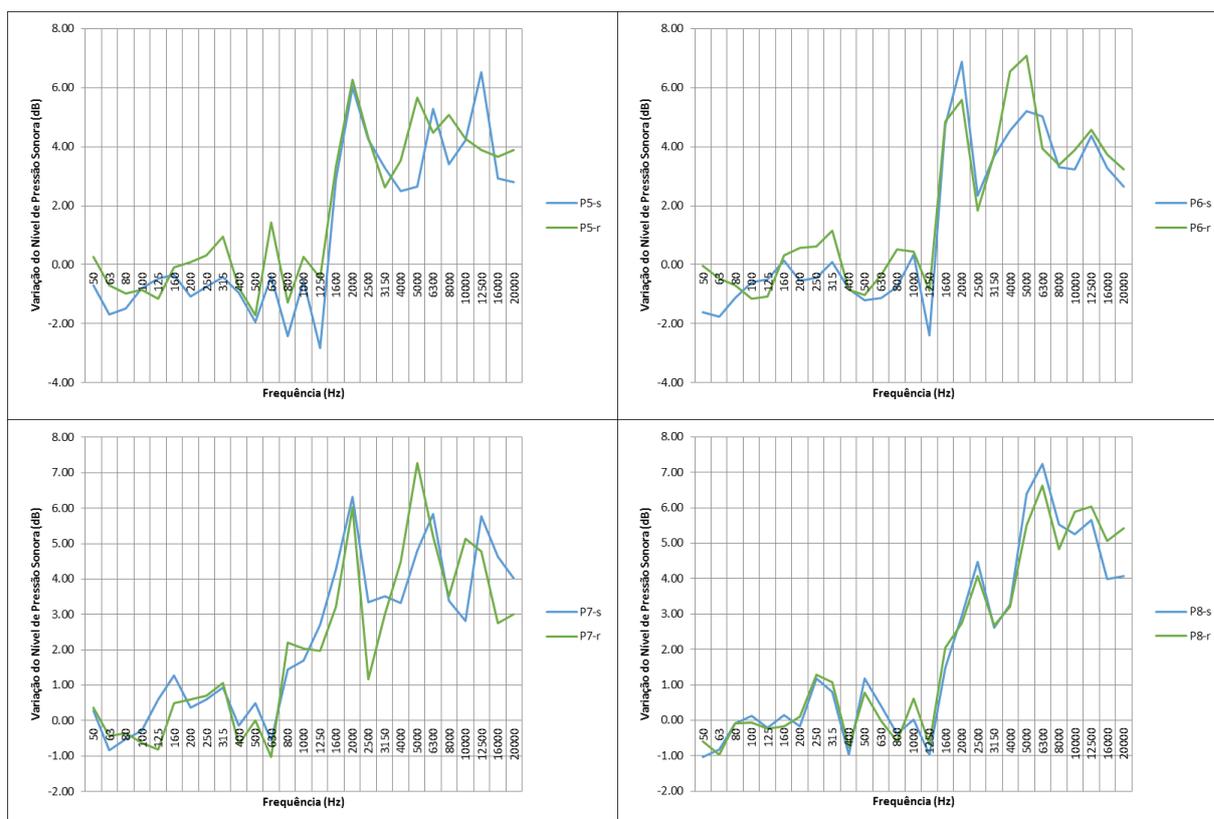


Figura 4.21 - Variação dos níveis de pressão sonora em vários nos pontos 5, 6, 7 e 8.

No ponto 9 (ver gráfico superior esquerdo da figura 4.22) a relva tem um comportamento global mais satisfatório que o sedum, sobretudo a partir dos 600 Hz. No ponto 10, ainda que menos evidente que no ponto 9, a relva também apresenta uma curva mais favorável, mas a partir dos 500 Hz (ver gráfico superior direito da figura 4.22).

Relativamente aos pontos 11 e 12, as suas curvas já apresentam um comportamento diferente dos dois anteriores (ver figura 4.22). Nestas nota-se uma grande variação de níveis sonoros, valores negativos e positivos, que se devem sobretudo à influência da estrutura sobre estes pontos.

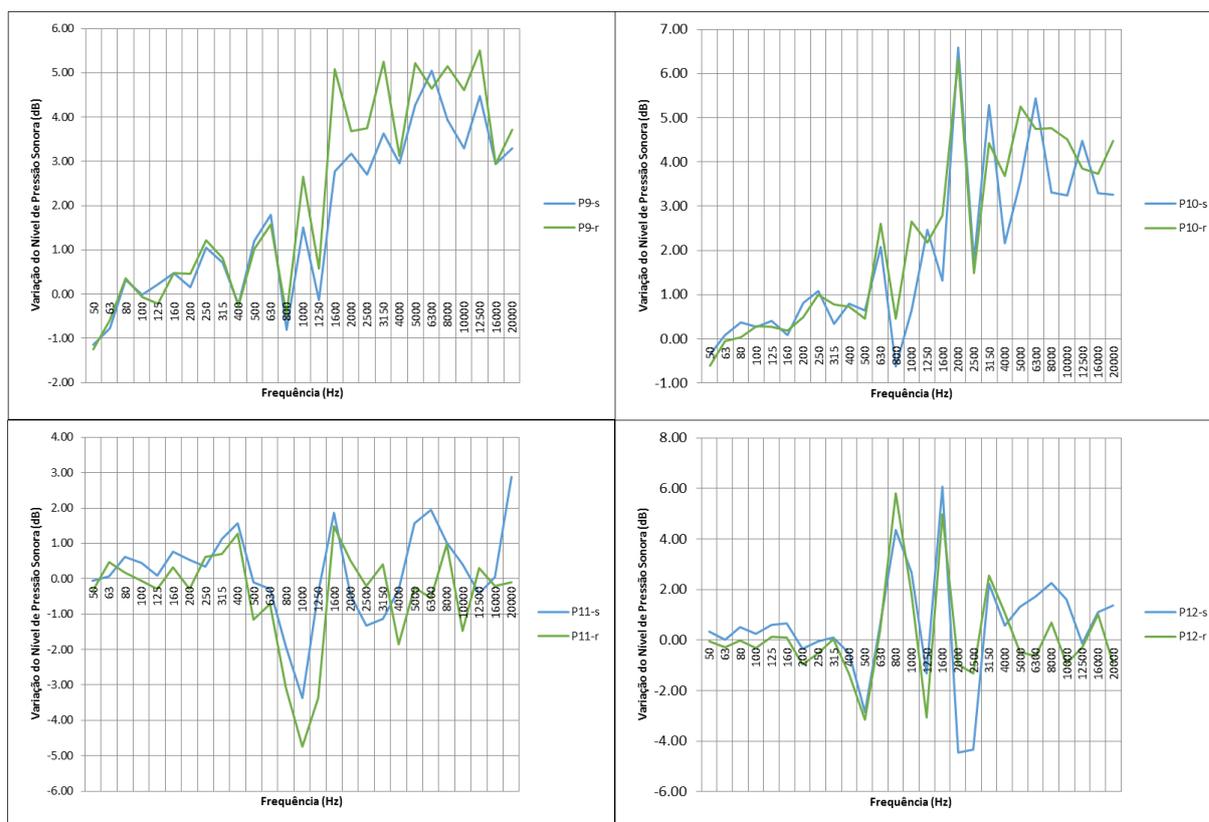


Figura 4.22 - Variação dos níveis de pressão sonora em vários nos pontos 9, 10, 11 e 12.

Os pontos 13 e 14 (ver figura 4.23) apresentam comportamentos semelhantes entre si e aos 11 e 12 (ver figura 4.22). Existem grandes variações de níveis de pressão sonora sobretudo a partir dos 315 Hz tanto para a amostra de relva como para a de sedum. A amostra de relva apresenta como maiores valores de variação de níveis sonoros 7 dB para o ponto 13 e 3 dB para o ponto 14. A amostra de sedum apresenta como maiores valores de variação de níveis sonoros 5 dB para o ponto 13 e 3,7 dB para o ponto 14.

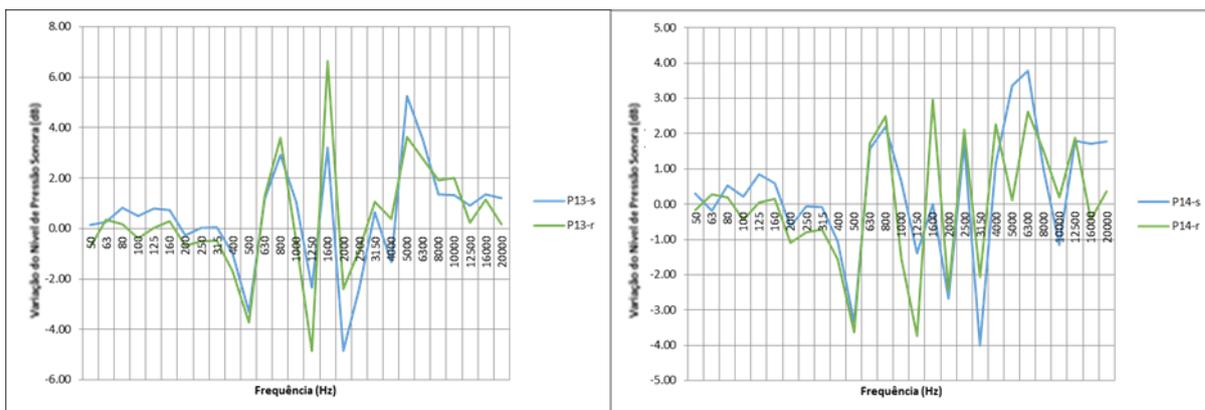


Figura 4.23 - Variação dos níveis de pressão sonora em vários nos pontos 13 e 14.

4.3 Resultados dos ensaios em câmara reverberante

Neste subcapítulo apresentam-se os resultados obtidos nos ensaios em câmara reverberante.

No gráfico da figura 4.24 podem-se observar os coeficientes de absorção sonora da relva e do sedum.

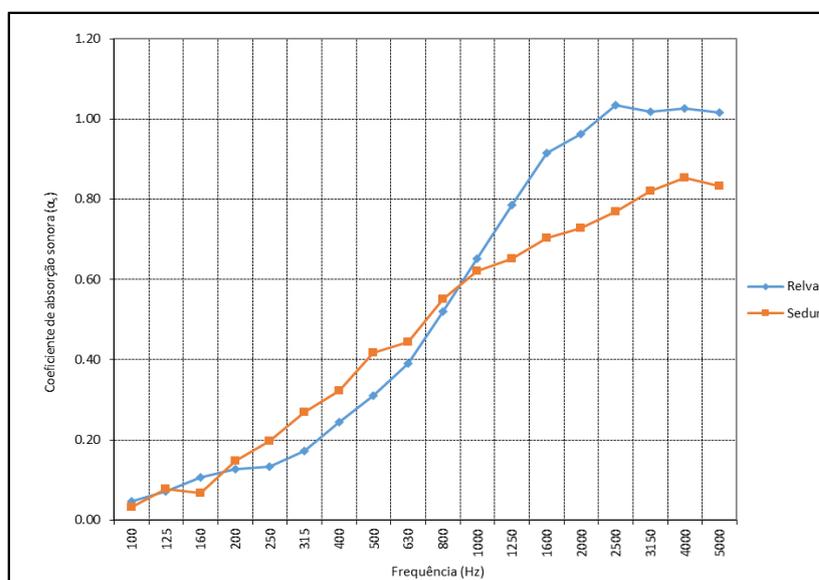


Figura 4.24 – Coeficiente de absorção sonora, α .

Ambas as amostras têm valores do coeficiente de absorção sonora similares até aos 200 Hz. Dos 200 Hz aos 1000 Hz o sedum apresenta um coeficiente de absorção sonora ligeiramente superior em relação ao da relva, invertendo-se esta tendência dos 1000 Hz aos 5000 Hz. A

diferença entre os valores da amostra de relva e da amostra de sedum é superior na gama de frequência dos 1000 Hz aos 5000 Hz.

Nas duas amostras o coeficiente de absorção sonora aumenta com a frequência. Estes resultados corroboram parte dos resultados obtidos na câmara anecoica, pois a maior absorção nas frequências mais altas conduz a níveis de atenuação sonora maiores nas altas frequências. Por outro lado, verificou-se que a relva apresenta uma maior absorção que o sedum em frequências mais altas e para algumas localizações na câmara anecoica (nalgumas frequências) notou-se uma maior atenuação sonora quando se utilizava relva.

Em teoria o coeficiente de absorção sonora anda entre os valores 0 (reflexão total) e 1 (absorção total). No entanto, este foi determinado com base na fórmula de Sabine e esta pode dar resultados menos rigorosos para materiais com coeficientes de absorção altos ($\alpha \geq 0.1$) e não distribuídos de modo uniforme (Tadeu, A. et al 2010).

4.4 Principais Resultados

Neste subcapítulo apresentam-se os principais resultados relativos a cada ensaio realizado.

4.4.1 Principais resultados do ensaio em câmara acústica vertical

O isolamento sonoro conferido pela laje de referência é sempre inferior ao das outras configurações estudadas (à exceção de algumas frequências mais baixas). O substrato e a camada vegetal em tapete contínuo são os maiores responsáveis pelo acréscimo do isolamento sonoro. Os dois tapetes vegetais têm uma contribuição semelhante para o isolamento sonoro a sons aéreos.

4.4.2 Principais resultados do ensaio em câmara anecoica

A presença de uma estrutura elevada, o distanciamento da fonte sonora ao local de medição e o distanciamento do local de medição ao tapete vegetal influenciam de modo não desprezável os valores de níveis de pressão sonora medidos.

Quanto mais longe da fonte sonora, se situa o ponto a analisar, menor é o nível sonoro medido.

Os pontos localizados fora da estrutura são muito afetados pelas ondas sonoras difratadas e refletidas.

Nos pontos protegidos pela caixa (isto é, a estrutura a localizar-se entre a fonte sonora e o ponto de medição), os níveis sonoros medidos são inferiores.

Os níveis de pressão sonora máximos são sempre nas baixas frequências.

Nos pontos que são mais influenciados pelas camadas vegetais (que se encontram sobre a camada vegetal e quanto maior a sua proximidade à mesma, maior a sua influência) existe uma maior atenuação do nível sonoro.

Os tapetes vegetais apresentaram comportamentos próximos. No entanto, para alguns pontos, notou-se que para determinadas bandas de frequência a relva apresentava uma maior atenuação sonora.

4.4.3 Principais resultados do ensaio em câmara reverberante

A relva apresenta um coeficiente de absorção máximo superior ao do sedum, com o valor de aproximadamente 1 nas frequências do intervalo 2000 Hz a 5000 Hz. Esta apresenta no geral melhores resultados que a amostra de sedum.

4.4.4 Variação do nível de pressão sonora e coeficiente de absorção sonora

Como já foi referido, o coeficiente de absorção sonora aumenta com a frequência. Apesar das curvas de variação de pressão sonora (atenuação do nível sonoro) oscilarem bastante, verifica-se que seguem uma tendência similar (crescimento com a frequência). Para ilustrar este comportamento apresentam-se gráficos com dois eixos verticais, onde se representam em simultâneo a curva do coeficiente de absorção sonora e as curvas de diminuição do nível sonoro. Esta comparação fez-se para os pontos que se situam sobre a cobertura vegetal, onde se faz sentir mais o efeito da absorção sonora.

Nas figuras 4.25 a 4.28 apresentam-se os resultados obtidos para dois conjuntos de pontos 5, 6 e 7 e 8, 9 e 10, para as situações com o tapete de relva e o tapete de sedum respetivamente.

Facilmente se observa que, de uma forma geral, existem maiores variações de nível sonoro (ΔL) quando também existe um coeficiente de absorção sonora mais elevado. Tal verifica-se sobretudo nas frequências altas.

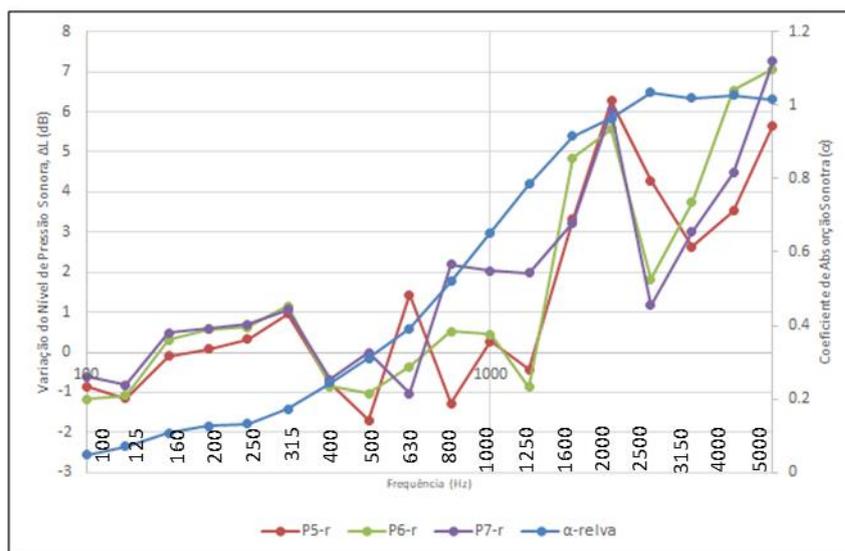


Figura 4.25 - Variação de nível de pressão sonora e coeficiente de absorção sonora para os pontos 5, 6 e 7, para a relva.

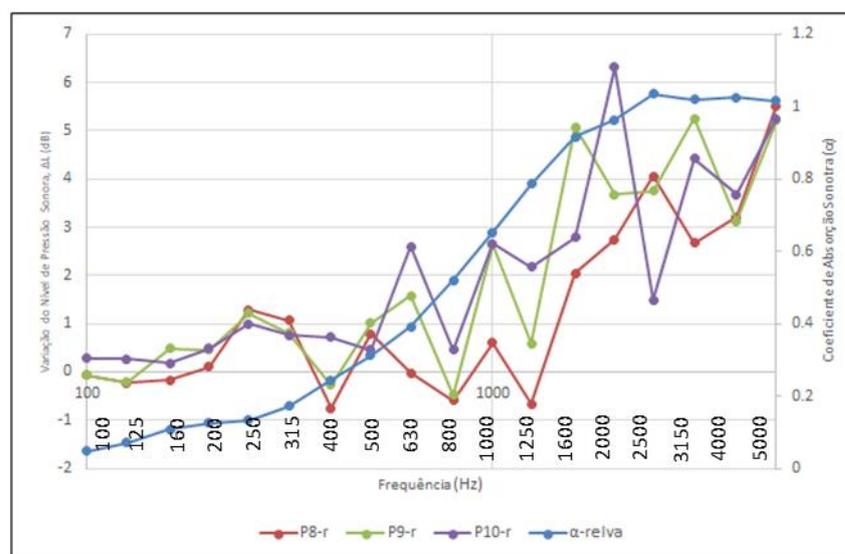


Figura 4.26- Variação de nível de pressão sonora e coeficiente de absorção sonora para os pontos 8, 9 e 10, para a relva.

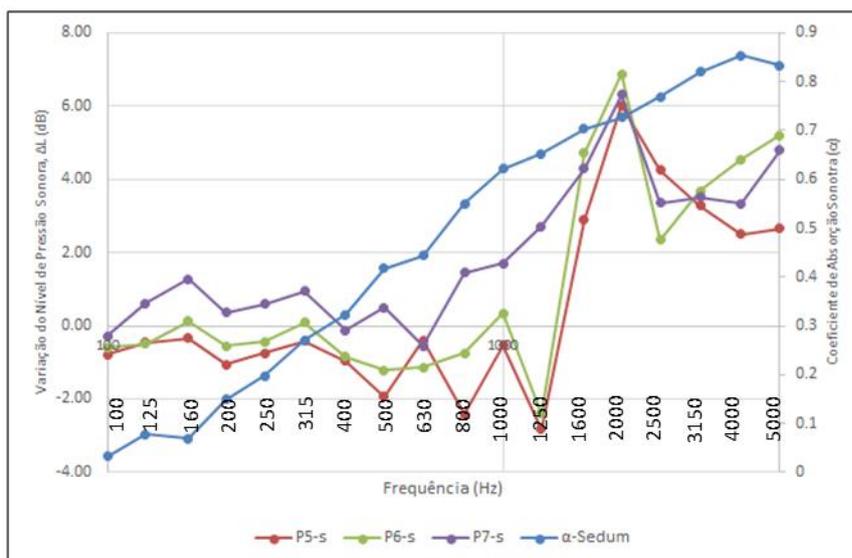


Figura 4.27 - Variação de nível de pressão sonora e coeficiente de absorção sonora para os pontos 5, 6 e 7, para o sedum.

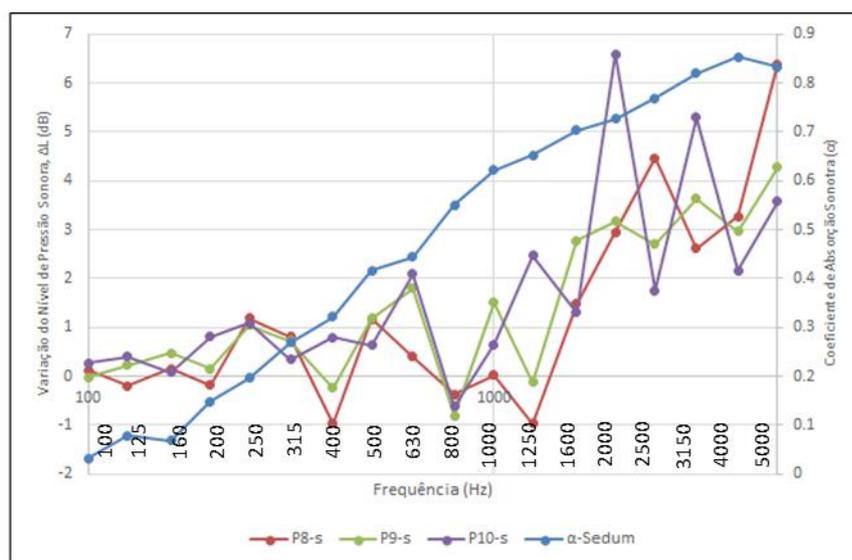


Figura 4.28 - Variação de nível de pressão sonora e coeficiente de absorção sonora para os pontos 8, 9 e 10, para o sedum.

5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O presente capítulo dedica-se à apresentação das principais conclusões obtidas ao longo deste trabalho e a alusão a possíveis trabalhos futuros.

5.1 Principais Conclusões

Nesta dissertação existiam vários objetivos a atingir. Por um lado, queria-se incorporar o aglomerado de cortiça expandida (ICB) para substituição da camada de isolamento térmico e dos elementos de drenagem e retenção de água utilizados nos sistemas de coberturas verdes tradicionais. Por outro lado, estudaram-se vários aspetos relacionados com a atenuação sonora provocada por coberturas verdes.

Foi-se estudar para duas coberturas verdes distintas (uma das quais com ICB incorporado) o isolamento sonoro a sons de condução aérea conferido pela sequência das suas camadas constituintes. Para tal realizaram-se ensaios em câmaras verticais acústicas.

Analisou-se a contribuição da cobertura verde na diminuição dos níveis sonoros no ambiente exterior. Nesta análise apenas se usou a camada mais superficial das coberturas verdes, isto é a camada vegetal, que, pelo facto de ser contínuo, é o principal elemento que contribui para a absorção sonora. Esta análise foi validada na câmara semi-anecoica.

Por fim mediu-se o coeficiente de absorção sonora dos tapetes vegetais numa câmara reverberante, uma vez que a diminuição do nível de pressão sonora depende deste.

Deste estudo pode-se concluir que:

- quanto maior a espessura do substrato, maior o índice de redução sonora;
- o aglomerado de cortiça expandida de média densidade (ICBMD 100) contribui de modo mais eficaz para o isolamento sonoro que o ICB STD e que o XPS; não condiciona negativamente o isolamento sonoro, face ao XPS; no entanto, o comportamento com as camadas todas quase não depende do tipo de isolamento térmico; a vantagem da utilização de cortiça é evitar que tenha de se usar a camada de drenagem e retenção de água;

- as maiores variações de níveis de pressão sonora geradas pela presença dos tapetes vegetais são nas altas frequências;
- os tapetes vegetais absorvem mais som nas altas frequências;
- uma vez que os tapetes vegetais apresentam coeficientes de absorção sonora superiores a 0 em todas as frequências (com valores mais elevados nas frequências mais altas) era expectável que a variação de nível sonoro (medida em câmara anecoica) fosse sempre positiva (atenuação sonora). Tal não se verificou, tendo-se registado valores negativos de variação do nível sonoro (amplificação do nível sonoro) em algumas frequências. Este facto deve-se a vários fenómenos como por exemplo a combinação de ondas sonoras refletidas e difratadas e a interação de ondas sonoras com a estrutura.

5.2 Trabalhos futuros

De modo a complementar os resultados já obtidos neste trabalho sugerem-se alguns trabalhos futuros.

Seria interessante realizar os mesmos ensaios, mas com a influência de humidade no substrato e nas plantas e com as mudanças morfológicas das plantas, tais como a densidade da folha e a orientação do ângulo da folha, no coeficiente de absorção.

Nos ensaios em câmara anecoica, seria pertinente repetir os ensaios colocando a fonte sonora noutra local, como por exemplo por cima da estrutura elevada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACNV@ (2017). <http://ancv.webnode.pt/>. Associação Nacional de Coberturas Verdes.

Ângelo, M. B. P., (2017). “Avaliação acústica de componentes que constituem as coberturas verdes”. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra.

António, J. (2015). Sebenta de “Sustentabilidade do ambiente construído”. Área científica de construções, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra, Coimbra.

Asdrubali, F., D’Alessandro, F., Mencarelli, N. (2014). “Sound absorption properties of tropical plants for indoor applications”. The 21st International Congress on Sound and Vibration, Beijing, China.

Azkorra, Z., Pérez, G., Coma, J., Cabeza, L. F., Bures, S., Álvaro, J. E., Erkoreka, A., Urrestarazu, M. (2015). “Evaluation of green walls as a passive acoustic insulation system for buildings”. Applied Acoustics, Vol. 89, pp. 46-56.

Carvalho, F. J. X., (2017). “Coberturas verdes: estudo experimental da capacidade de drenagem de água no aglomerado de cortiça expandida”. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra.

Connelly, M., Hodgson, M. (2015). “Experimental investigation of the sound absorption characteristics of vegetated roofs”. Building and Environment, Vol. 92, pp. 335-346.

EC@ (2017). <http://www.ecoeficientes.com.br/telhado-verde-com-horta-em-jardim-de-infancia-no-vietna/> . Ecoeficientes - Escritório de arquitetura especializado em Sustentabilidade.

EM@ (2017). <http://www.elizabethmartins.com.br/website/>. Elizabeth Martins Arquitetura e design de interiores.

FV@ (2017). <http://fundacaoverde.org.br/2014/01/>. Fundação Verde.

-
- Hopkins, G., Goodwin, C. (2011). “Living Architecture: Green Roofs and Walls”. Australia.
- IGRA@ (2017). International Green Roof Association - Green Roof News (2016) http://www.igra-world.com/links_and_downloads/Igra-Green-Roof-News-1-2016.pdf .
- Li, W.C., Yeung, K. K. A. (2014). “A comprehensive study of green roof performance from environmental perspective”. International Journal of Sustainable Built Environment, Vol. 3, pp 127-134.
- LN@ (2017). <http://www.landlab.pt/pt/produtos/C/coberturas-verdes>. Landlab.
- PV@ (2017). <http://www.pensamentoverde.com.br/arquitetura-verde/quais-as-vantagens-e-desvantagens-do-telhado-verde/>. Pensamento verde.
- Raposo, F. M. F., (2013) “Manual de boas práticas de coberturas verdes. Análise de casos de estudo”, Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa.
- Renterghem, T. V., Botteldooren, D. (2011). “In-situ measurements of sound propagating over extensive green roofs”. Building and Environment, Vol. 46, pp. 729-738.
- Renterghem, T. V., Forssén, J., Attenborough, K., Jean, P., Defrance, J., Hornikx, M., Kang, J. (2015). “Using natural means to reduce surface transport noise during propagation outdoors”. Applied Acoustics, Vol. 92, pp. 86-101.
- Renterghem, T. V., Botteldooren, D. (2014). “Influence of rainfall on the noise shielding by a green roof”. Building and Environment, Vol. 82, pp. 1-8.
- Renterghem, T. V., Hornikx M., Forssen J., Botteldooren, D. (2013). “The potential of building envelope greening to achieve quietness”. Building and Environment, Vol. 61, pp. 34-44.
- Renterghem, T. V., Botteldooren, D. (2008). “Numerical evaluation of sound propagating over green roofs”. Journal of Sound and Vibration, Vol. 317, pp. 781-799.
- Renterghem, T. V., Botteldooren, D. (2009). “Reducing the acoustical façade load from road traffic with green roofs”. Building and Environment, Vol. 44, pp. 1081-1087.
- Tadeu, A., Mateus, D., António, J., Godinho, L., Mendes, P. (2010). Sebenta de “Acústica Aplicada”. Área científica de construções, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra, Coimbra.
-

Wong, N. H., Tan, A. Y. K., Tan, P. Y., Chiang, K., Wong, N. C. (2010). “Acoustics evaluation of vertical greenery systems for building walls”. *Building and Environment*, Vol. 45, pp. 411-420.

Yang, H., Kang, J., Choi, M. (2012). “Acoustic effects of green roof systems on a low-profiled structure at street level”. *Building and Environment*, Vol. 50, pp.44-55.

ZI@ (2017). <http://www.zinco.pt> . Zinco.

ANEXOS

ANEXO A-1

Apresento em anexo as fichas técnicas do substrato, do filtro sistema, da tela anti-raízes e do elemento de drenagem e retenção de água usados nesta dissertação.



Substrato Landlab Intensivas Substrato técnico para coberturas intensivas e semi-intensivas

1. NATUREZA E QUALIDADE DO SUBSTRATO

O substrato técnico Intensivas, Landlab – desenvolvido segundo a normativa FLL; constituído por componentes especiais com base mineral, que lhe conferem uma textura meia-grossa, capilaridade e drenagem elevadas e equilibradas. Este substrato caracteriza-se por apresentar uma elevada componente mineral, isento de parasitas, espécies infestantes e germes fito patogénicos e grande resistência estrutural.

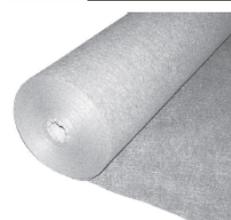
2. COMPOSIÇÃO DO SUBSTRATO TÉCNICO LANDLAB INTENSIVAS

- Húmus de casca de pinho fermentado e certificado, granulometria 0-15mm
- Turfa loura seleccionada, granulometria 0-40 mm
- Argila Expandida - granulometria 2/4mm
- Rocha vulcânica especial, granulometria 3-9mm
- pH corrigido para 5.5-6.5
- Densidade quando saturado: 700 kg/m³
- Capacidade de ar CA (AC): 32.25% v/v
- Taxa de água facilmente utilizável AFA (EAW): 23.41% v/v
- Taxa de água de reserva AR (WBC): 5.80% v/v
- Densidade aparente do substrato húmido (Dap h): 0.715
- Densidade aparente do substrato seco (Dap s): 0.214
- Taxa de contracção do volume do substrato por secagem: 11.00%
- Taxa de matéria orgânica: 74.42%
- Taxa de matéria seca: 34.97%

	Ficha técnica	Referência 3028
	Floradrain®	FD 25-E
Dados técnicos		
Floradrain® FD 25-E Elemento de drenagem e retenção de água fabricado em polietileno reciclado.		
Material:		HDPE (polietileno de alta densidade)
Cor:		Cinza escuro
Altura:		aprox. 25 mm
Peso:		aprox. 1,7 kg/m ²
Diâmetro das aberturas de difusão:		aprox. 2 mm
Capacidade de retenção de água:		aprox. 3 lit/m ²
Volume de enchimento:		aprox. 10 lit/m ²
Resistência à compressão (vazio):		> 270 kN/m ²
Capacidade de drenagem em superfície (EN ISO 12958):		
com 1 % de pendente:		aprox. 0,59 l/(s·m)
com 2 % de pendente:		aprox. 0,85 l/(s·m)
com 3 % de pendente:		aprox. 1,05 l/(s·m)
Dimensões:		aprox. 1,00 m x 2,00 m
Acessórios: Clips de união de plástico		Ref. 9620 (Conectam-se, com pressão, nas perfurações de difusão)

A.1 - Ficha técnicas do substrato e do elemento de drenagem e retenção de água.

	Ficha técnica	Referência 2100 - 2102
	Filtro Sistema	SF



Filtro de polipropileno termosoldado, utilizável como manta filtrante sobre elementos de drenagem para uma tensão e alongamento normal. Sem protecção anti-UV.



Dados técnicos			
Filtro sistema SF Filtro de polipropileno termosoldado, sem protecção UV.			
Espessura:	0,60 mm aprox.		
Peso:	100 g/m ² aprox.		
Resistência à perfuração CBR segundo normativa EN ISO 12236:	1100 N aprox.		
Resistência Classe:	2		
Resistência à tracção (200 mm) segundo EN ISO 10319:	7,0 kN/m aprox.		
Dilatação de ruptura:	40 / 55 % aprox.		
Permeabilidade (H ₂) segundo normativa EN ISO 11058:	70 l/(m ² .s) aprox. (±0.07 m/s)		
Abertura de poro (D ₉₀) segundo normativa EN ISO 12956:	95 µm aprox.		
Dimensões:			
Comp.	100,00 m	Larg. 2,00 m	Ref. 2100
		Larg. 1,00 m	Ref. 2102
Comp.	10,00 m	Larg. 2,00 m	Ref. 2101

	Ficha técnica	Referência 1040 - 1044/4 1040
	Tela Anti-raízes	WSF 40



Tela testada durante mais de 25 anos, fácil de instalar, de polietileno, respeitadora do meio ambiente, para uso como protecção anti-raízes debaixo de coberturas ajardinadas.

Dados técnicos		
Tela Anti-raízes WSF 40 Tela sem costuras de polietileno de alta resistência (PE-LD)		
Densidade:	0,94 g/cm ³	
Espessura/Peso:	36 µm / aprox. 330 g/m ²	
Cor:	preto	
Resistência à tracção:	A 20° C: 40-47 N/mm ² A 120° C: 20-25 N/mm ²	
Dilatação de ruptura:	> 400	
Espessura de camada de ar equivalente à permeabilidade de vapor de água segundo a normativa alemã DIN 52615: s	≥ 200 m	
Coefficiente de atrito:	0,29	
Dimensões:	Largura de rolo:	Referência
8,00 m x 25,00 m	ca. 2,00 m	1040
6,25 m x 20,00 m	ca. 1,60 m	1041
2,00 m x 50,00 m	ca. 1,00 m	1043
3,00 m x 33,50 m	ca. 1,50 m	1044
Fornecida em rolos de larguras de dados acima.		
Tela para garagens e outras superfícies pequenas: 6,25 m x 3,20 m		
Referência 41040		

A.2- Fichas técnicas do filtro sistema e da tela anti-raízes.