



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

AMANDA DIAS DA SILVA MENDES

JARDINS VERTICAIS ACÚSTICOS: INVESTIGAÇÃO DA QUALIDADE ACÚSTICA
DE MÓDULOS EXPERIMENTAIS DE PAREDE VERDE PARA ATENUAÇÃO DO
RUÍDO URBANO E CONTRIBUIÇÃO PARA A QUALIDADE AMBIENTAL EM
FACHADAS

Belém-PA

2018

AMANDA DIAS DA SILVA MENDES

**JARDINS VERTICAIS ACÚSTICOS: INVESTIGAÇÃO DA QUALIDADE ACÚSTICA
DE MÓDULOS EXPERIMENTAIS DE PAREDE VERDE PARA ATENUAÇÃO DO
RUÍDO URBANO E CONTRIBUIÇÃO PARA A QUALIDADE AMBIENTAL EM
FACHADAS**

Dissertação apresentada para obtenção de grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (PPGAU), do Instituto de Tecnologia, da Universidade Federal do Pará.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo da Silva Vieira de Melo

Área de Concentração: Análise e Concepção do Espaço Construído na Amazônia

Belém-PA

2018

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

- M538j Mendes, Amanda Dias da Silva.
Jardins Verticais Acústicos: : Investigação da qualidade acústica de módulos experimentais de parede verde para atenuação do ruído urbano e contribuição para a qualidade ambiental em fachadas. / Amanda Dias da Silva Mendes. — 2018.
95 f. : il. color.
- Orientador(a): Prof. Dr. Gustavo da Silva Vieira de Melo
Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.
1. Paredes Verdes. Jardins Verticais. Desempenho Acústico na Região Amazônica. Materiais Passivos Acústicos.. I. Título.

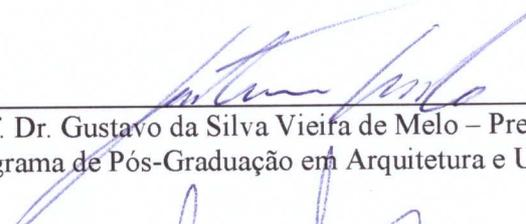
AMANDA DIAS DA SILVA MENDES

JARDINS VERTICAIS ACÚSTICOS: INVESTIGAÇÃO DA QUALIDADE
ACÚSTICA DE MÓDULOS EXPERIMENTAIS DE PAREDE VERDE PARA
ATENUAÇÃO DO RUÍDO URBANO E CONTRIBUIÇÃO PARA A QUALIDADE
AMBIENTAL EM FACHADAS

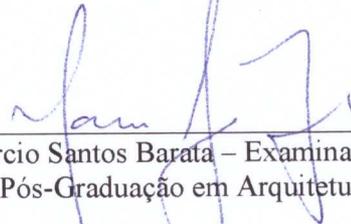
Dissertação apresentada para obtenção de grau de
Mestre em Arquitetura e Urbanismo do Programa
de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo
(PPGAU), do Instituto de Tecnologia, da
Universidade Federal do Pará

Área de Concentração: Análise e Concepção do
Espaço Construído na Amazônia

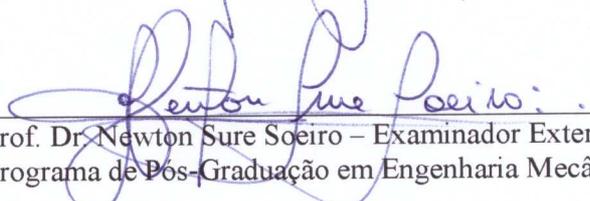
Banca Examinadora:



Prof. Dr. Gustavo da Silva Vieira de Melo – Presidente
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – UFPA



Prof. Dr. Márcio Santos Barata – Examinador Interno
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – UFPA



Prof. Dr. Newton Sure Soeiro – Examinador Externo
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica – UFPA

Aprovado em 31/08/2018

Ao coração Imaculado de Maria, aos meus
pais, aos meus futuros alunos, e
principalmente a toda nova
geração que busca o equilíbrio do
meio ambiente.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela oferta do dom da criatividade, persistência e dedicação; por possibilitar este momento, por iluminar o meu caminho em todas as horas;

Aos meus pais, Ricardo e Mônica, por todas as batalhas enfrentadas, pelo amor, abraços e noites acordadas, por todos os sorrisos e lembranças; ao meu irmão, Leonardo e da minha avó Lilia;

Ao meu orientador e professor Gustavo Melo, pelo incentivo de seguir em frente com o trabalho; por sempre se permitir ser contagiado pelas minhas ideias. Foi um exemplo de mestre, profissional, pesquisador e acima de tudo cristão; pela paciência, dedicação e transmissão de conhecimento, serei eternamente grata por ter sido sua aluna. Muito obrigada Guga.

A professora Elcione Moraes por ter me acolhido em seu Laboratório de Conforto ambiental e me dado a oportunidade de experimentar o pouquinho do sabor do que é lecionar em arquitetura;

Ao Grupo de Vibrações e Acústica e a todos os seus integrantes, em especial a Denilson Del-Tetto Ramos por toda ajuda academia e trocas de conhecimento nesses anos de mestrado;

Aos meus queridos amigos que o mestrado trouxe, o Engenheiro Civil Paulo Chagas, que além de parceiro em todos os momentos de loucura e estresse era a pessoa mais dedicada e paciente que estava, em boa parte, ao meu lado durante os experimentos; à Amanda Botelho pelo apoio de dividir medos, expectativas, sonhos acadêmicos e longas conversas que tanto me acalmaram e me deram esperança;

Aos meus amigos: Ivan Picanço por ter me sugerido como tema de mestrado as paredes verdes e ter sido o primeiro a me ajudar nessa jornada com livros de mecânica; Thainá Penha pelas ajudas técnicas, apoio emocional e conversas acadêmicas, e; Diego Carvalho pelas ajudas durante as medições com brincadeiras e estresses;

À Cláudio Leal Jr., pelo eterno carinho, dedicação e motivação de que eu sou muito maior do que meus problemas.

Sem vocês nada teria acontecido. Obrigada!

“A capacidade do ser humano modificar o seu habitat cresceu em proporções que ultrapassaram o equilíbrio de vários ciclos naturais.”

(THOMAZELLI et al., 2016)

“relação da comunicação com a arquitetura e o planejamento do espaço urbano e regional é intrínseca e altamente corroborativa, visto que, para que o processo de revitalização ocorra na contemporaneidade, vários atores sociais devem ser envolvidos e o pensamento de revitalização é mais presente do que propriamente criação pura, tendo em vista à carência de novos espaços para promoção de novas construções., (...)”

(MACEDO; CASTILHO, 2015 p. 121).

RESUMO

A presente pesquisa propõe uma investigação em laboratório do comportamento e qualidade acústica de módulos de Jardins Verticais, desenvolvidos pela autora, como uma técnica de sistema acústico passivo inaudito da região Norte do país. A metodologia do presente trabalho baseou-se em pesquisa bibliográfica, desenvolvimento e análise em laboratório, classificando o trabalho como uma pesquisa experimental, com abordagem qualitativa de caráter exploratório. A pesquisa primeiramente dispôs de estudos sobre os aspectos do Jardim Vertical: qualitativos, históricos, produções científicas, natureza, conceituais e impactos ambientais. Assim, foram desenvolvidos oito protótipos de módulos verdes experimentais, de 50x60 cm², para ensaios em laboratório avaliando suas propriedades e comportamentos acústicos. Os Protótipos foram formados com diferentes combinações de vegetações endêmicas e de fácil acesso na região, utilizando mudas de “Dinheiro em Penca” (*Callisia Repens*), “Jiboia Amarela” (*Scindapsus aureus*) e “Morceguinho” (*Hemigraphis alternata*); painéis de fibra natural de coco, manta geotêxtil grampeada, e substrato de argila expandida, dependendo da espécie. Obteve-se os resultados de que a aplicação do painel de fibra dentro de um sistema de jardim vertical agrega cerca de 30% de coeficiente de absorção sonora; acrescentando a manta geotêxtil o sistema teve um aumento de 10% podendo chegar 57% em determinadas frequências; e que mais agregam significativamente no coeficiente de absorção é do morceguinho e da Jiboia amarela. Concluiu-se que, conforme a técnica adotada de parede verde indireta com uso de módulos de fibra natural e manta geotêxtil, jardins verticais podem ser utilizados para o controle de ruído, sendo classificados como absorvedores acústicos.

Palavras-Chave: Paredes Verdes. Jardins Verticais. Desempenho Acústico na Região Amazônica. Materiais Passivos Acústicos.

ABSTRACT

The research presents a qualitative, exploratory approach, whose objective is to investigate in the laboratory the behavior and acoustic quality of Vertical Gardens modules developed by the author, as an unprecedented passive acoustical technique of the North region of the country, in the search for urban noise attenuation and contribution to environmental quality in façades. The methodology of the present work was based on bibliographic research and development and analysis in the laboratory, classifying the work as experimental research, with a qualitative exploratory approach. Firstly, a study was carried out on vertical garden aspects: qualitative, historical, scientific, nature, conceptual and environmental impacts. Thus, eight prototypes of experimental green modules were developed for laboratory tests considering panels of dimensions 50x60cm, with different combinations of vegetation, and as a basis for measurements, a conventional masonry wall, natural fiber panels and endemic vegetation easy to find in the region such as “Dinheiro em Penca” (*Callisia Repens*), "Jibóia Amarela" (*Scindapsus aureus*) and "Morceguinho" (*Hemigraphis alternata*); natural coconut fiber panels, stapled geotextile blanket, and expanded clay substrate, depending on the species. The results were obtained that the application of the fiberboard inside a vertical garden system adds about 30% coefficient of sound absorption; adding the geotextile blanket the system had an increase of 10% and can reach 57% in certain frequencies; and that more significantly add in the coefficient of absorption is of the “Morceguinho” and “Jibóia amarela”. It was concluded that, according to the indirect green wall technique using natural fiber modules and geotextile blanket, vertical gardens can be used to control noise, being classified as acoustic absorbers.

Keywords: Green Walls. Vertical Gardens. Acoustic Performance in the Amazon Region. Acoustic Passive Materials.

SIGLAS

A	Absorção sonora
Ai	Soma da absorção sonora
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<i>DIN</i>	<i>Deutsches Institut für Normung - German Institute for Standardization</i>
Ed	Energia sonora dissipada
Ei	Energia sonora incidente
Er	Energia sonora refletida
Et	Energia sonora transmitida
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GVA	Grupo de Vibrações e Acústica
<i>ISO</i>	<i>International Organization for Standardization</i>
TR	Tempo de Reverberação
NBR	Norma Brasileira de Regulamentação
NPS	Nível de Pressão Sonora
NR	Norma regulamentadora
NRF	Nível de Ruído de Fundo
R	Índice de redução sonora
S	Área superficial
TR	Tempo de reverberação
UFPA	Universidade Federal do Pará
UV	Radiação ultravioleta

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo de jardim vertical em pequenas dimensões	28
Figura 2 – Organograma de tipologias do Jardim Vertical.	30
Figura 3 – Fachada verde extensiva direta complexa.....	30
Figura 4 – Exemplo de parede viva feito pelo Movimento 90°.....	31
Figura 5 – Exemplo de fachada verde direta.	32
Figura 6 – Exemplo Parede viva modular.	33
Figura 7 – Exemplo Parede verde contínua.....	34
Figura 8 – Exemplo de fachada verde indireta.	35
Figura 9 – Exemplo de fachada verde indireta de manta geotêxtil.	35
Figura 10 – Trepadeira Hera em muro, sistema de Fachada Verde direta.	37
Figura 11 – Plantas peperômia e samambaia cultivada em vasos	38
Figura 12 – Plantas exemplos na paleta vegetal de sol pleno recomendada pelo manual de Jardim Vertical do Movimento 90°.	39
Figura 13 – Exemplos de fibras naturais.	46
Figura 14 – Extração da fibra de coco.....	47
Figura 15 – Esquema da incidência sonora do ruído urbano em paredes verdes.	49
Figura 16 – Croqui do protótipo de jardim vertical experimental.....	54
Figura 17 – Passo a passo da colocação da vegetação no protótipo de jardim vertical.....	55
Figura 18 – Placa de 60x50 cm ² de fibra de coco com 5 cm de espessura.....	58
Figura 19 – Manta geotêxtil utilizada para a confecção do sistema.	59
Figura 20 – Sistema de bolsas de manta geotêxtil vertical do experimento.	59
Figura 21 – Substratos de terra e argila expandida.....	60
Figura 22 – Minicâmara reverberante.	62
Figura 23 – Instrumentos utilizados.	64
Figura 24 – Posição dos 10 pontos de medição do microfone dentro da câmara baseados na medição de Bastos (2012).	655
Figura 25 – Vista interna da minicâmara reverberante com a amostra industrial.	677
Figura 26 – Posição dos pontos do microfone (A, B e C) dentro da câmara.	68

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Vegetações escolhidas para o experimento.	57
Quadro 2 – Exposição dos oitos protótipos selecionados.	61
Quadro 3 – Grandezas relevantes dos ensaios.	63
Quadro 4 – Ordem de execução dos protótipos para os ensaios na minicâmara.	699

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – NPS da Fonte e NRF da minicâmara.	66
Gráfico 2 – Coeficiente de absorção sonora da Minicâmara.	66
Gráfico 3 – T60 da minicâmara reverberante vazia.	67
Gráfico 4 – Comparação entre coeficientes de absorção sonora da amostra de Flexsonic© fornecidos pelo fabricante e obtidos na minicâmara.	68
Gráfico 5 – Comparativo de todos os resultados do coeficiente de absorção sonora das medições de cada componente do protótipo em função da frequência.	71
Gráfico 6 – Coeficientes de absorção sonora do módulo 01 de vegetação com painel de fibra de coco de 5 e 10 cm.	73
Gráfico 7 – Coeficientes de Absorção do módulo 02 de vegetação com painel de fibra de coco de 5 (Ensaio 08) e 10 cm (Ensaio 12).	74
Gráfico 8 – Coeficientes de Absorção do módulo 03 de vegetação com painel de fibra de coco de 5 (Ensaio 09) e 10 cm (Ensaio 13).	75
Gráfico 9 – Coeficientes de Absorção do módulo 04 de vegetação com painel de fibra de coco de 5 (Ensaio 10) e 10 cm (Ensaio 14).	76
Gráfico 10 – Comparativo dos coeficientes de absorção dos 4 protótipos com painel de fibra natural de 5 cm.	77
Gráfico 11 – Coeficientes de absorção dos 4 protótipos com painel de fibra natural de 10 cm.	78
Gráfico 12 – Comparativo entre os coeficientes de absorção sonora em função da frequência de sistemas de jardim verticais testados das literaturas referenciadas e do experimento deste trabalho.....	79

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	OBJETIVOS.....	16
1.1.1	Geral	16
1.1.2	Específicos	16
1.2	JUSTIFICATIVA.....	16
2	REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1	CONTEXTO HISTÓRICO.....	18
2.2	O DISCURSO DE VANTAGENS E DESVANTAGENS.....	20
2.3	ESTADO DA ARTE.....	21
2.3.1	Estudos de materiais acústicos passivos	24
2.3.2	O controle de ruído em paredes verdes	25
3	OS JARDINS VERTICAIS	27
3.1	TIPOLOGIAS DO JARDIM VERTICAL.....	29
3.1.1	Parede Viva	31
3.1.2	Fachadas verdes	33
3.2	ELEMENTOS DO JARDIM VERTICAL.....	36
3.2.1	A Vegetação	36
3.2.2	Meio de cultivo	40
3.2.3	Irrigação	41
3.2.4	Instalação e manutenção	42
3.3	SUSTENTABILIDADE EM PAREDES VERDES.....	42
3.3.1	Desempenho ambiental e custo	43
3.3.2	Fibras naturais	45
3.4	PARAMETROS ACÚSTICOS CONSIDERADOS.....	48
3.4.1	Acústica urbana	48
3.4.2	Absorção sonora	50
3.4.3	Coefficiente de absorção sonora	50
3.4.4	Tempo de reverberação	51
4	MÉTODO EXPERIMENTAL	53
4.1	MONTAGEM DOS MÓDULOS EXPERIMENTAIS.....	53
4.1.1	Seleção da vegetação	56
4.1.2	Painel de fibra de coco	58

4.1.3	Manta geotêxtil	58
4.1.4	Substratos	60
4.1.5	Protótipos do jardim vertical	60
4.2	PROCEDIMENTO EM LABORATÓRIO.....	62
4.2.1	Minicâmara Reverberante	602
4.3	EQUIPAMENTOS	63
4.4	PROCEDIMENTOS INICIAIS.....	64
4.5	CONFIABILIDADE DA MINICÂMARA REVERBERANTE.....	65
4.6	EXECUÇÃO DOS ENSAIOS.....	68
5	RESULTADOS	71
5.1	RESULTADOS INDIVIDUAIS DOS COMPONENTES DO MÓDULO.....	71
5.2	RESULTADO DAS COMBINAÇÕES INDIVIDUAIS DOS MÓDULOS DE JARDIM VERTICAL.....	73
5.2.1	Módulo 01 - Jardim vertical com a Jiboia Amarela	73
5.2.2	Módulo 02 - Jardim vertical com a Morceguinho	74
5.2.3	Módulo 03 - Jardim vertical com a Dinheiro em Penca	74
5.2.4	Módulo 04 - Jardim vertical com as três combinações	75
5.3	ANÁLISES COMPARATIVAS ENTRE OS PROTÓTIPOS DE JARDIM VERTICAL	76
5.3.1	Análise comparativa dos protótipos com manta de 5 cm e vegetação	76
5.3.2	Análise comparativa dos módulos com manta de 10 cm e vegetação	78
5.4	AVALIAÇÃO DO MÓDULO EXPERIMENTAL DESENVOLVIDO FRENTE AOS OUTROS ESTUDOS	79
6	CONCLUSÃO	82
6.1	TRABALHOS FUTUROS	7184
	REFERÊNCIAS	85
	APÊNDICE – Resultados das amostras dentro da minicâmara reverberante:	89

1 INTRODUÇÃO

As grandes modificações do habitat humano ultrapassam o equilíbrio natural e os centros urbanos se transformaram em grandes polos geradores de tensões ambientais. Um desses resultados é o alto índice de poluição sonora urbana (KOHLENER, 2008; BENEVOLO, 2009).

Com o número de fontes produtoras de ruído cada vez maior, a questão da acústica urbana passa a ter mais importância e, atualmente, a preocupação com a qualidade sonora não é apenas uma questão de condicionamento acústico do ambiente, mas também o controle de ruído e preservação da qualidade ambiental (SOUZA; ALMEIDA; BRAGANÇA, 2009). Para a mitigação dessas tensões, diversos autores como Manso e Castro-Gomes (2014) afirmam que cobrir edifícios com vegetação pode melhorar o ambiente urbano para a biodiversidade local, qualidade do ar e gestão de águas pluviais.

Segundo Johnston e Newton (2004) e Dunnett e Kingsbury (2008), as anomalias do conforto sonoro estão ligadas ao modo de uso/ocupação do solo e as escolhas da estética construtiva das edificações, caracterizadas pela presença de revestimentos rígidos, impermeáveis, de textura lisa e altamente reflexiva, que absorvem a radiação solar, impedem a retenção da água pluvial no solo, produzindo efeitos como as ilhas de calor, dificultando a absorção do ruído urbano, e gerando a propagação de ruídos (THOMAZELLI; CAETANO; BERTOLI, 2016). Em contraponto, Caetano (2016) observa que estudos recentes começaram a entender o papel da cobertura vegetal como equilíbrio de diversos ciclos naturais e auxílio para o meio urbano. Neste sentido, o uso de vegetações nativas possui um potencial para a redução do impacto ambiental (HEIDEN; BARBIERI; TEMPELSTUMPF, 2006).

Elementos da natureza incorporados aos projetos arquitetônicos originam espaços que favorecem psicologicamente o usuário, produzindo uma sensação de conforto espacial advindo das boas condições visuais, higiênicas, térmicas e, também, acústicas (PERÉN, 2006). Conforme Heiden, Barbieri e Tempelstumpf (2006), a aplicação de vegetações nativas no meio urbano desempenha um papel fundamental no paisagismo moderno, com baixa necessidade de manutenção, regionalismo e biodiversidade.

Os sistemas de invólucros verdes contribuem para incorporação de vegetação em fachadas, não ocupam toda área ao nível da rua, podem melhorar o ambiente urbano para a biodiversidade local, qualidade do ar e gestão de águas pluviais, assim como assumem

um efeito terapêutico através da indução do bem-estar psicológico pela presença da vegetação e qualidade da imagem das cidades, aumento do valor de propriedade, função térmica complementar e a de proteção acústica (WONG et al., 2010; RENTERGHEM et al., 2012; MANSO; CASTRO-GOMES, 2014).

Portanto, pode-se relacionar o controle de ruído à inserção da biodiversidade da flora no urbano, pois a criação de envelopes de ecologização contribui para o combate ao ruído urbano e pode ser uma saída para zonas altamente adensadas nos centros urbanos, o que para Renterghem et al. (2012), é considerado uma meta altamente sustentável.

Neste sentido, o emprego de sistemas de ecologização vertical urbana é uma forma de aplicar a humanização arquitetônica e minimizar o desconforto acústico nos edifícios, tal como o sistema de Jardins Verticais (PERINI; ROSASCO, 2013). Porém, segundo Azkorra et al. (2015) e Perez et al. (2011), há poucos estudos que investigam o potencial das paredes verdes como uma ferramenta de conforto acústico e, quando existem, suas metodologias sempre são muito diferentes. É possível estudar vegetação incorporada na edificação de três tipos teóricos: os telhados verdes, paredes verdes e os dois sistemas em conjunto.

Os Jardins verticais e seus benefícios são altamente citados, estando ligados à poupança de energia, suporte à biodiversidade urbana e controle de águas pluviais. Adicionalmente, os sistemas de paredes verdes em edificações também proporcionam a atenuação de ruído (PERINI; ROSASCO, 2013; LACASTA et al., 2016; WONG et al., 2010; ISMAIL, 2012; AZKORRA et al., 2015), além de serem recomendados atualmente por decretos municipais de bonificação como o Decreto nº 56.630 e o Decreto nº 55.994, que oferece um incentivo inicial para adoção desta técnica. Perez et al. (2011) apresenta quatro mecanismos fundamentais: o bloqueio da radiação solar pela sombra da vegetação, o isolamento térmico pelas massas de substrato e planta e a evapotranspiração de resfriamento, além do bloqueio do vento (BRASIL, 2015a; BRASIL, 2015b).

Apesar de não serem uma prática nova, Perez et al. (2011) menciona que os jardins verticais são raramente estudados, principalmente no que diz respeito à qualidade acústica. A investigação sobre essa qualidade é recente. Azkorra et al. (2015) afirmou que Sistemas de Paredes verdes em edificações proporcionam a atenuação de ruído, além da propagação da biodiversidade da flora regional.

Nos estudos básicos de acústica em que a vegetação é apontada como uma técnica capaz de reduzir ruído, deve estar pelo menos 1,5 m para alcançar atenuações superiores a 5 dB(A) (KALANSURIYA et al., 2009 apud LACASTA et al., 2016). Porém, outros

autores como Dunnett e Kingsbury (2008), Wong et al. (2010), e Horoshenkov, Khan e Benkreira (2013), afirmam que uma combinação de vegetação e uma barreira sólida podem ser uma solução eficaz e interessante. Renterghem et al. (2012) apresenta diversos métodos de redução do ruído do tráfego pela vegetação, mostrando que esta aumenta a absorção em superfícies de estrada por meio de substratos plantados. É esperada a redução de níveis de ruído e melhoria na qualidade da paisagem urbana. Elementos verticais, cada vez que são implantadas contribuem para a criação de ilhas calmas em ambientes urbanos barulhentos (ISMAIL, 2012).

Portanto, levando em consideração que é desejável prever o comportamento acústico de um sistema de construção projetado antes de ser usado em um edifício, que a vegetação é definida por diversos autores como um elemento chave para a o combate à poluição sonora nos centros urbanos, e que as pesquisas acerca de jardins verticais no país estão apenas iniciando, o presente trabalho investiga a qualidade e comportamento acústico de protótipos de um sistema passivo de jardim vertical desenvolvido para ser aplicado em fachadas de edificações voltadas para a Amazônia, que beneficiem o conforto acústico em edificações urbanas e abram portas para novos estudos sobre o tema dentro da região norte do Brasil.

No segundo capítulo levantar o estado da arte sobre o assunto, abordando as principais publicações sobre jardins verticais e suas relações com a acústica. No terceiro, são levantadas as informações sobre técnicas e definições de jardins verticais, acústica de jardins verticais, ruído urbano, vegetação e manutenção, além dos aspectos relevantes sobre fibras naturais.

O quarto capítulo apresenta o processo de confecção dos protótipos de jardim vertical, a escolha dos materiais adequados, sua estrutura e montagem, manutenção, instrumentos necessários para as medições, e descrição das medições em laboratório, considerando-se ainda as propriedades desejadas no produto, no que diz respeito às suas características. Também são apresentadas as medições de tempo de reverberação, absorção sonora de cada componente do sistema, qualidade da atenuação do ruído, bem como a discussão de todos os resultados.

Por fim, conclui-se no quinto capítulo a comparação da eficiência dos materiais do protótipo analisado e a introdução da vegetação; constatam-se mudanças significativas de uma vegetação para outra dentro de protótipos, assim como se obtém bons níveis de absorção sonora, demonstrando que os protótipos são viáveis para a qualidade de atenuadores de ruído.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Geral

Investigar o desempenho acústico, em uso, de um modelo de jardim vertical, como uma técnica acústica passiva e inaudita na região norte do Brasil, na busca da atenuação do ruído e contribuição para estudos de qualidade ambiental no projeto de envoltória de edificações.

1.1.2 Específicos

- a) Desenvolver um modelo de painéis de jardim vertical para acústica de fachadas, constituído de materiais passivos: painéis naturais, manta geotêxtil, vegetações distintas e endêmicas da Amazônia;
- b) Produzir em laboratório protótipos de módulos de jardins verticais acústicos voltados para a Amazônia;
- c) Testar em laboratório a eficiência e a qualidade Acústica dos Protótipos de jardim vertical confeccionados.

1.2 JUSTIFICATIVA

A criação envelopes verdes e inserção da biodiversidade da flora no urbano, segundo Renterghem et al. (2012), pode ser uma saída para o combate do desconforto sonoro em zonas adensadas da cidade. Assim, a literatura aponta a adoção do Jardim Vertical em fachadas como uma possível técnica de combate a estresses urbanos. Segundo Perez et al. (2011), ela permite o bloqueio da radiação solar direta pela sombra da vegetação, o isolamento térmico pelas massas de substrato e planta, a evapotranspiração de resfriamento, o controle da ventilação e a promoção do conforto sonoro.

Contudo, os autores Azkorra et al. (2015) e Barbosa e Fontes (2016) afirmam que são escassos e pobres os trabalhos que discorrem sobre jardins verticais associados como uma ferramenta acústica, e as metodologias muito diferentes, consequência disso é a falta de uma conclusão consistente, até mesmo no Brasil as análises de comportamento acústico ainda são pouquíssimas exploradas, conforme Thomazelli, Caetano e Bertoli (2016).

É interessante trazer a discussão para a região Norte, uma vez que a cidade de Belém encontra-se na região com a maior biodiversidade de flora do planeta, a Amazônia (EMBRAPA, 2012), e no ano de 2008 foi classificada com o maior índice de poluição sonora do país, apresentando nível médio de 83 dB(A), ultrapassando o nível de 70 dB(A) recomendado pela NBR 10.151/2000 (ABNT, 2000; LEÃO; ALENCAR; VERÍSSIMO, 2007). O resultado provavelmente se derivou da junção do tráfego intenso com a estética de fachadas de concreto e vidro, além da cultura local. A presença de materiais rígidos nas edificações conduz a uma forte amplificação do som e uma alta condutividade térmica. O resultado dessas somas é a geração de estresse urbano sonoro e climático para o cidadão.

Portanto, justifica-se essa pesquisa na busca por contribuir para reduzir a escassez de pesquisas sobre a técnica de jardins verticais acústicos e abrir caminho para expandir novos estudos dentro da Acústica Arquitetônica, principalmente na Região Norte do Brasil, a qualidade de investigação e desenvolvimento de um protótipo de Jardim Vertical à base de materiais naturais, seguindo a técnica de arquitetura passiva, como indício de uma possível estratégia de combate aos estresses do conforto urbano e a escassez de pesquisas voltadas a essa técnica.

Ressalta-se que a técnica explorada no trabalho apresenta uma tendência de estudos científicos atuais que visam a práticas passivas para agregar qualidade ambiental ao meio urbano cada vez mais poluído. Desenvolver um estudo sobre tal assunto em qualquer ponto do planeta é, por si só, enriquecedor para aquela localidade, pois agrega valores de conhecimento climatológico, estético, acústico, ambientais e urbanos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

As paredes verdes são densamente exploradas no contexto de Conforto Térmico e no Paisagismo, contudo a literatura nos mostra que esta é uma técnica muito mais completa. Elas são usadas na edificação como um sistema de energia passiva, que produzem sombra, microclimas agradáveis, insolação térmica fornecida por vegetação e substrato, refrigeração por evapotranspiração e barreira para ventos, além de serem uma forma de propagar a biodiversidade da flora regional (PEREZ et al., 2011). Já, no início do século XXI elas começaram a ser exploradas na área do Conforto Acústico, onde Azkorra et al. (2015) afirma que os sistemas de paredes verdes em edificações proporcionam a atenuação de ruído.

Azkorra et al. (2015), e Barbosa e Fontes (2016) afirmam que são escassos e pobres os trabalhos que discorrem sobre jardins verticais associados como uma ferramenta acústica, e as metodologias muito diferentes, consequência disso é a falta de uma conclusão consistente, o que leva, segundo Perez et al. (2011), à inexistência de normatização do sistema. Thomazelli, Caetano e Bertoli (2016) também avalia que no Brasil as análises do comportamento acústico dos jardins verticais ainda são pouco exploradas.

2.1 CONTEXTO HISTÓRICO

Historicamente, os primeiros exemplos de jardins verticais citados são os Jardins Suspensos da Babilônia (MANSO; CASTRO-GOMES, 2015). A partir do final do século XIX e início do século XX começaram então a existir as devidas preocupações com o meio ambiente, e os jardins verticais são recuperados da história das edificações e começam a serem vistos como soluções e não só estética, desde então serviriam para melhorar a vida urbana, pois com o crescimento da população houveram danos visíveis na natureza (SOUSA; LORENZI 2005).

De acordo com Manso e Castro-Gomes (2015) as paredes verdes são técnicas bastante antigas, encontradas em desenhos e descrições em pergaminhos datadas desde os Impérios Romano e Grego. Köhler (2008) afirma que a forma mais antiga de jardim vertical foi feita há 2.000 anos, no Mediterrâneo, onde durante o verão as videiras eram utilizadas em coberturas e faziam sombreamento como um envelope nas paredes, ocasionando proteção da edificação no combate à insolação. A Europa é a região que

onde mais houve incidência e registros confirmados dessa técnica.

A evolução dos jardins verticais na Europa, segundo Zenati (2016), se deu pelo início da tradição do cultivo de uva nas fachadas, onde as vinhas se agarravam facilmente nas paredes dos prédios. Os praticantes perceberam que além da facilidade de se ter uvas nas suas casas, a massa verde da planta proporcionava sombras nas fachadas, tornando a edificação mais confortável. Esta observação abriu portas para estender o cultivo de outras espécies.

Na década de 1920, os primeiros projetos de construção de moradias sociais substituíram as fachadas de tijolos altamente ornamentais por plantas trepadeiras da região. Essa prática ocasionou, conforme Köhler (2008), mais de 200 artigos lançados entre os anos de 1883 e 1940, de modo que a técnica de jardim vertical era mais divulgada do que os telhados verdes.

Em 1980 surge a premissa de que fachadas verdes poderiam contribuir para o enriquecimento ecológico das áreas urbanas, de modo que o movimento cidade-jardim surge no final do século XIX, integrando o jardim com a construção e incentivando a instalação de fachadas verdes, iniciando a ecologização em urbanismo. A cidade de Berlim (Alemanha) se tornou um exemplo urbanístico que, com estes incentivos, construiu entre 1983 e 1997, mais de 245 mil metros quadrados de fachadas verdes (KÖHLER, 2008; MANSO; CASTRO-GOMES, 2015).

A prática dos jardins verticais teve um grande benfeitor, o movimento do *Art Nouveau* do século XX que, trazendo a natureza e linhas orgânicas ao design e projetos, incentivou a integração da casa com o jardim, surgindo assim programas de incentivo à instalação de fachadas verdes (MANSO; CASTRO-GOMES, 2008). Contudo, a popularização mundial dos jardins verticais só surgiu no século XXI, com o botânico francês Patrick Blanc que, com o desenvolvimento de sua própria tecnologia, instalou e patenteou em vários países os *Mur vegeta*, tradução francesa de Muros verdes. Logo, os jardins verticais tomaram novas proporções, e atualmente estão muito além de simples trepadeiras direcionadas sobre muros (BARBOSA; FONTES, 2016).

Foi justamente com a popularização da técnica dos jardins verticais no século XXI, que começaram os questionamentos sobre o potencial da sua qualidade acústica. Porém, Barbosa e Fontes (2016) afirmam que são escassos os trabalhos que discorrem sobre jardins verticais associados à acústica, e uma das causas que apontam é a diversidade de técnicas usadas para construção do jardim vertical, o que leva, segundo Perez et al. (2011), a uma falta de normatização. Dentro do cenário Brasileiro também

não é diferente, e Thomazelli, Caetano e Bertoli (2016) avalia que no Brasil as análises do seu comportamento acústico ainda são pouco exploradas.

2.2 O DISCURSO DE VANTAGENS E DESVANTAGENS

Dentro do discurso sobre os jardins verticais, muitos autores discordam de pontos de vista das vantagens e desvantagens do seu uso. Contudo, há algumas evidências comprovadas cientificamente de seus benefícios e das circunstâncias em que não se deve adotar tal prática.

Uma das principais vantagens da utilização de paredes verdes encontra-se na escala do envelope da edificação, que se relaciona com a poupança de energia para aquecimento e resfriamento do ar, melhorando e valorizando a estética do prédio e a durabilidade das fachadas (proteção do revestimento). Logo, a utilização que as paredes verdes proporcionam à edificação e ao seu usuário envolvem a redução do consumo de energia, o suporte à biodiversidade local no meio urbano e o controle de águas pluviais (AZKORRA et al., 2015).

Ao relacionar com a acústica, Dunnett e Kingsbury (2008) afirmam que um dos maiores benefícios dos elementos verticais verdes é a redução do ruído de fundo dos automóveis, ferrovias e fontes industriais remotas. É esperada a redução dos níveis de ruído e melhora da qualidade da paisagem urbana. A implantação de jardins verticais cria ilhas calmas em ambientes urbanos barulhentos (ISMAIL, 2012).

Perini e Rosasco (2013), Lacasta et al. (2016), Wong et al. (2010), Ismail (2012) e Azkorra et al. (2015) citam os benefícios da utilização de paredes verdes, como a poupança de energia, suporte à biodiversidade urbana e controle de águas pluviais, afirmando que os sistemas de paredes verdes em edificações também proporcionam a atenuação de ruído. Em Perez et al. (2011), pode-se encontrar quatro mecanismos fundamentais: o bloqueio da radiação solar pela sombra da vegetação, o isolamento térmico pelas massas de substrato e planta, a evapotranspiração de resfriamento, e o bloqueio do vento.

Os benefícios ecológicos são significativos e Ismail (2012) lista alguns deles: isolamento de materiais de construção e componentes de construção contra a luz ultravioleta (UV), chuva e geada, provisão de habitats para animais menores, melhoria para a biodiversidade do ambiente construído, coleção de partículas importa, óxidos de nitrogênio e dióxido de carbono; redução da ilha de calor, efeito urbano em áreas

pavimentadas, bem como a melhoria dos microclimas; o reaproveitamento da água da chuva que cai sobre as paredes e pode ser usada para o próprio consumo do sistema e em sistemas de hidropônica.

As desvantagens da aplicação da técnica podem ser explicadas a partir de dois pontos: necessidade de mão de obra qualificada e a instalação demorada, considerando a complexidade do sistema estrutural. Outros pontos considerados desvantagens acerca da aplicação de vegetação sobre determinada construção não são diretamente ligados à técnica, outrossim, estão relacionadas à maneira de aplicação, manutenção e outros cuidados que devem ser observados e que evitam problemas posteriores, não podendo, portanto, serem caracterizados como desvantagens da técnica (PEREZ et al., 2011).

Quando o sistema é automático, os jardins verticais exigem pouca manutenção. Este manual reforça que a presença de um jardim vertical não deve representar riscos de infiltração à superfície instalada. Deste modo, o comportamento de jardins verticais em edificações se ramifica em vários benefícios micros (para os usuários) e macros (para o urbano); ele não é só estético, mas também traz o aumento do conforto térmico, acústico, diminuição da poluição do ar, e efeitos psicológicos (MOVIMENTO 90 GRAUS, 2017).

2.3 ESTADO DA ARTE

Atualmente, observa-se crescente procura por jardins verticais, onde muitas empresas vendem diversas técnicas verticais com discursos da qualidade que as paredes verdes podem trazer para o ambiente. Um desses benefícios é o conforto acústico. Porém, dentro do leque científico, poucos são os estudos que comprovam se tal comportamento é real. O interesse científico sobre o uso de paredes verdes em edificações e seus benefícios ambientais, conforme Köhler (2008), é recente e só veio se popularizar cientificamente no século XXI.

Wong et al. (2010) realizaram um estudo para avaliar os impactos acústicos de sistemas diferentes de vegetação vertical sobre a atenuação do som ao inserir paredes verdes nos prédios. Foram investigados oito tipos diferentes de vegetação vertical e determinado o coeficiente de absorção acústica da vegetação vertical em uma câmara reverberante, instalados em uma *hortpark*, comprovando que o coeficiente de absorção sonora aumenta com a maior cobertura de vegetação. Concluiu-se que a presença da técnica mostra uma forte atenuação para ondas sonoras de frequências médias, devido ao efeito de absorção do substrato. Os autores ressaltam que nem todos os sistemas estudados

de vegetação vertical apresentam uma redução significativa de ruído, sendo as reduções encontradas da ordem de 5dB a 10dB para frequências médias. Já no caso das altas frequências, as reduções variaram de 2dB a 4dB, tendo um experimento alcançado a redução de 9dB.

Horoshenkov, Khan e Benkreira (2013) conduziram um experimento usando espécies de plantas diferentes, para quantificar a absorção do som contra uma superfície rígida acusticamente, usando um tubo de impedância. Os resultados deste experimento mostraram que o coeficiente de absorção das plantas é controlado predominantemente pela densidade de área da folha e a orientação do ângulo da mesma. Assim, quanto maior a densidade de área da folha e quanto maior o ângulo dominante da orientação da folha em uma planta, mais elevado será o coeficiente de absorção.

Perez et al. (2011) observaram que os sistemas construtivos de telhados verdes são totalmente normatizados. Contudo, para paredes verdes não há uma definição, além de não existir uma classificação sistemática de paredes e jardins verticais. Portanto, estabelecem uma classificação dos sistemas verdes verticais para edifícios divididos em tipologias, para que futuras pesquisas possam estudar organizadamente o funcionamento das técnicas. Também afirmam que o maior impacto que o sistema tem sobre o prédio é a diminuição da temperatura da parede, que ocasiona redução do consumo de energia. A grande capacidade de fachada verde dupla-pele ou cortina verde para produzir sombra e reduzir a radiação solar na parede dos edifícios foi estudada em um caso real, verificando-se a criação de um microclima entre a parede do edifício e a cortina verde.

Vale observar que Perez et al. (2011) citam um estudo realizado no clima mediterrâneo Continental em relação ao desenvolvimento de várias plantas trepadeiras, com folhas perenes (*Hereda helix*, *Lonicera japonica*) e folhas caducas (*Parthenocissus quinquefolia*, *Clematis sp*). A densidade de folhagem alcançada, após um ano de desenvolvimento, revelou que a *Parthenocissus quinquefolia* apresenta a maior densidade de folhagem, mas que nenhuma das outras espécies selecionadas poderia cobrir toda a superfície depois de um ano. Algumas espécies também revelaram dificuldades para se adaptar às condições climáticas de locais com altas variações de temperatura ao longo do ano e pouca chuva, como a *Clematis*, a qual não resistiu às condições ambientais da época de verão.

Jaffal, Ouldboukhidine e Belari (2012) realizaram os estudos que demonstram os efeitos positivos do isolamento térmico com a instalação de telhados verdes. As paredes verdes foram comparadas às tradicionais em termos de desempenho térmico e acústico,

ressaltando-se, entretanto, que ainda não alcançaram uma maturidade técnica e comercial devido à pouca pesquisa sobre suas características físicas. Os resultados de simulações térmicas dinâmicas sugerem que a instalação de um telhado verde sobre uma casa unifamiliar de 96m² reduz a demanda de energia total em 32% para o clima mediterrâneo, 6% no clima temperado e 8% para o clima frio, deste modo tendo efeito positivo em clima mais quente. Estes aspectos levam o sistema a subsidiar a mitigação do efeito de ilha de calor urbano, melhorias para a qualidade do ar, da paisagem urbana e da biodiversidade. Telhados verdes melhoram a qualidade do isolamento sonoro, devido às adições de massa, a baixa rigidez e o amortecimento ocasionado pelo vegetal e solo.

Na pesquisa de Renterghem et al. (2012) foi analisado o tipo de envelope de construção verde e quais combinações são mais eficazes, bem como, realizaram um estudo numérico com o desenvolvimento de uma fonte de ruído em ambiente urbano e o potencial do envelope verde da edificação para alcançar a qualidade sonora. As simulações mostram que o substrato de parede verde apresenta um comportamento mais complexo e o responsável por ofertar a qualidade de absorção sonora incidente no envelope, resultando com valores de alta absorção já em frequências mais baixas. A pesquisa declarou que os efeitos de parede verde dependem das características dos materiais.

Ismail (2012) analisou os efeitos da instalação de vegetação nas fachadas de edifícios com a propagação de ruído urbano a longas distâncias, tendo a textura dos centros Islâmicos como caso de estudo. Considera os edifícios construídos como blocos retangulares com interseções de ruas perpendiculares, com cada fachada sendo atribuída a um nó em uma rede onde a energia é alocada e transferida. Energia é distribuída de uma fonte localizada para todas as fachadas visíveis, considerando quatro diferentes coeficientes de absorção de fachadas verdes verticais e quatro prédios de alturas distintas. O resultado mostrou que a variação de diferentes desenhos e composições de fachadas verdes pela extensão da rua nas fachadas dos prédios, implica em uma variação da eficiência de absorção pelas espécies de plantas diferentes.

Perini e Rosasco (2013) investigaram a capacidade econômica de diferentes tipos de sistemas de ecologização vertical. Os resultados mostraram que apenas as fachadas verdes diretas são realmente sustentáveis.

Azkorra et al. (2015) sustenta o argumento de que o substrato tende a bloquear as baixas frequências de som e, considerando que plantas bloqueiam frequências mais altas, esses sistemas podem reduzir os níveis de ruído por até 8dB. Avaliou paredes verdes

como sistema de isolamento acústico passivo, utilizando módulos de polietileno reciclado resistentes à radiação UV. Os principais resultados desse estudo foram um índice ponderado de redução sonora (R) de 15 dB e um coeficiente de absorção sonora ponderado de 0,40. Pode concluir-se que paredes verdes têm significativo potencial como ferramenta de isolamento acústico para edifícios, mas que alguns ajustes de design devem ser realizados, tais como melhorar a eficiência de vedação, e as articulações entre o módulo e as peças.

Lacasta et al. (2016) promoveram um experimento de tratamentos de absorção aplicados em paralelo a barreiras e obstáculos, para oferecer um elemento estético à integração ambiental. A vegetação é apontada como uma técnica capaz de reduzir o ruído em até 5 dB(A). Os estudos mostraram uma forte atenuação em baixa e média frequências, ocasionadas pelo efeito de absorção do substrato, e pouca atenuação em alta frequência.

Sobre os estudos de jardim vertical no Brasil, o projeto “Movimento 90” aplicou vegetação de diferentes espécies no Minhocão (Elevado Costa e Silva), em São Paulo, aproveitando algumas fachadas cegas encontradas ao redor do viaduto (MACEDO; CASTILHO, 2015; CAETANO, 2016).

Caetano (2016) testou, com mais detalhes, um protótipo de paredes verdes em tamanho real referenciado pela pesquisa de Thomazelli, Caetano e Bertoli (2016). O resultado do experimento foi uma redução do tempo de reverberação para os três casos estudados, afirmando que o agente da redução do tempo de reverberação foram as bolsas geotêxteis. O painel que apresentou maior coeficiente de absorção é o que contém o substrato, as plantas e a placa base juntos, demonstrando grande potencial para a absorção acústica, principalmente acima de 500Hz.

2.3.1 Estudos de materiais acústicos passivos

Bastos (2009) afirma que a substituição de fibras sintéticas por fibras vegetais vem tomando maiores proporções pelo fato de as fibras vegetais serem de fontes renováveis, biodegradáveis, de baixo custo, mais leves e possuírem maior perspirabilidade, substituindo os plásticos e borrachas que demandam consumo de energia e tempo de degradação elevados.

Asdrubal, Schiavon e Horoshenkov (2012) definem que a fibra obtida da casca do coco é muito rica de lignina que faz este produto muito forte e duro. Um estudo realizado

em 2011 comparou a absorção acústica de duas amostras com base em fibra de coco: a primeira com apenas a fibra da casca de coco fresco, e a segunda para simular a absorção acústica de um material industrial derivado da fibra de coco, em que alguns aditivos químicos são necessários contra fungos, parasitas e fogo. Os resultados mostraram que a absorção do coeficiente da fibra natural de coco é de 0,7 para frequências maiores do que 1360Hz, 940Hz e 578Hz, considerando a espessura de 20, 30 e 45mm da amostra, respectivamente. O material é misturado ao ligante e as propriedades de absorção são sensivelmente inferiores: o coeficiente de absorção é de 0,5 para a frequência superior a 2000Hz, 1500Hz e 1000Hz, tendo em conta, respectivamente, a espessura da amostra de 20mm, 35mm e 50mm (ASDRUBAL; ACHIAVON; HOROSHENKOV, 2012).

2.3.2 O controle de ruído em paredes verdes

A maioria dos estudos que envolvem vegetação e ruídos se refere ao efeito acústico de grandes árvores, de modo que vegetações se caracterizam como barreiras, reduzindo os níveis sonoros de três modos: primeiro o som é refletido e difratado pela rugosidade dos elementos vegetais, ramos, folhas, troncos e galhos; segundo é absorvido pela vegetação por ser densa, e a terceira é que os níveis sonoros podem ser diminuídos pela interferência destrutiva das ondas sonoras, no qual as paredes verdes se enquadram (AZKORRA et al, 2015).

De acordo com Azkorra et al (2015), os motivos que afetam o funcionamento da vegetação para o efeito de isolamento acústico são diversos como as espécies de vegetais, as dimensões da tela e a forma e a localização deles em relação à fonte do ruído. A mesma autora considera baixo o efeito de isolamento acústico de vegetação em ambientes urbanos, as quais variam de 5dB a 10dB. Contudo, é largamente aceito na literatura que os jardins verticais proporcionam o benefício da absorção sonora, este efeito ocorre pela soma de dois parâmetros: pela vegetação e pelo próprio substrato (solo).

De acordo com Dunnett e Kingsbury (2008), as plantas e substrato tendem a bloquear sons com frequências superiores e medianas, respectivamente. Os experimentos de muros verdes geralmente apresentam o resultado de uma redução substancial de energia sonora em faixas de alta frequência, devido ao espalhamento das folhas, que não possui o tempo de reverberação baixo, afetando diretamente na faixa de absorção sonora entre 250 e 1kHz (WONG et al, 2010). Já o substrato, que é um meio altamente poroso, possui forte atenuação em baixas e médias frequências, e pouca atenuação em alta

frequência (RENTERGHEM et al., 2012; LACASTA et al., 2016).

De acordo com Renterghem et al. (2012), a presença de água dentro do substrato poderia afetar fortemente as suas propriedades de absorção. Um aspecto a acrescentar também é a escala. Para Perini e Rosasco (2013), as dimensões da construção ou bairro/cidade onde o sistema será instalado, determinará o quanto de benefício ele poderá atingir.

3 OS JARDINS VERTICAIS

Diversos autores afirmam que a popularização dos jardins verticais como uma prática ambiental e não só estética, desempenhando assim um papel de melhoria da qualidade de vida da população (ZENATI, 2016). O jardim vertical é uma estratégia bioclimática passiva chamado de ecologização vertical urbana, segundo Perini e Rosasco (2013). Logo, pode ser utilizado como uma forma de minimizar o desconforto ambiental nos edifícios e trazer humanização arquitetônica ao mesmo, podendo ser indicado como uma das soluções para amenizar o problema das ilhas de calor urbano e a qualidade do ar.

A visão que o público possui sobre essa técnica é das fachadas verdes tradicionais, constituídas por plantas e trepadeiras, que se desenvolvem diretamente nas paredes das edificações, sem qualquer sistema construtivo participativo, estando geralmente ligada à ideia de patologias, infiltração, insetos, animais, e alto custo de manutenção. Entretanto, há o recente desenvolvimento de diferentes sistemas que permitem a ecologização das fachadas dos edifícios, os quais têm evoluído tecnicamente em relação aos tradicionais (PEREZ et al., 2011).

Os termos “parede verde”, “sistemas de vegetação vertical” e “jardim vertical” referem-se a todos os sistemas que permitem o crescimento e desenvolvimento de vegetação em superfícies verticais, diretamente nas paredes ou em outra estrutura que sustenta a vegetação (BARBOSA; FONTES, 2016; MANSO; CASTRO-GOMES, 2014). Quando é passada a definição teórica para a prática, é possível observar que se encontra uma grande discussão dentro do ramo: a dimensionalidade do sistema e a dimensão mínima necessária para que uma técnica seja considerada um jardim vertical.

A dimensão do sistema de jardim é um aspecto que influencia na função que a técnica vai exercer para com o elemento construtivo ou arquitetônico. Logo, os exemplos em menor escala também apresentam todos os elementos obrigatórios para se classificar um jardim vertical. Barbosa e Fontes (2016) argumentam que esse aspecto não é mencionado por quase nenhum dos estudos referentes à técnica, entendendo que assim como as dimensões de grandes fachadas, os pequenos quadros verdes internos, muretas, pequenas trepadeiras em janelas e afins também são consideradas jardins verticais contemporâneos, como mostra a figura 1.

Figura 1 – Exemplo de jardim vertical em pequenas dimensões.



Fonte: Zenati, 2016.

O jardim vertical é classificado como um sistema ou estratégia de arquitetura bioclimática passiva da zona 7 de massa térmica de resfriamento da carta bioclimática (LAMBERTS; DUTRA, PEREIRA, 2014). Podem ser compreendidos juntos ou separadamente em três temas: a bioclimatologia, a estética visual e o efeito acústico. Esses ramos exploram a minimização dos impactos ambientais de ruído, poluição do ar, ilha de calor e poluição visual do concreto e vidro; e ao mesmo tempo levantam o argumento de uma Arquitetura mais saudável e completa ao usuário, com técnicas passivas e adaptadas a cada situação.

Paredes vivas possuem uma incrível variedade de vegetação, que não se constitui somente de plantas escalonadas, oferecendo mais potencial criativo e autêntico (PERINI; ROSASCO, 2013), o que contribui muito para a biodiversidade. Essa prática permite o desenvolvimento de novos conceitos estéticos, baseados na criação de soluções artísticas com diferentes espécies de plantas, explorando o uso de padrões, textura, variações na cor, textura, formas de folhagem e densidade, vitalidade e crescimento. Exemplos disso são os novos conceitos para paredes verdes que levam a aplicação de legumes e ervas nas fachadas, tanto no sistema modular quanto no contínuo (MANSO; CASTRO-GOMES, 2014).

Segundo Köhler (2008), a técnica é muito bem-vinda quando há pouco espaço no solo, os custos de instalação são baixos, com vida útil de 10 anos e benefícios ecológicos significativos. Dunnett e Kingsbury (2008) aconselha o uso de fachadas verdes em lugares propensos à poluição do tráfego de veículos ou às ações de vandalismo que prejudiquem os espaços verticais. Os jardins verticais protegem a parede de fachadas de prédios e oferecem benefícios semelhantes aos obtidos com a instalação de um telhado verde (KÖHLER, 2008). Em Macedo e Castilho (2015), observa-se que jardins verticais

em fachadas de edifícios urbanos conseguem se harmonizar com projetos governamentais:

Quando trabalhada em harmonia com projetos governamentais, a arquitetura torna-se uma forte aliada para a construção de uma identidade cultural, permitindo assim que se construam novos contornos socioeconômicos relacionados à nova identificação cultural adotada (MACEDO; CASTILHO, 2015, p. 116).

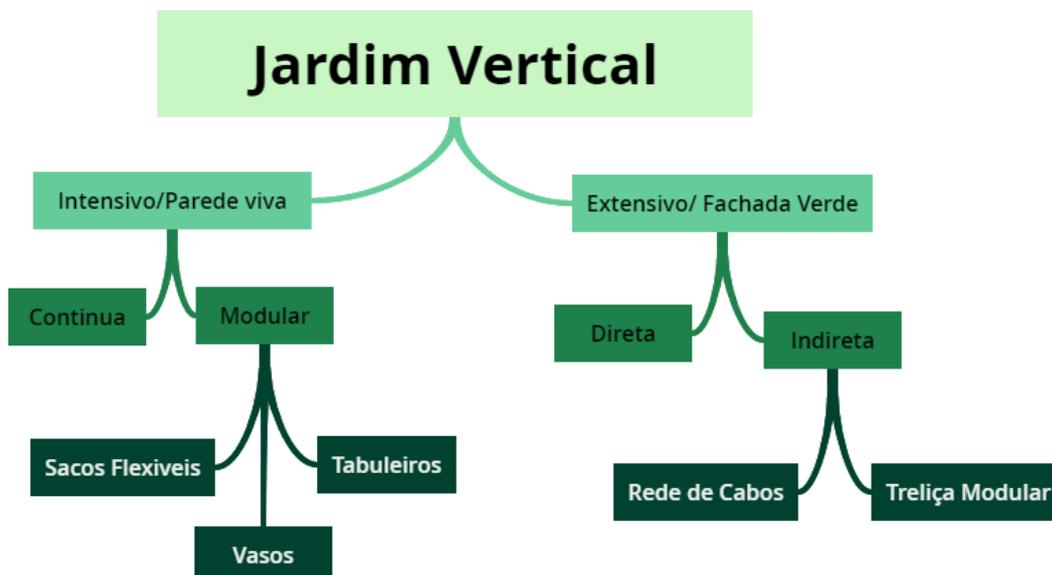
O processo de construção de um jardim vertical, segundo a cartilha do Movimento 90° (2017), pode ser dividido em quatro principais etapas: primeiro a montagem da estrutura, segundo a instalação do sistema de irrigação, em seguida o plantio das espécies vegetais e, por último, quando já instalado, a manutenção do jardim quando necessária. É importante frisar que nem todos os sistemas seguem este processo, isso devido à quantidade muito grande de diferentes técnicas desenvolvidas ao longo do tempo.

3.1 TIPOLOGIAS DO JARDIM VERTICAL

Devido ao atual desenvolvimento tecnológico, existem muitos tipos e técnicas de jardins verticais. Desse modo, é importante identificar e classificar os sistemas de paredes verdes, de acordo com suas características principais e técnicas. Perini e Rosasco (2013) utilizaram o termo “sistemas de ecologização vertical” para definir o que é um jardim vertical no meio urbano. Dessa ideia, derivam-se os outros vários termos referentes à técnica como jardim vertical, bioparedes, sistemas verticais verdes, e sistemas de vegetação vertical (MANSO; CASTRO-GOMES, 2014).

Para Barbosa e Fontes (2016), o fator que determina um jardim vertical é o crescimento da vegetação e o meio no qual se desenvolve, em uma parede ou pela estrutura, em solo ou vasos. Logo, trata-se essencialmente da característica construtiva e destaca-se o local aonde a planta irá se fixar, crescer, desenvolver e permitir a cobertura de superfícies verticais pela massa vegetativa. Divide-se assim o jardim vertical em duas tipologias: as fachadas verdes e as paredes vivas (figura 2)

Figura 2 – Organograma de tipologias do Jardim Vertical.



Fonte: Barbosa e Fontes, 2016. Adaptado.

Dunnett e Kingsbury (2008) afirmam que existe uma diferença evidente entre as fachadas verdes, onde geralmente são plantas trepadeiras que crescem ao longo da parede cobrindo-a, e o recente conceito de paredes vivas, que incluem materiais e tecnologia para oferecer suporte a uma ampla variedade de plantas, criando um crescimento uniforme ao longo da superfície (MANSO; CASTRO-GOMES, 2015). A classificação considera a distinção da construção dos sistemas, pois cada um se adequa a diferentes tipos de plantas e manutenção.

Assim como os telhados verdes, as paredes verdes são divididas em extensivas e intensivas (PEREZ et al., 2011). As extensíveis são de fácil construção e têm mínima necessidade de manutenção, embora já existam outros sistemas mais complexos que exigem alto nível de manutenção posterior (BARBOSA; FONTES, 2016) (figura 3).

Figura 3 – Fachada verde extensiva direta complexa.



Fonte: Köhler, 2008.

De acordo com Manso e Castro-Gomes (2015), os desenvolvimentos mais recentes destacam-se no design dos sistemas e seus elementos (apoios, mídia, vegetação, irrigação e drenagem), que buscam melhorar o desempenho do sistema para os clientes, durante todas as fases: instalação, manutenção e substituição. No mercado, as empresas buscam uma maior capacidade de adaptação dos sistemas em espaços comerciais, e edifícios considerados altos; os métodos de construção são largamente explorados: construção de muros, novos ou existentes; e tipos de superfícies, superfícies inclinadas, paredes de divisória interna e independente de estruturas, também são pontos explorados na evolução dos sistemas de parede verde (BARBOSA; FONTES, 2016).

3.1.1 Parede Viva

Essa técnica é ramificada em dois tipos: paredes vivas contínuas e modulares. Esses dois tipos são classificados de acordo com a presença, indispensável, de uma estrutura de suporte metálico presa na parede, formando um afastamento entre a parede e a vegetação, onde esse bolsão de ar que é formado pelo distanciamento proporciona isolamento térmico e acústico. De acordo com Barbosa e Fonte (2016), esse sistema possui alta tecnologia, e geralmente é colocado em grandes extensões de paredes (figura 4).

Figura 4 – Exemplo de parede viva feito pelo Movimento 90°.



Fonte: Macedo e Castilho, 2015.

Seus componentes são: suporte estrutural afastado da parede, membrana impermeável e um painel modular, em que a vegetação é implantada. O suporte estrutural

prende a base do painel e protege a parede da umidade. O painel suporta as camadas próximas, é coberto com camadas permeáveis, com terra ou manta geotêxtil e raízes que formam telas. A camada externa da tela possui espaços que permitem a introdução de plantas individualmente, bandejas, vasos, telhas do plantador ou sacos (MANSO; CASTRO-GOMES, 2015).

O tipo contínuo é denominado desta forma devido a não possuir barreiras físicas que impeçam o crescimento da vegetação. De acordo com Barbosa e Fontes (2016), foi desenvolvido por Patrick Blanc. Seu sistema é composto por uma estrutura metálica e camadas de feltro, nos quais, por cortes, a vegetação é implantada, formando-se um bolso, em que se enraízam as plantas ao longo de todo o substrato de adubo ali colocado (figura 5).

Figura 5 – Exemplo de parede viva contínua.



Fonte: Zenati, 2016.

Já o tipo de parede viva modular são peças finitas com um determinado tamanho pré-fabricado, que se justapõem formando painéis (figura 6). Dependendo do fabricante, podem ser fixados em uma estrutura ou diretamente montados na parede.

Figura 6 – Exemplo parede viva modular.



Fonte: Fedrizzi, 2013.

Na literatura encontra-se que as vantagens do uso da parede verde é devido ela se adequar a qualquer fachada, possuem maior área de cobertura devido não terem limite de altura, o resultado da vegetação é percebido no mesmo instante da instalação, plantio mais denso, pode ser aplicada em ambiente internos e externos, pode ser integrada a outros sistemas de tratamento, materiais leves, e não apresenta problemas com umidade devido à impermeabilização (MANSO; CASTRO-GOMES, 2015; PEREZ et al., 2011).

3.1.2 Fachadas verdes

De acordo com Perez et al. (2011), a fachada verde é um sistema de fachada na qual as plantas são suspensas e/ou escaladas como arbustos desenvolvidos, usando um suporte estrutural pertinente ao que o projeto exige, que busca cobrir a área desejada, podendo ser plantadas diretamente no solo ou em vasos diferentes, classificada como uma técnica extensiva e indicada para uso externo. As fachadas verdes, conforme Dunnett e Kingsbury (2008), podem crescer nos dois sentidos, de cima para baixo ou de baixo para cima.

Perez et al. (2011) classifica três sistemas de fachadas verdes: fachada verde tradicional, fachada verde dupla e fachada verde em vasos. Já para a maioria dos autores como Dunnett e Kingsbury (2008) e Manso e Castro-Gomes (2015), são classificadas como direta ou indireta. Barbosa e Fonte (2016) detalham que as fachadas verdes podem ser ramificadas em um sistema direto (a fachada tradicional de Perez et al., 2011), no qual

a vegetação se fixa diretamente na parede ou superfície estrutural da edificação.

Um sistema de fachada verde direta é aquele no qual as plantas conectam-se diretamente à parede, sem substratos ou outras barreiras de sustentação (figura 7).

Figura 7 – Exemplo fachada verde.



Fonte: Fedrizzi, 2013.

O sistema indireto é aquele no qual a vegetação cresce de forma independente na parede da edificação, em sistemas propositalmente preparados para receber, fachada dupla, vegetações indiretas que são formadas por estrutura de apoio para a vegetação. A segunda é em forma de rede de cabos flexíveis e leves, fixados na parede por uma estrutura muito leve que fornece suporte para as trepadeiras. Têm intervalos menores e são orientadas como suporte de plantas de lento crescimento. Conforme Perez et al. (2011), as treliças modulares são treliças metálicas leves, com módulos montados na parede ou em alguma estrutura independente, onde essas treliças são o suporte para as trepadeiras e plantas penduradas (figura 8).

Figura 8 – Exemplo de fachada verde indireta.



Fonte: Perez et al., 2011.

A fachada verde indireta de vasos ocorre quando uma parte da vegetação é plantada ao redor do prédio para constituir uma cortina verde. É feita de painéis com matas geotêxtis, que são fixados em um suporte vertical ou sobre a estrutura da parede. Os painéis e feltros geotêxtis podem ser de diferentes tamanhos e tipos, com nichos em que o substrato e as plantas estão localizados, fornecendo suporte à vegetação formada, samambaias, e pequenos arbustos (PEREZ et al., 2011) (figura 9).

Figura 9 – Exemplo de fachada verde indireta de manta geotêxtil.



Fonte: Köhler, 2008.

As vantagens de uma fachada verde indireta são a inexistência de contato da vegetação com a construção, e baixos problemas de umidade. Suas desvantagens incluem o alto custo da instalação devido à tecnologia, e a quantidade maior de componentes, o que eleva o custo da manutenção. Adicionalmente, o sistema é refém do crescimento natural da planta escolhida (KÖHLER, 2008; PERINI et al., 2011).

3.2 ELEMENTOS DO JARDIM VERTICAL

Cada sistema parede verde tem suas próprias características, com vantagens e desvantagens, dependendo de sua estética potencial, custo e necessidades de manutenção. A seleção do sistema mais adequado está diretamente relacionada com o caráter da edificação, sua orientação, acessibilidade, altura e condições climáticas nas quais o projeto está inserido, exposição ao sol, sombra, vento e chuva. Por isso, é importante compreender as diferenças na composição e suas características principais.

3.2.1 A Vegetação

Todos os sistemas de jardim vertical são constituídos essencialmente de vegetação, que são organismos vivos que possuem diversas necessidades, deste modo é indispensável conhecer o comportamento, as condições locais e climáticas adequadas para cada espécie e tipo de planta (PEREZ et al., 2014).

O ambiente urbano pode ser hostil a muitas espécies nativas da flora, e quando conseguem sobreviver nesse ambiente são removidas devido fugirem de algum padrão de paisagismo, contudo, algumas plantas nativas podem se desenvolver nesses ambientes de forma eficiente (HEIDEN; BARBIERI; TEMPELSTUMPF, 2006). Conforme a literatura, as plantas mais adequadas para sistemas verticais são tipo trepadeiras (KÖHLER, 2008; PERINI et al., 2011; MANSO; CASTRO-GOMES, 2015; BISCARO; OLIVEIRA, 2014), entretanto isto não é uma regra, e atualmente, com o desenvolvimento dessa tecnologia, alguns modelos de jardins verticais permitem que plantas de raiz rasa ou de poucas raízes e até mesmo plantas do tipo suculentas possam estar presentes em paredes verdes (figura 10).

Figura 10 – Trepadeira Hera em muro, sistema de Fachada Verde direta.



Fonte: Manso e Castro-Gomes, 2015.

Santos e Teixeira (2001) afirmam que muitas cidades brasileiras são deficientes em áreas verdes e quando possuem são espécies exóticas não nativas. Heiden, Barbieri e Tempelstumpf (2006) afirmam que a demanda de vegetações nativas é existente em projetos paisagísticos, contudo não vem sendo atendida pelas empresas, o que enfraquece a proposta de um paisagismo mais ecológico, regionalista, adequado para as cidades brasileiras. Conforme Heiden, Barbieri e Tempelstumpf (2006), a aplicação de vegetações nativas no meio urbano desempenha um papel fundamental no paisagismo moderno de jardins com baixa necessidade de manutenção, que possuem estética e composição regional e a principal, a biodiversidade na área urbana.

As plantas trepadeiras têm limitações de crescimento: de acordo com Dunnett e Kingsbury (2008), algumas espécies atingem de 5m ou 6m, outras 10m e até cerca de 25m de altura, levando cerca de 3 a 5 anos para atingir a cobertura total. A vegetação trepadeira é considerada uma solução mais viável para paredes vivas, devido a várias questões: se desenvolve verticalmente, é econômica e encontrada com facilidade, e possui uma diversidade de tipos. Estas espécies de planta podem ser encontradas em dois tipos principais de folhagem: perenes e caducas (MANSO; CASTRO-GOMES, 2015). As trepadeiras foram usadas tradicionalmente na Alemanha e na França para cobrir as paredes exteriores de edifícios pequenos. Conforme Dunnett e Kingsbury (2008), em climas quentes ou durante o verão são instaladas em pérgulas para sombrear o envelope de edifícios.

Podem ser especificadas também as espécies vegetais que não precisam de nenhum substrato, como as bromeliáceas, orquídeas, cactáceas, ou de pouco substrato (10cm a 15cm), como as herbáceas perenes, normalmente utilizadas como forração (BAROSKY, 2011).

De acordo com a Cartilha do Movimento 90° (2017), fora as trepadeiras, as plantas da espécie epífitas e litófitas são perfeitas para serem usadas em jardins verticais, pois a primeira vive sobre outras plantas e possui suas raízes superficiais e as litófitas crescem sobre rochas e alimentam-se de musgos, sais minerais presentes nas rochas, água da chuva e até mesmo dos seus próprios tecidos mortos. Outras plantas adequadas são: *gesneriaceae* (columéias); *psilopytes* e *ophioglossophytes* (samambaias); e a *piperacea* (peperômias) (figura 11).

Figura 11 – Plantas peperômia e samambaia cultivada em vasos.



Fonte: autoria própria, 2017.

A *Callisia repens*, devido ao grande volume de folhagem e à maior massa de folhas suculentas, proporciona um diferencial de absorção/atenuação acústica, aumentando a porosidade dos painéis e dispersão do som nas folhagens (THOMAZELLI; CAETANO; BERTOLI, 2016).

Horoshenkov, Khan e Benkreira (2013) mostram que o coeficiente de absorção das plantas é controlado predominantemente pela densidade de área da folha e a orientação do ângulo da mesma, de modo que quanto maior a densidade de área da folha e quanto maior o ângulo dominante da orientação da folha em uma planta, mais elevado será o coeficiente de absorção.

O manual técnico do Movimento 90° (2017) cita várias espécies adequadas para cada tipo de fachada, plantas de sol pleno, meia sombra e sombra total. Ressalta também que nem sempre é viável financeiramente adotar plantas locais; a escolha mais adequada é por plantas endêmicas, pois deste modo para a utilização das plantas, de acordo com Barbosa e Fontes (2016), deve se considerar as exigências quanto ao clima, exposição à

radiação solar, crescimento, nutrição e necessidade hídrica. De acordo com Manso e Castro-Gomes (2015), diminui o custo de manutenção e facilita a aceitação do público (figura 12).

Figura 12 – Plantas exemplos na paleta vegetal de sol pleno recomendada pelo manual de Jardim Vertical do Movimento 90°.



Fonte: Movimento 90°, 2017.

Como as plantas estão suspensas, elas sofrem a ação dos ventos, chuva e radiação

solar direta, em um ambiente artificial à proporção nutritiva tende a ser é baixa e deve ser controlada por manutenções. Manso e Castro-Gomes (2015) ressaltam que a vegetação adequada para jardins verticais deve atender à preocupação com a longevidade. Desta forma, consegue-se um bom resultado financeiro para o usuário. Já para Barbosa e Fontes (2016), uma das primeiras prerrogativas ao escolher a vegetação para o jardim é a incidência luminosa.

As soluções estéticas das paredes verdes, segundo Manso e Castro-Gomes (2015), são baseadas na criação de soluções artísticas com diferentes espécies de plantas, explorando o uso de padrões, textura, e variações na cor. Essas soluções trouxeram uma ampla variedade de espécies de plantas para paredes verdes, permitindo a integração de espécies perenes, gramíneas e arbustos, enquanto suas necessidades de regas e nutrientes são tidas em conta. Além disso, é fundamental analisar o desenvolvimento da planta, cor, florescimento, folhagem e a composição global da planta, de acordo com as intenções artísticas de um certo prédio como um edifício que se enquadra em um contexto urbano, além da distinção de um determinado espaço de construção ou interior (MANSO; CASTRO-GOMES, 2015).

3.2.2 Meio de cultivo

De acordo com Manso e Castro-Gomes (2015), apenas sistemas modulares exigem um meio de cultivo e ainda possuem peso leve, pois serão suspensos e adaptados de forma que atendam à demanda das condições ambientais das espécies de plantas selecionadas. Nas paredes vivas contínuas, não há substrato; estes sistemas usam telas absorventes leves, onde as plantas são inseridas nos bolsos.

As paredes verdes comumente são baseadas em um método hidropônico, que exige um permanente abastecimento de água e nutrientes, devido à falta de substrato. Os mecanismos hidropônicos permitem o crescimento de plantas sem o solo, as telas e mantas que fazem o papel de sustentação da planta são constantemente úmidas pelo sistema de irrigação. A falta de solo é compensada pelo fornecimento dos nutrientes necessários para o desenvolvimento da planta através da própria água utilizada na irrigação (MANSO; CASTRO-GOMES, 2015).

Já o sistema modular apresenta o preenchimento com um meio de cultivo onde as raízes podem proliferar, feito de compostos orgânicos e inorgânicos, ou inclui uma camada de substrato inorgânico, geralmente de espuma, para reduzir o seu peso. As

paredes verdes modulares incluem um meio de cultivo com base em uma mistura de substrato de luz com um material granular, poroso ou expandido (por exemplo, minerais granulados com médio e partículas, coco ou reciclado tecido), a fim de obter uma boa capacidade de retenção de água. O substrato pode ser melhorado com aditivos, para o crescimento de plantas (MANSO; CASTRO-GOMES, 2015). Para Yang, Kang e Min (2012), a terra e a vegetação desempenham papéis diferentes de absorção e espalhamento do som.

De acordo com Azkorra et al. (2015), a textura dos solos determina a distribuição do tamanho das partículas de terra, que é responsável pelas propriedades acústicas. O cobre, perlite, no substrato, suscita grandes poros e, portanto, influencia significativamente no coeficiente de absorção acústica. O coeficiente de absorção do solo argiloso é baixo, com solo de baixa permeabilidade, de alta densidade.

Alguns sistemas de paredes verdes necessitam da inserção de sacos ou barreiras, como mantas geotêxtis, no meio em que se desenvolvem, evitando o desmoronamento. Estes sacos podem ocupar todo o módulo e permitir a inserção de várias plantas, ou até cobrir o meio de desenvolvimento de cada planta individualmente. Como alternativa, cada planta pode incluir uma capa individual para evitar que o meio de cultivo venha a desabar.

3.2.3 Irrigação

A irrigação de paredes verdes possui muitas variáveis e, por isso, é feita conforme o tipo de sistema, plantas escolhidas e condições climáticas. Manso e Castro-Gomes (2015) afirmam que fachadas verdes requerem um sistema de irrigação para fornecer a água necessária para o desenvolvimento das plantas.

Paredes vivas com vasos ou trepadeiras plantadas diretamente no chão conseguem uma reposição de adubos e captação de água facilmente e com manutenção. Entretanto, quando se tratam de paredes contínuas e modulares, a reposição torna-se impossível, segundo Barbosa e Fontes (2016). Nesses casos, a aplicação de um sistema hídrico automático consegue controlar o tempo e quantidade de fornecimento de água, evitando desperdícios e deixando o solo úmido na porção certa, como o sistema de gotejamento que distribui água e nutrientes para todo o sistema (BISCARO; OLIVEIRA, 2014).

O abastecimento de água pode ser feito através da instalação de tubo, localizado na parte superior, sendo este conectado a uma estrutura central que faz a distribuição. No

caso de paredes verdes contínuas, as próprias telas permeáveis permitem a distribuição uniforme de água e nutrientes ao longo da superfície. Algumas paredes verdes modulares de bandejas incluem um recesso na face superior do módulo para inserir o tubo de irrigação. As bandejas incluem vários furos no recesso para molhar a mídia crescente por gravidade (MANSO; CASTRO-GOMES, 2015).

Existem estratégias como a recuperação de água da chuva, no telhado do prédio edifício, reutilização dos coletados no sistema de drenagem, e monitoramento necessidades de abastecimento de água, através da instalação de sensores que controlam o nível de tanque de água coleta, o tempo de irrigação e as condições meteorológicas (por exemplo, a quantidade de precipitação, umidade, temperatura, pressão atmosférica) (MANSO; CASTRO-GOMES, 2015, p. 868).

3.2.4 Instalação e manutenção

Perez et al. (2014) afirma que as fachadas verdes, incluindo espécies trepadeiras, possuem mais eficácia no processo de instalação, mas há limitações na diversidade de plantas. Durante o crescimento de plantas, algumas trepadeiras também requerem orientação para garantir que elas cubram toda a superfície. É também importante alertar que algumas plantas de escalada podem danificar a superfície de edifícios, com suas raízes entrando nos espaços vazios ou em rachaduras.

O sistema de treliças modulares apresenta vantagem, quando comparado ao sistema contínuo, devido às guias da estrutura de instalação e manutenção. Manso e Castro-Gomes (2015) afirmam que a instalação de plantas em várias alturas diminui significativamente o impacto do crescimento da dispersão da escalada de plantas ao longo da superfície e permite a substituição de plantas sem sucesso. Um número crescente de paredes verdes modulares tem surgido no mercado para minimizar problemas de instalação, manutenção e substituição.

Alguns sistemas modulares permitem desmontar cada módulo individualmente ou incluir uma capa removível para substituição de manutenção ou vegetação de parede. Os elementos modulares também podem ser aninhados no outro a fim de simplificar os processos de transporte e aplicação (MANSO; CASTRO-GOMES, 2015, p. 868).

3.3 SUSTENTABILIDADE EM PAREDES VERDES

De acordo com Johnston e Newton (2004), o desenvolvimento de material sustentável requer a participação de quatro elementos que devem estar interligados: a

redução do consumo de energia e água, a minimização dos resíduos, a utilização de materiais ambientalmente amigáveis e a disponibilidade de transporte público de faturamento.

A vegetação possui um potencial de valorizar o microclima durante o inverno, formar sombras e provocar o efeito de resfriamento evaporativo. A vegetação pode ser uma alternativa a outros tipos de barreiras convencionais porque, para além do seu valor estético, sua alta absorção de som proporciona uma efetiva redução nos níveis de ruído (LACASTA et al., 2016). Ela absorve grandes quantidades de radiação solar, que pelo efeito de evapotranspiração reduz o impacto da radiação solar sobre a parede, aumentando a umidade e diminuindo a temperatura da superfície.

Os estudos de Renterghem et al. (2012), Scherer e Fredizzi (2012) e Zenati et al. (2016) comprovam que sistemas de parede verde têm a capacidade de controlar ganhos e perdas de calor, contribuindo para melhorar o conforto térmico dos edifícios e reduzir as exigências de energia para aquecimento ou resfriamento.

Manso e Castro-Gomes (2015) revelam que, atualmente, a melhor avaliação de desempenho de sistemas de parede verde é ocasionada devido ao aumento da sua aplicação em projetos de edifícios, o que resulta em uma redução do custo para se aplicar esses sistemas devido à alta disponibilidade do mercado e à demanda crescente dessa tecnologia pelos clientes.

Para sistemas que desejam alcançar metas de sustentabilidade, a vegetação da parede verde deve necessitar de baixa irrigação, ser adaptada às condições locais de exposição solar e se enquadrar nas condições atmosféricas, como vento, chuva e calor. Manso e Castro-Gomes (2015) cita que uma boa alternativa sustentável, que consegue dominar as necessidades para um sistema de parede verde sustentável, é o uso de plantas nativas. Por outro lado, dentro do mercado de produtos acústicos, é exacerbado o uso de materiais sintéticos, que só agravam o acúmulo de lixo plástico.

3.3.1 Desempenho ambiental e custo

A decisão de qual sistema verde da parede é mais apropriado para determinado projeto deve depender não só da construção e restrições climáticas, mas também do impacto ambiental dos seus componentes (por exemplo, energia ou água utilizados e reciclagem de materiais) e custos associados durante seu ciclo de vida (MANSO; CASTRO-GOMES, 2015).

Logo, criar envelopes de ecologização e ao mesmo tempo combater o ruído, para Renterghem et al. (2012), é considerado uma meta altamente sustentável. A vegetação pode ser uma alternativa a outros tipos de barreiras convencionais porque, para além do seu valor estético, sua alta absorção de som proporciona uma efetiva redução nos níveis de ruído (LACASTA et al., 2016).

Conforme Heiden, Barbieri e Tempelstumpf (2006), a aplicação de vegetações nativas no meio urbano desempenha um papel fundamental no paisagismo moderno, com baixa necessidade de manutenção, regionalismo e biodiversidade.

O custo leva em consideração também o processo de aplicação, já considerando a dimensão superficial e acessibilidade para se colocar o material, a irrigação, nutrientes e a substituição das plantas. Já o desempenho ambiental leva em consideração a camada verde vertical que pode contribuir para o desempenho da construção, com uma camada de ar estática que serve como um isolante e reduz a demanda de energia de ar condicionado de 40% a 60% em climas mediterrâneos (PERINI; ROSASCO, 2013). A presença da vegetação afeta a economia pelo aumento do valor de propriedade privada de 6 a 15%.

Outra questão importante é a durabilidade dos materiais. Diversos materiais como o PVC e outros têm uma durabilidade limitada, exigindo sua substituição de mais de uma vez durante a vida de edifícios. Os sistemas de parede verde frequentemente usam materiais com alto impacto ambiental. Para fachadas verdes diretas e indiretas do tipo 1 e 2 basta uma manutenção por ano. Estudos recentes apontam que alguns sistemas podem ter um ônus ambiental reduzido, contribuindo para a resistência térmica da parede, levando a uma redução na demanda de energia para aquecimento e arrefecimento (MANSO; CASTRO-GOMES, 2015).

Sistemas verde vertical é relevante para três características de imóveis: 'construção de ' relacionados com a tipologia e estética do edifício; ' poluição ' relacionados ao nível de ruído e ar poluição perceptível dentro o de construção; 'verde" relacionados para a presença de áreas verde/verde (também não diretamente acessíveis) perto do edifício. Esses recursos determinar o valor de uma propriedade de acordo com o mercado mobiliário O autor avaliou três áreas: uma área sem central da cidade: médio cenário; uma área central da cidade: pior cenário; uma área periférica da cidade: melhor cenário. Quando estas três características variam, o valor da propriedade irá variar conforme; na presença de um bom estado de todas as três características, o valor da propriedade pode aumentar de um mínimo de 8% a 20% (PERINI; ROSSASCO, 2013, p. 144).

Foram realizadas várias pesquisas sobre o desempenho ambiental e custos do

sistema de jardim vertical, desde a implantação até durante seu ciclo de vida inteiro (MANSO; CASTRO-GOMES, 2015). Porém, ao analisar o ciclo de vida de alguns sistemas de paredes verdes, a sustentabilidade dessas técnicas pode ser questionada. Perini e Rosasco (2013) afirmam que ainda não está claro que os sistemas de paredes verticais são economicamente sustentáveis devido, às diferentes formas de vida e custo; tudo depende do modelo de escolha, diferenças no tipo de materiais utilizados, durabilidade, potencial de reciclagem, consumo de água e durabilidade de vegetação.

Fachadas diretas e indiretas podem custar menos de 75€/m/m de acordo com Perini e Rosasco (2013). A técnica modular tem custos variáveis, dependendo dos materiais utilizados. Manso e Castro-Gomes (2015) dão o exemplo de um sistema usando o aço galvanizado que pode ser de 4 a 8 vezes mais caro do que um sistema com painéis naturais. No caso de declaração de garantia limitada, os custos também dependem muito dos materiais usados e da complexidade do sistema, atingindo um custo de 1200€/m/m (PERINI; ROSSASCO, 2013).

Perini e Rossasco (2013) definem que a capacidade econômica de diferentes tipos de sistemas de ecologização vertical, deve considerar as taxas de valor líquido, valor interno de retorno e o retorno a longo prazo. O custo de um módulo simples para fachada é cerca de 30 a 45\$/m² na Europa, para plantas de escalada adultas. Já no caso de sistema indireto, o custo é de 40 a 75\$/m²; para um sistema de plástico de 100\$/m² a 150\$/m²; e com estrutura em aço e zinco até 800\$/m. No caso de paredes vivas de pré-vegetação, os custos podem ir de 400\$/m² até 1200\$/m², dependendo do material.

Conclui-se que sistemas de paredes vivas são muito mais caros do que a ecologização direta e indireta, devido à necessidade de manutenção, à complexidade do projeto e aos materiais envolvidos. Manso e Castro-Gomes (2015) também afirmam que a técnica de fachadas verdes diretas é considerada a solução mais sustentável, devido à baixa necessidade de manutenção e à menor quantidade de materiais envolvidos na técnica.

3.3.2 Fibras naturais

Toda fibra é um polímero, e a classificação é feita levando-se em conta como é esta polimerização. As fibras usadas na manufatura são classificadas conforme a sua origem, que pode ser natural (animal ou vegetal) e artificial ou sintética (BASTOS, 2009). O conceito de utilizar fibras vegetais no controle do ruído visa a preencher os requisitos

de bom desempenho e baixo custo, ao contrário dos altos custos de produção de fibras inorgânicas, como borrachas, que possuem um alto consumo energético e elevado tempo de degradação.

Esta prática é originária dos anos 60 que começaram com o uso de espuma de poliuretano devido ao seu baixo custo e alta produtividade (BASTOS, 2009). Contudo, há uma grande variedade de produtos fibrosos que podem ser explorados sob a forma de coco e fibras de madeira mineralizadas. Podem ser utilizadas, principalmente, como matéria prima para a fabricação de painéis ou mantas, com finalidade de controle de ruído quando de sua utilização como material de revestimento interno das paredes de ambientes, favorecendo o conforto acústico destes (BASTOS, 2009). Por serem materiais naturais, exigem menos energia para fabricação e, por este motivo, Asdrubal, Schiavon e Horoshenkov (2012) orientam a utilização de materiais nativos para a redução do consumo de energia durante o transporte.

Para a Embrapa (2005), o uso de fibras naturais em produtos tem vantagens maiores do que as fibras sintéticas, devido aos aspectos ecológicos e sociais, baixa abrasividade, não são tóxicas, baixa densidade e consumo de energia, altas propriedades mecânicas e termoacústicas, e baixo custo.

Os materiais sustentáveis para controle de ruído são divididos em três grupos: naturais, reciclados e mistos/compostos. Bastos (2009) expõe que as fibras naturais extraídas de vegetais são as matérias-primas de painéis e mantas, que revestem internamente paredes, utilizadas com a finalidade de controle de ruído (figura 13). O conceito de utilizar fibras vegetais no controle do ruído visa a preencher os requisitos de bom desempenho e baixo custo.

Figura 13 – Exemplos de fibras naturais.



Fonte: Bastos, 2009.

Asdrubal, Schiavon e Horoshenkov (2012) comparam os materiais naturais com os tradicionais em termos de desempenho térmico e acústico. Entretanto ressalta que ainda não alcançaram uma maturidade técnica e comercial devido à pouca pesquisa sobre suas características físicas.

Para Bastos (2009), os painéis artesanais apresentam um melhor desempenho acústico em determinadas frequências do que painéis industriais. Também aponta que na avaliação do desempenho devem ser considerados que fibras vegetais estão mais sujeitas ao ataque de fungos e parasitas, e são menos resistentes ao fogo do que fibras minerais. Bastos (2009) afirma que a substituição de fibras sintéticas por fibras vegetais vem tomando maiores proporções também pelo fato de as fibras vegetais serem de fontes renováveis, biodegradáveis, de baixo custo, mais leves, substituindo os plásticos e borrachas que ofertam um consumo de energia e tempo de degradação elevados.

3.3.3 A fibra de coco

Bastos (2009) afirma que na forma de painéis, as fibras de coco são recicláveis, biodegradáveis, não deformam, possuem pelo menos 10 anos de vida útil, contêm tanino, um fungicida natural, além de possuírem baixa condutividade ao calor, boa resistência ao impacto e às bactérias, resiste à umidade, não apodrece, e classificada com comportamento ao fogo classe B2 - DIN 4102. A fibra obtida da casca do coco é muito rica de lignina, o que a torna muito resistente (figura 14).

Figura 14 – Extração da fibra de coco.



Fonte: Bastos, 2009.

Um dos grandes benefícios também, é que a fibra de coco possui características

que facilitam a adaptação e o desenvolvimento de plantas, sendo ideal para compor jardins verticais.

3.4 PARAMETROS ACÚSTICOS CONSIDERADOS

Atualmente, a preocupação acústica não é apenas uma questão de condicionamento acústico do ambiente, mas também o controle de ruído e preservação da qualidade ambiental. A acústica urbana passou a ter mais importância do que até então, pois o número de fontes produtoras de ruído é cada vez maior, e as consequências desses ruídos para o homem são cada vez mais prejudiciais (SOUZA et al., 2009).

A acústica arquitetônica está ligada ao condicionamento e a isolamento acústico de edificações em geral. Por meios de medições dos parâmetros acústicos como Tempo de Reverberação, Ruído de Fundo, Nível de Pressão Sonora (NPS) no ambiente emissor e receptor, verificam-se os desempenhos de sistemas construtivos de uma edificação para avaliação do atendimento aos critérios estabelecidos em normas.

3.4.1 Acústica urbana

Em áreas urbanas, normalmente há muitos comportamentos de reflexão do som entre fachadas opostas, pode ocasionar à amplificação de ruídos e gerar perturbações. Contudo, após cada interação da energia do som com a parede verde, parte da energia acústica que chega na superfície é absorvida. Desta forma, a forte amplificação do ruído pela fachada poderia ser significativamente reduzida pela presença de sistemas de parede verde, pois para resistir à gravidade e as exigências de construção os sistemas de parede verde geralmente consistem de materiais de alta porosidade e baixo peso, tornando-os absorvedores de som em potencial.

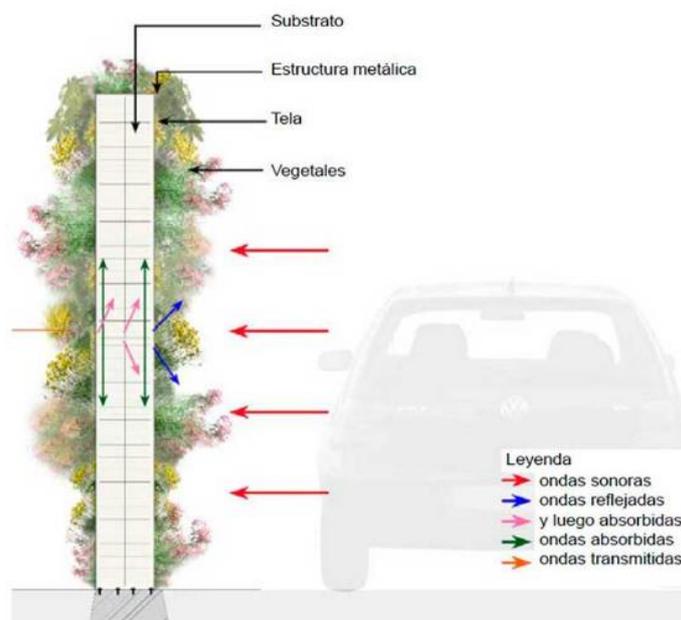
A propagação do som em cânions urbanos envolve múltiplas relações entre as fachadas. Os autores Renterghem et al. (2012) afirmam que a aplicação de fachada com elementos de absorção em edificações com efeito de cânions é especialmente boa para alcançar a redução do ruído em prédios adjacentes. Conforme este autor, os modelos atuais de cálculo não são capazes de capturar os impactos sofridos pelos detalhes geométricos das plantas nas fachadas. No nível da rua, existe uma importante contribuição do som direto que atinge o receptor; na rua, as aplicações de paredes verdes costumam ser menos eficazes. Deste modo, no caso da vegetação vertical de propagação

em cânions urbanos, as altas frequências são em muitos casos suficientemente atenuadas pelo processo de difração, em contraste às frequências baixas.

Em Bistafa (2011), o som possui caminhos de propagação para todos os lados e nem sempre este som é bem-vindo quando se trata de um ruído, logo verifica-se que para o controle de ruído na trajetória de transmissão, é necessário minimizar a transmissão sonora entre fonte e receptor. A Colocação de barreiras, mesmo com uma altura limitada, é bastante eficaz, embora o aumento relativo à altura do prédio é muito limitado.

O efeito que ocorre na área urbana sobre o som e que incide na edificação é chamado de atenuação sonora. No comportamento da onda sonora frente a uma parede: parte da onda é refletida, parte é absorvida pelo material da parede e parte é transmitida para outro lado (figura 15).

Figura 15 – Esquema da incidência sonora do ruído urbano em paredes verdes.



Fonte: Canevaflor, 2016.

Na fórmula de energia sonora incidente (E_i) sobre um obstáculo, o coeficiente de reflexão é $r = (\text{energia sonora refletida}) / (\text{energia sonora incidente})$; coeficiente de dissipação é $d = (\text{energia sonora dissipada}) / (\text{energia sonora incidente})$; e o coeficiente de transmissão é $t = (\text{energia sonora transmitida}) / (\text{energia sonora incidente})$. O coeficiente de transmissão é a razão entre a intensidade sonora transmitida e a intensidade sonora incidente como pode ser visto na equação abaixo (BISTAFA, 2011).

$$E_i = E_r + E_d + E_t \quad (1)$$

$$r + d + t = 1 \quad (2)$$

Nos materiais porosos a energia acústica incidente entra pelos poros e dissipa-se por reflexões múltiplas e atrito viscoso, transformando-se em energia térmica (BISTAFA, 2011). A absorção desses materiais é classificada em função da espessura, densidade, porosidade, resistência ao fluxo de ar e orientação das fibras.

Já o índice de redução sonora, R , é uma medida da redução da energia sonora na transmissão através de materiais que Bistafa (2011) afirma que frequências baixas são mais difíceis para absorver do que são as altas frequências, onde a formula:

$$R = -10 \log. \tau \quad (3)$$

Na equação de redução sonora, τ é o coeficiente de transmissão sonora. Deste modo, um material acústico é caracterizado para verificar se sua utilização é viável, assim como eficiente, de modo a se verificar o quão acusticamente absorvente ou isolante ele é (BASTOS, 2009).

3.4.2 Absorção sonora

É o fenômeno físico que minimiza a reflexão das ondas sonoras, provocando a queda no nível de reverberação de um ambiente. É utilizada em controle de ruído e reverberação. Distribuída na quantidade correta em teto, paredes, piso ou móveis, elimina boa parcela do som refletido pelas superfícies, reduzindo o nível de ruído ambiente e promovendo condições de trabalho e comunicação adequadas.

A absorção sonora ocorre quando parte da energia sonora incide no material é dissipada e transformada em energia térmica, a absorção sonora total (A) é a soma de absorções (A_i) de superfícies individuais (BISTAFA, 2011).

$$A = \sum_i A_i = \sum_i S_i * a_i \quad (4)$$

Deste modo, se considera que a absorção sonora total (A) é a soma de absorções (A_i) de superfícies individuais, o resultado da formula será (BISTAFA, 2011):

$$\alpha = \frac{1}{S} \sum_i S_i * a_i \quad (5)$$

3.4.3 Coeficiente de absorção sonora

O coeficiente de absorção sonora e a perda de transmissão são os aspectos que avaliam o desempenho acústico de um determinado material, ele varia de 0 a 1 e pode ser

expresso por fração decimal ou porcentagem. Wong et al. (2010) determina que o coeficiente de absorção sonora de uma parede verde em uma câmara de reverberação possui valores mais elevados do que os coeficientes de absorção sonora de outros materiais de construção, bem como o coeficiente de absorção aumenta com o aumento da frequência e com a área de vegetação. Os bons materiais absorvedores possuem, geralmente, baixa densidade e são porosos e/ou fibrosos.

Para caracterizar o material é calculado o seu coeficiente de absorção (α) de duas formas, onde é obtido pela razão entre A (absorção sonora) com a área superficial (S) da amostra dado em m².

$$\alpha = \frac{A}{S} \quad (6)$$

ou

$$\alpha = \frac{Ea}{Ei} \quad (7)$$

Coeficiente de absorção, onde: Ea é a energia sonora absorvida pela superfície do material, e Ei é a energia sonora incidente na superfície do material.

Para o presente trabalho será usado o método de medição do coeficiente de absorção em câmara reverberante baseado na teoria de Sabine, que atualmente é orientado pela norma ISO 354 (2007).

$$\alpha = 55,3x \frac{V}{S} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \quad (8)$$

Cálculo do coeficiente de absorção sonora, onde: V é o volume do recinto [m³]; S é a área da amostra [m²]; c é a velocidade do som [m/s] e T1 é o tempo de reverberação médio da câmara vazia, em segundos; e o T2 é o tempo de reverberação médio após a introdução da amostra de ensaio na mesma câmara, em segundos.

3.4.4 Tempo de reverberação

O conceito de reverberação relaciona-se com vivacidade do ambiente, ou seja, a fonte sonora emite uma energia sonora que permanece no ambiente por um determinado tempo, este tempo de permanência do som é chamado de tempo de reverberação. Segundo Bistafa (2011), ele é definido como o tempo necessário para o nível de pressão sonora (NPS) dentro da câmara de reverberação, para diminuir por 60dB após a parada de

emissão do som pela fonte sonora (WONG et al., 2010):

$$TR = \frac{0,161 * V}{A} \quad \text{logo,} \quad TR = \frac{0,161 * V}{S * \alpha} \quad (9)$$

Equação de tempo de reverberação, onde: V é o volume do recinto [m^3]; e A é a absorção total e TR é o Tempo de reverberação. Sendo o parâmetro mais importante para se definir a qualidade acústica de um ambiente.

4 MÉTODO EXPERIMENTAL

O sistema adotado nesta pesquisa é uma técnica passiva, devido apresentar uso de materiais não poluentes, ou seja, o uso da vegetação e o uso de fibras naturais, voltada ao conforto acústico, como os agentes principais que agregam qualidade acústica ao jardim vertical.

O presente trabalho baseou-se em pesquisa de campo e bibliográfica, classificando o trabalho como uma pesquisa experimental, cujo objeto de estudo é utilizado para investigar o comportamento e a qualidade acústica de módulos vegetais em laboratório.

Após as análises teóricas, ocorreu a produção dos módulos verdes experimentais e medições acústicas em laboratório. Foram confeccionadas as unidades modulares verdes, de 60x50cm, com diferentes vegetações e mantas para poder realizar as medições com os instrumentos de laboratório.

Já confeccionados, os sistemas foram testados na minicâmara reverberante (GUEDES, 2007) do Laboratório de Caracterização Acústica de Materiais do Grupo de Vibrações e Acústica (GVA), da Universidade Federal do Pará (UFPA). As medições ocorreram individualmente com cada protótipo construído e seus materiais.

Para a análise dos resultados, foram catalogados todos os dados acústicos obtidos de cada combinação e de cada troca feita de vegetação, painel substrato e manta, para serem analisadas e investigadas quais combinações de sistema modular verde apresentam melhor resultado de absorção sonora para edifícios.

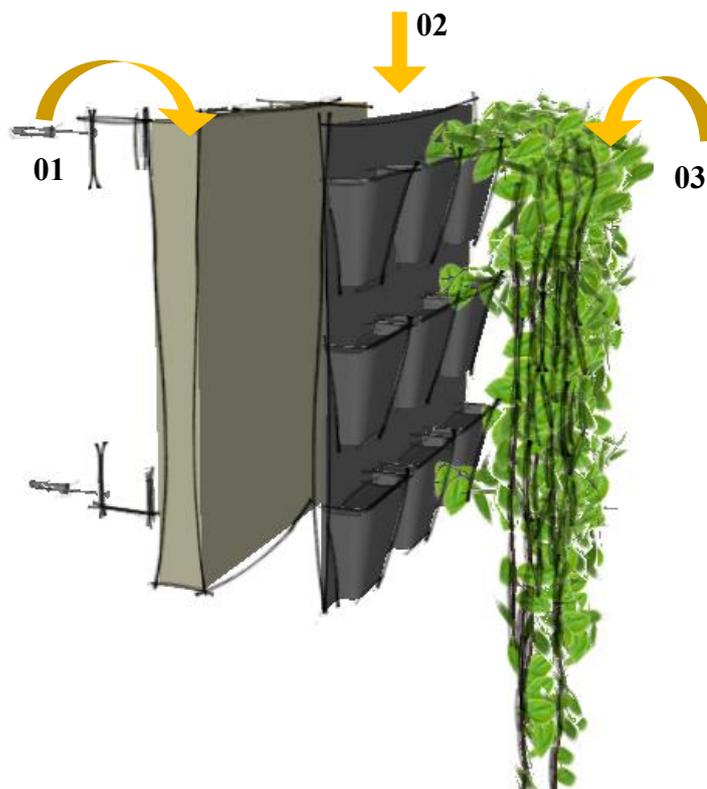
4.1 MONTAGEM DOS MÓDULOS EXPERIMENTAIS

Com base em todos os estudos e o apanhado teórico, foi possível identificar que pesquisas experimentais com protótipos físicos obtinham uma melhor qualidade de avaliação e resultados do real comportamento acústico do sistema como um todo, assim como de cada elemento que o compunha. Thomazelli, Caetano e Bertoli (2016) afirma que a característica do espectro de absorção sonora depende significativamente da tipologia dos painéis. Definiu-se a tipologia do jardim vertical desta pesquisa como um módulo de 8 painéis verdes de 0,30m², caracterizado como uma técnica de fachada verde indireta, voltada à absorção sonora.

O sistema deste trabalho possui 8 combinações diferentes, sendo 6 sistemas com

as plantas individuais e 2 sistemas com as três vegetações combinadas. A sua ordem de montagem é: 1) painel de sustentação; 2) aplicação da manta geotêxtil com bolsões; 3) armazenamento do substrato dentro dos bolsões geotêxtis para o cultivo das plantas; e 4) plantação da vegetação conforme o projeto paisagístico. Na figura 16 é possível observar como o protótipo experimental é composto.

Figura 16 – Croqui do protótipo de jardim vertical experimental.



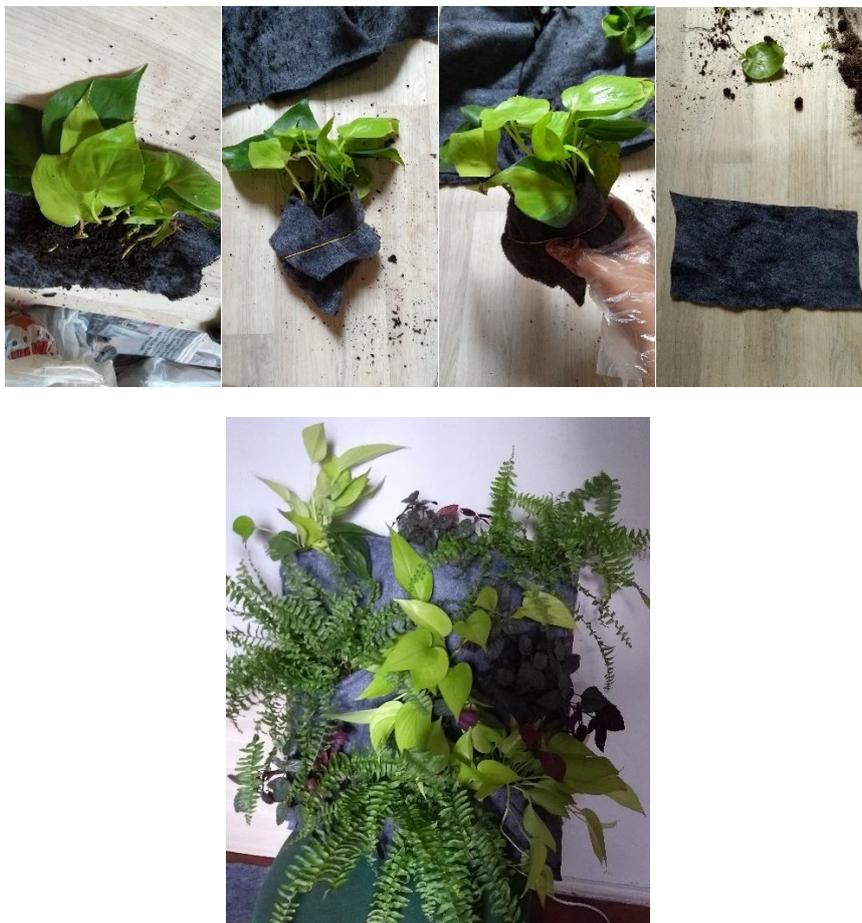
Fonte: Autoria própria, 2018.

- 1- Painel de sustentação: painel ecológico de fibra de coco, utilizado para suportar as mantas e as plantas. Para os ensaios, foram utilizados dois tipos de painéis de fibra de coco (um com 5 cm outro com 10 cm de espessura) de 50 x 60 cm² cada (disponibilizados pelo grupo de Vibrações e Acústica da UFPA).
- 2- Bolsões de feltro: manta geotêxtil (similar ao feltro) que compõe a segunda camada do sistema. Possui aberturas de 9 bolsões costurados que servem para o armazenamento dos sacos geotêxtis do substrato e acomodação das vegetações, fixação das raízes, e armazenamento de água e nutriente para as plantas.
- 3- Vegetação: no sistema experimental são usados três tipos de plantas (Morcegozinho, Tostão e Jiboia Amarela), as quais têm a reponsabilidade pelas principais características do jardim vertical (estética, psicológica, biodiversidade, controle térmico, e controle acústico).

O primeiro passo para a produção do protótipo é a preparação do painel de fibra de coco no tamanho de 60x50cm; depois a confecção dos bolsões costurados nas mantas geotêxtis; e por último a seleção das plantas; armazenamento das raízes e substratos dentro de sacos geotêxtis para facilitar a composição, troca e manutenção das plantas. Terminada essa etapa o protótipo já está pronto para o manuseio entretendo, deve-se

esperar de 60 a 90 dias, dependendo da espécie, perceber para o crescimento vegetativo (figura 17).

Figura 17 – Passo a passo da colocação da vegetação no protótipo de jardim vertical.



Fonte: Autoria própria, 2017.

Optou-se por módulos experimentais com tamanho de 60x50cm cada, para cumprir a exigência da ISO 354 (2007) que deve proporcionalidade do volume de acordo com o tamanho da câmara reverberante de ensaio; esta, por sua vez, uma minicâmara reverberante (GUEDES, 2007), além de facilitar o manuseio dentro do laboratório.

O sistema experimental deste estudo é semelhante aos sistemas recomendados pelo Manual do Movimento 90° e o sistema utilizado por Thomazelli, Caetano e Bertoli (2016), com exceção da base de madeira, pois o atual experimento busca a investigação de painel de fibra natural associado à vegetação, a qual apresenta uma melhor e maior eficiência acústica de absorção conforme a literatura.

4.1.1 Seleção da vegetação

Dentro dos critérios mencionados anteriormente, a escolha da vegetação do protótipo se baseia também na similaridade das vegetações usadas nos experimentos de Yang et al. (2012), Horoshenkov, Khan e Benkreira (2013), Azkorra et al. (2015) e Thomazelli, Caetano e Bertoli (2016), na proporcionalidade de tamanho entre as espécies ornamentais a serem utilizadas, assim como consulta *in loco* nas empresas e floriculturas locais para atender o procedimento de fácil acesso ao público e as recomendações do Manual Movimento 90°. Deste modo, durante a concepção do experimento inicialmente foram selecionadas 5 espécies diferentes de mudas para os testes iniciais: “Samambaia Americana” (*Nephrolepis exaltata*), “Dinheiro em Penca” (*Callisia repens*), “Peperômia” (*Peperomia scandens*) e a “Jiboia Amarela” (*Scindapsus aureus*), “Morceguinho” (*Hemigraphis alternata*).

As mudas foram plantadas em 5 protótipos, um para cada espécie, iniciando em junho de 2017, já em agosto de 2017 obtivesse os primeiros resultados dos crescimentos vegetativos. Duas espécies não conseguiram se adaptar adequadamente ao sistema, sendo estas descartadas antes das mudas poderem completar 2 meses no sistema, a “Samambaia Americana” (*Nephrolepis exaltata*) e “Peperômia” (*Peperomia scandens*), porém essas duas espécies acabaram não se adaptando ao protótipo. A samambaia americana acabou sofrendo desoxigenação com a mudança de meio de cultivo e não se adaptou à radiação solar direta de fachadas. Já a Peperômia não conseguiu manter um crescimento adequado como as outras três plantas selecionadas, acabou adoecendo

Assim, as espécies escolhidas foram mudas de “Dinheiro em Penca” (*Callisia repens*), “Jiboia Amarela” (*Scindapsus aureus*) e “Morceguinho” (*Hemigraphis alternata*). Novamente foi replantada as mudas das vegetações no sistema, distribuídas nos bolsos de manta geotêxtil nos 8 protótipos de paredes verdes, de agosto 2017 a novembro de 2017. Cada vegetação levou novamente em média de 3 meses para a adaptação ao meio e o crescimento total dentro da área da manta de 60x50cm como está descrito a seguir no quadro 1.

Quadro 1 – Vegetações escolhidas para o experimento.

Foto	Nome	Tipo	Regime de cultivo	Regime iluminação	Descrição
	Jiboia Amarela” ou <i>Scindapsus aureus (L.) Engl.</i>	Trepadeira	Solo geralmente seco,	Sol pleno	Consegue atingir até 10 metros de comprimento e não possui flores (REFLORA, 2018). Requer poucos cuidados, venda é bem popular, se adapta com facilidade em diversos locais, (SOUZA, LORENZI, 2005) é altamente purificadora
	Morceguinho ” ou <i>Hemigraphis alternata (Burm. F.) T. Anderson redivy</i>	Erva	solo é úmido	meia sombra,	Acanthaceae contém aproximadamente 20 a 83 espécies típica de regiões quente e úmidos. Pode crescer até 35cm, com folhas coloridas verde escura e purpura, possuindo floração branca, possui um acultura curandeira, há indícios que se trata de planta medicinal vernácula. (REFLORA, 2018 e MOVIMENTO 90°). Não se tem ao certo a sua origem, contudo ela aparece e se adapta muito fácil é vários locais do planeta, na Europa é considerada uma erva daninha, pode ser cultivada em vasos suspenso semelhante a uma trepadeira ou no solo como forração.
	Dinheiro em penca” ou <i>Callisia repens (Jacq.) L.</i>	Herbácea e perene	solo é úmido	Sol pleno e meia sombra	Possui folhas ovais e brilhantes, de 1 a 4 cm (REFLORA, 2018), com a inserção de folhas imbricadas verde-claro com bordas ou partes da folha em cor púrpura, seus caules são herbáceos e arroxeados, com raízes finas que se entrelaçam. Em determinadas épocas apresenta floração branca, é caracterizada por meia-sombra, quando cultivadas em locais quentes e úmidos e em temperaturas muito baixas tendem a desaparecer (BAROSKY,2011). É uma planta nativa aparece na América Central e América do Sul, sua família é a <i>Commelinaceae</i> tipicamente tropical com 40 gêneros e 650 espécies, o no Brasil possui 13 gêneros e aproximadamente 60 espécies (SOUZA, LORENZI, 2005).

Fonte: Autoria própria, 2018.

4.1.2 PAINEL DE FIBRA DE COCO

Os painéis de fibras naturais são comumente usados no paisagismo para serem superfícies onde plantas, principalmente as trepadeiras, se desenvolvem. Tendo como base os estudos de Bastos (2009) e de Asdrubal, Schiavon e Horoshenkov (2012), para o experimento foram testados dois tipos de painéis de fibra de coco com a mesma dimensão de 60x50cm, mas com espessuras e processos de fabricação distintos. O primeiro é a placa *Nutricoco*, fornecida pela empresa *NutriPlan*®, com dimensões de 60x50cm, sendo um produto ecológico, produzido com fibra de coco natural (figura 18). Já o segundo possui 100mm de espessura, confeccionado em laboratório por Bastos (2009) e cedido pelo Grupo de Vibrações e Acústica (GVA/UFPA).

Figura 18 – Placa de 60x50cm de fibra de coco com 5 cm de espessura.



Fonte: Autoria própria, 2017.

A escolha do painel de fibra de coco foi feita com base na literatura já citada anteriormente (BASTOS, 2009; GUEDES, 2007; ASDRUBAL; SCHIAVON; HOROSHENKOV, 2011).

4.1.3 MANTA GEOTÊXTIL

Na pesquisa de Thomazelli et al. (2016), confirma-se que há uma grande melhoria na absorção sonora comparada a outros trabalhos, o autor atribui isso ao uso das bolsas geotêxteis.

Foi adotada a manta geotêxtil, pois é um dos materiais mais característicos de sistemas verticais verdes, são permeáveis, filtradoras e drenantes, e quando utilizada na forma de bolsas permite que as plantas consigam ficar com suas raízes “guardadas” e folhas caindo (figura 19).

Figura 19 – Manta geotêxtil utilizada para a confecção do sistema.



Fonte: Autorial própria, 2017.

A manta geotêxtil no experimento é configurada por 9 bolsões de ar, nos quais as plantas poderão se fixar e dentro deste deve ser colocado substrato de adubo orgânico. Tal configuração, onde cada muda tem seu espaço, auxilia na saúde da planta e, portanto, na longevidade do sistema, facilitando a manutenção, pois caso ocorra algum problema, só necessário retirar a muda que está em risco, sem precisar desfazer todo o painel. Essa configuração também permite que cada bolsão tenha um tipo de planta diferente, favorecendo a diversidade de folhagem e podendo ser trabalhada a estética. A figura 20 mostra o croqui das dimensões, divisões e a foto do resultado dos bolsões aplicados na manta do protótipo.

Figura 20 – Sistema de bolsas de manta geotêxtil vertical do experimento.



Fonte: Autorial própria, 2017.

4.1.4 Substratos

O substrato do experimento é composto por adubo natural e argila expandida. Eles possuem uma alta porosidade e uma baixa densidade, mostrando um comportamento acústico complexo. Deste modo, os valores de absorção são baixos em frequências mais baixas. Os módulos devem possuir um substrato altamente poroso e cultivar uma espécie de planta com alta densidade foliar.

Vale ressaltar que dependendo da quantidade de água no interior dos substratos pode afetar as propriedades de absorção nos casos de sistemas vegetativos extensivos quando o meio poroso é totalmente saturado de água, efeitos semelhantes aos de um material rígido podem ser esperados (ASDRUBAL; SCHIAVON; HOROSHENKOV, 2012).

Referindo-se a substratos (figura 21), foi analisado um solo de substrato com baixa densidade. De acordo com Akozorra et al. (2015), a textura do solo determina a distribuição do tamanho das partículas de terra, que são responsáveis pelas propriedades acústicas. O cobre, perlite, polímero gel no substrato, suscita grandes poros e, portanto, significativamente influência no coeficiente de absorção acústica. O coeficiente de absorção do solo argiloso é baixo, com solo de baixa-permeabilidade, de alta densidade.

Figura 21 – Substratos de terra e argila expandida.



Fonte: A autoria própria, 2017.

4.1.5 Protótipos do jardim vertical

Para essa pesquisa, foram confeccionados 8 protótipos de mesma tipologia de sistema, porém com mudanças de composição de material vegetativo e de espessura do painel natural, 6 módulos com uma espécie de vegetação e 2 módulos com as três vegetações combinadas, como está descrito no quadro 2.

Quadro 2 – Exposição dos oitos protótipos selecionados.

PROTÓTIPO 01 DE JARDIM VERTICAL DE JIBOIA AMARELA	
Fibra de coco 5 cm / manta geotêxtil/ substrato /Veg. 01	Fibra de coco 10 cm / manta geotêxtil/ substrato/ Veg.01
	
O módulo 01 é composto pela planta Jiboia verde, escolhida por ser muito usada nos jardins verticais e de fácil acesso no mercado. Foi a que melhor se adaptou aos 9 bolsões do protótipo proposto, por não necessitar de cuidados intensivos, vegetação rasteiras; seu crescimento em direção vertical foi um pouco mais lento se comparada com as outras duas; seu crescimento conseguiu cobrir, após 3 meses, algumas partes do painel.	
PROTÓTIPO 02 DE JARDIM VERTICAL DE MORCEGUINHO	
Fibra de coco 5 cm / manta geotêxtil/ substrato/ Veg. 02	Fibra de coco 10 cm / manta geotêxtil/ substrato/Veg. 02
	
O módulo 02 é composto pela planta Morceguinho, escolhida por ser muito usada nos jardins verticais e de fácil acesso no mercado local. O seu crescimento em direção vertical, caída, foi bem rápido comparada com as outras duas. Na primeira tentativa de plantação todas as mudas morreram devido à falta de potássio na terra adubada, obtendo uma patologia nas folhas com coloração esbranquiçada. Porém, na 2º tentativa de plantação as novas mudas permaneceram saudáveis constatando floração após os 3 meses de espera.	
PROTÓTIPO 03 DE JARDIM VERTICAL DE DINHEIRO EM PENCA	
Fibra de coco 5 cm / manta geotêxtil/ substrato /Veg. 03	Fibra de coco 10 cm / manta geotêxtil/ substrato/ Veg. 03
	
O módulo 03 com a planta dinheiro em penca foi o mais delicado, no momento da plantação devido as raízes de sua muda serem muito espalhadas e rasas, o que dificultou a aplicação no painel. Contudo, ao passar dos meses, ela teve maior crescimento que as duas primeiras, formando um tapete verde.	
PROTÓTIPO 04 DE JARDIM VERTICAL DE COMBINADO DE VEGETAÇÕES	
Fibra de coco 5 cm / manta geotêxtil/ substrato /Veg. 04	Fibra de coco 10 cm / manta geotêxtil/ substrato/Veg. 04
	
O módulo 04 possui a combinação das três plantas, Jiboia verde, morceguinho e Dinheiro em penca. Ao colocar no experimento as três diferentes espécies, percebe-se uma harmonia estética, contudo, a morceguinho e a dinheiro em penca cresceram muito verticalmente, enquanto a jiboia amarela levou um tempo para se adaptar.	

4.2 PROCEDIMENTO EM LABORATÓRIO

Após o crescimento vegetativo dentro dos protótipos de jardim vertical, foi possível executar em laboratório os ensaios acústicos. O procedimento experimental levou como suporte o processo metodológico dos estudos de Yang, Kang e Min (2012), Bastos (2009), Azkorra et al. (2015) e Thomazelli, Caetano, Bertoli (2016) e adequou-se à norma ISO 354 (2007), onde os coeficientes de absorção sonora são obtidos a partir das medições de tempo de reverberação na câmara reverberante, com e sem a presença das amostras.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Acústica GVA/UFPA, utilizando-se a minicâmara reverberante existente no local, por ser a ferramenta disponível quando das medições para quantificação do coeficiente de absorção sonora.

4.2.1 A minicâmara reverberante

Utilizou-se a minicâmara reverberante reduzida existente no local, tendo sido desenvolvida como parte de uma dissertação de mestrado (GUEDES, 2007) do Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica (PPGEM), eu após diversos estudos sobre modelos reduzidos optou por desenvolver uma camera de escala 1:6, cuja deve ser utilizado para medições com frequências nas bandas de oitava de 125Hz a 400Hz (figura 22).

Figura 22 – Minicâmara reverberante.



Fonte: Guedes, 2007.

A minicâmara é feita de 2 folhas de compensado de 20mm, sendo que estas placas possuem densidade de 12kg/m^3 , possuindo uma perda de transmissão de 25dB; e de uma janela

de duas folhas de vidro translúcido de 5mm de 40x40mm (GUEDES,2007). Ela apresenta dimensões de 0,80m de altura, 1,20m de comprimento e 1,00m de profundidade externamente, com a presença de 4 pés isoladores sonoros. No seu lado interno possui com paredes anguladas e elementos difusores do lado interno. O quadro 3 lista algumas informações referentes ao experimento na minicâmara reverberante que serão necessárias para os ensaios.

Quadro 3 – Grandezas relevantes dos ensaios.

Altura	0,80	m
Comprimento	1,20	m
Largura	1,00	m
Área total	5,92	m ²
Volume da Câmara	0,96	m ³
Área Superficial de Absorção	0,3	m ²
Velocidade do Som	345,4	m/s

Fonte: Autoria própria, 2017.

A minicâmara obtém confiabilidade em todos os testes, inclusive em 2012 durante a dissertação de Bastos (2012). Atualmente o grupo do GVA utiliza o sistema para diversos testes experimentais durante as aulas de graduação, pós-graduação e para pesquisas científicas diversas. Contudo, como se passaram 10 anos desde sua execução, para realiza esta pesquisa experimental, optou-se por reavaliar a confiabilidade desta minicâmara, portanto, acrescentou-se os passos iniciais dos ensaios de jardim vertical teste de confiabilidade da minicâmara. Conforme Bastos (2012) os princípios válidos em câmaras reverberantes reais se aplicam às câmaras reduzidas (Princípio da Reciprocidade, do Campo Difuso, etc.) e a mesma é qualificada para os ensaios a que foi destinada.

A justificativa da utilização da minicâmara é determinar o coeficiente de absorção sonora das amostras com o Método de Interrupção do Ruído, que resulta em curvas de decaimento pelo nível de pressão sonora após a excitação da minicâmara por uma fonte de ruído.

4.3 EQUIPAMENTOS

Os instrumentos utilizados para os ensaios (figura 23) foram: (1) uma câmara reverberante reduzida de escala 1:6 (GUEDES, 2008); (2) Fonte dodecaédrica; (3) Analisador de sinais PULSE B&K 3560C; (4) Cabos de conexão (BNC, RJ45 e Speakon); (5) amplificador tipo 2716, B&K; (6) Computador e (7) Software Ita tool Box; (8) microfone B&K, tipo 4942

A-021 n° de série: 2330293 (Campo Difuso) com tripé, Termohigrômetro digital.

Figura 23 – Instrumentos utilizados.



Fonte: Autoria própria, 2017.

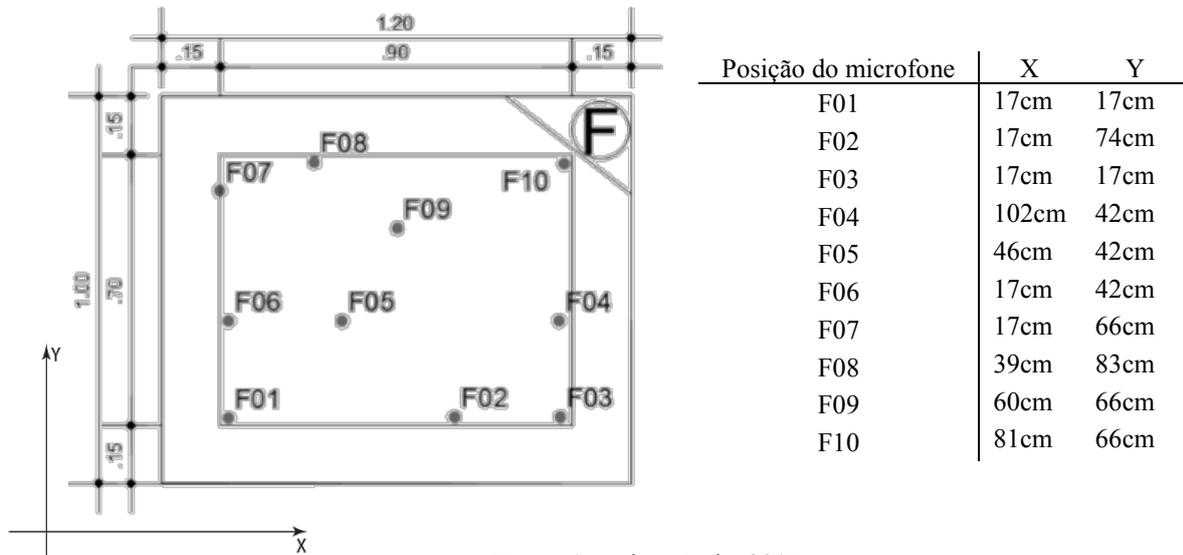
4.4 PROCEDIMENTOS INICIAIS

Apesar do ambiente se tratar de um local laboratorial de fácil controle, foi necessário medir a temperatura e umidade relativa do ambiente com um termohigrômetro. Deste modo, verificou-se que as amostras entraram em equilíbrio com as condições de temperatura e umidade relativa do ar apresentadas pela câmara antes do início das medições.

Os experimentos foram realizados na mesma faixa de horário, entre 9h e 14 h, por ser desejável ensaiar o material sob as mesmas condições em relação a fatores externos: nível de ruído de fundo, ruídos externos aleatórios, temperatura ambiente, etc, que, potencialmente, podem interferir nos resultados, como sugere Bastos (2009). Executados durante o período dos meses de novembro a janeiro de 2017.

Para atender a norma ISO 354 (2007), a fonte sonora foi instalada no interior da minicâmara, e foram estipulados 10 pontos para os microfones, sendo 3 medições para cada ponto, com o ruído estável, totalizando 30 medições. A figura 24 mostra a posição das primeiras 10 medições realizadas na minicâmara.

Figura 24 – Posição dos 10 pontos de medição do microfone dentro da câmara baseados na medição de Bastos (2009).



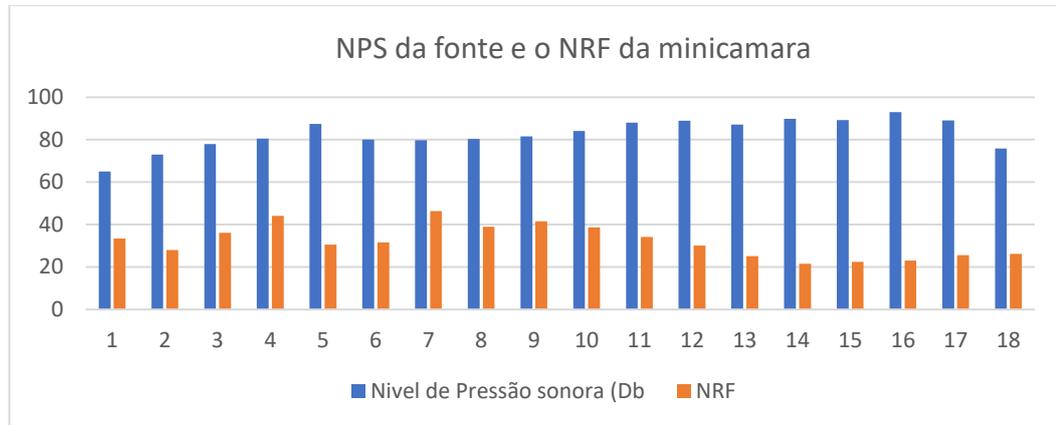
Fonte: Autoria própria, 2017.

Em seguida a câmara é fechada com ou sem as amostras, dependendo da etapa experimental, utilizando o método do ruído interrompido. O intervalo de tempo até o ruído cessar para a análise foi cerca de 10 segundos.

4.5 CONFIABILIDADE DA MINICÂMARA REVERBERANTE

Para experimentos que utilizam câmaras reverberantes em escala reduzida, devem ser seguidas algumas normas, para entender o comportamento acústico e a pressão dentro da minicâmara (BASTOS, 2012). De acordo com a ISO 354 (2007), para que a teoria seja válida é imprescindível que a densidade de modos acústicos na câmara reverberante seja alta, com a diferença entre o Nível de Ruído de Fundo (NRF) e o Nível de Pressão Sonora (NPS) da fonte de pelo menos 15 dB em cada banda de um terço de oitava. Deste modo, o NPS (nível de pressão sonora da fonte) e o NRF (nível de fundo de ruído) foram descobertos e comparados como está no gráfico 1.

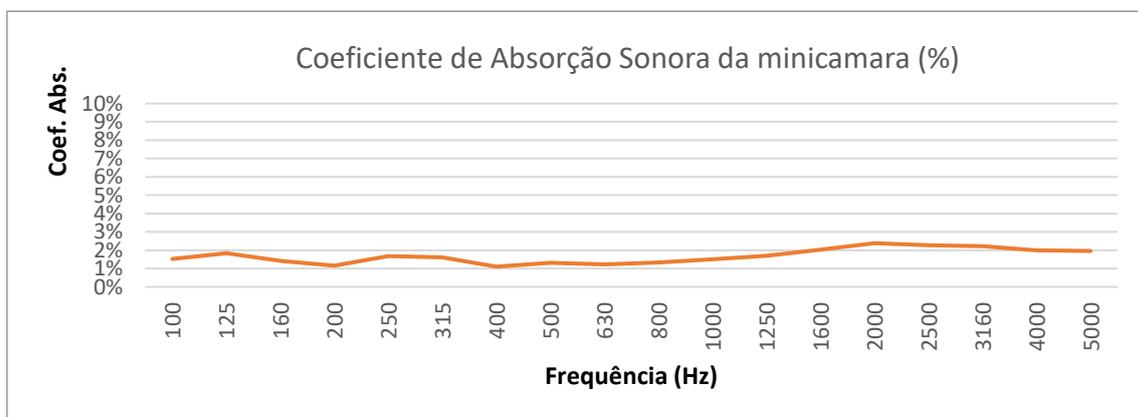
Gráfico 1 – NPS da Fonte e NRF da minicâmara.



Fonte: Autoria própria, 2018.

Já no gráfico 2 é apresentado o resultado da medição do coeficiente de absorção sonora das superfícies da minicâmara que, conforme Bastos (2009), cuja não poderia exceder de 3%. O resultado da medição do coeficiente de absorção resultado obtido foi de 2,2%.

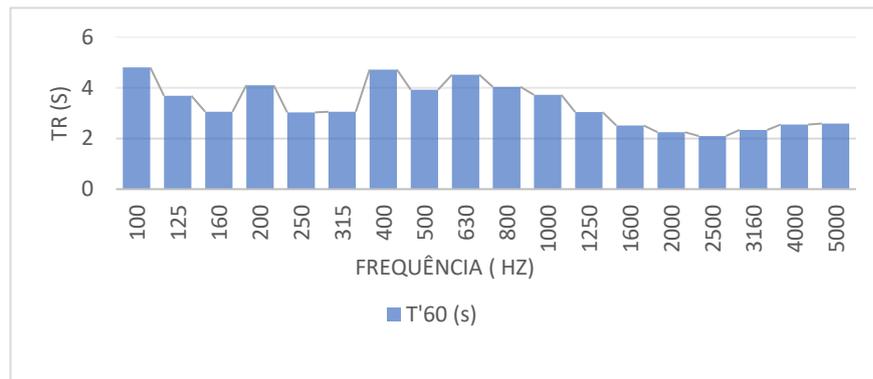
Gráfico 2 – Coeficiente de absorção sonora da Minicâmara.



Fonte: Autoria própria, 2018.

Antes de fazer os ensaios com os protótipos é necessário descobrir o tempo de reverberação, T_{60} , da câmara vazia. Portanto, a minicâmara foi testada sem a presença de amostras, utilizando o método do ruído interrompido (gráfico 3).

Gráfico 3 – T60 da minicâmara reverberante vazia.



Fonte: Autoria própria, 2018.

Após a descoberta do NPS e do T60, é recomendado por Bastos (2012) e Guedes (2007), executar um teste de comprovação de adequabilidade da minicâmara, portanto uma segunda medição deve ser feita com um material. Foi testada uma amostra do material industrial Flexsonic da marca OWA Sonex, de 35x35cm, para ser usado na validação da minicâmara (figura 25).

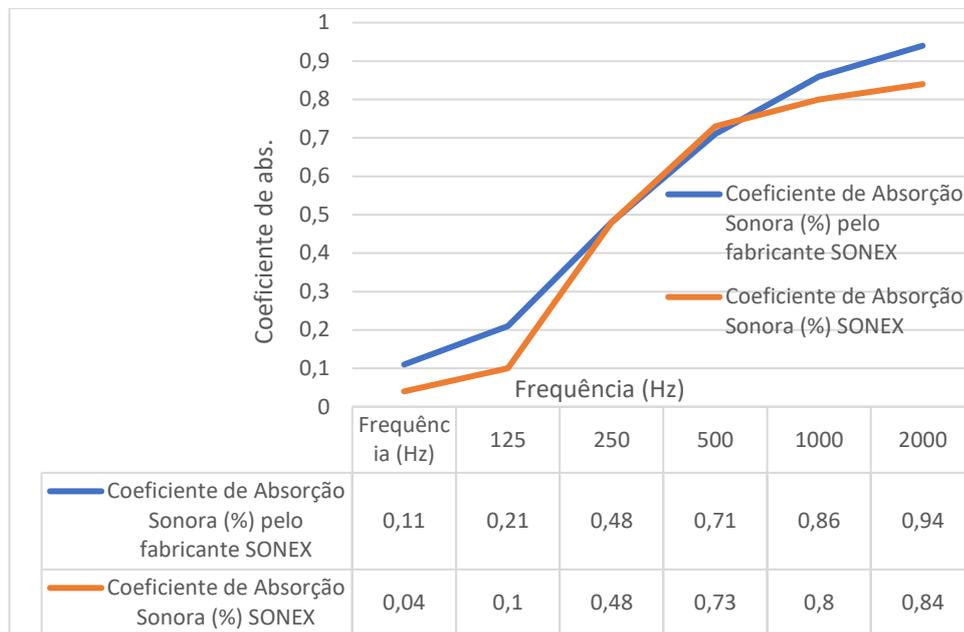
Figura 25 – Vista interna da minicâmara reverberante com a amostra industrial.



Fonte: Autoria própria, 2017.

No gráfico 4 apresenta a comparação entre os resultados dos coeficientes de absorção sonora da amostra Flexsonic® que o fabricante fornece e o que foi medido na minicâmara reverberante. O resultado dessa comparação foram duas curvas de coeficiente de absorção sonora muito semelhantes, confirmando a confiabilidade da minicâmara do GVA/UFPA.

Gráfico 4 – Comparação entre coeficientes de absorção sonora da amostra de Flexsonic® fornecidos pelo fabricante e obtidos na minicâmara.

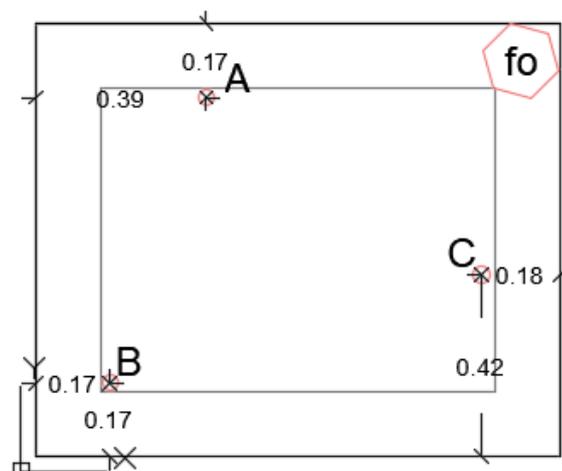


Fonte: Autoria própria, 2018.

4.6 EXECUÇÃO DOS ENSAIOS

Para os ensaios considerou-se uma posição de fonte sonora dentro da minicâmara reverberante e três diferentes posições de microfones (A, B e C), com o tempo de excitação da fonte de 30 s, sendo observadas as faixas de frequência de 500 a 5000 Hz (figura 26).

Figura 26 – Posição dos pontos do microfone (A, B e C) dentro da câmara.



Fonte: Autoria própria, 2018.

Foram testadas 14 diferentes combinações, só dos componentes do jardim, ou eles

combinados, como está classificado na tabela a seguir. Deste modo, foram obtidos dados por material que compõe o sistema, com o intuito de investigar como cada um se comporta acusticamente (quadro 4).

Quadro 4 – Ordem de execução dos protótipos para os ensaios na minicâmara.

Nº	MÓDULO	IMAGEM	Nº	MÓDULO	IMAGEM
01	Fibra de coco 5 cm		08	Fibra de coco 5 cm / manta geotêxtil/ substrato/ Vegetação 02	
02	Fibra de coco 10 cm		09	Fibra de coco 5 cm / manta geotêxtil/ substrato /Vegetação 03	
03	Fibra de coco 5 cm / manta geotêxtil		10	Fibra de coco 5 cm / manta geotêxtil/ substrato /Combinação de vegetação	Sem imagem
04	Fibra de coco 10 cm/ manta geotêxtil		11	Fibra de coco 10 cm / manta geotêxtil/ substrato/ Vegetação 01	
05	Fibra de coco 5 cm / manta geotêxtil/ substrato		12	Fibra de coco 10 cm / manta geotêxtil/ substrato/Vegetação 02	
06	Fibra de coco 10 cm/ manta geotêxtil/ substrato		13	Fibra de coco 10 cm / manta geotêxtil/ substrato/ Vegetação 03	

07	Fibra de coco 5 cm / manta geotêxtil/ substrato /Vegetação 01		14	Fibra de coco 10 cm / manta geotêxtil/ substrato/ Combinação de Vegetação	Sem imagem
----	---	---	----	---	------------

Fonte: Aatoria própria, 2018.

Cada uma das combinações, uma de cada vez, foi inserida na minicâmara reverberante, na ordem numérica presente na tabela anterior. Após o fechamento das portas da minicâmara foi acionado manualmente no sistema a ruído gerado pela fonte dentro da câmara para que pudesse excitar o local, e logo depois o aparelho *pulse* registrou todas as curvas de decaimento de cada medição. Utilizou-se um intervalo de tempo suficiente (cerca de 10 segundos) entre as medições, para que os valores das grandezas medidas fossem independentes, assim como o intervalo de tempo entre a análise de amostras distintas e consecutivas de modo que os processos fossem considerados independentes.

5 RESULTADOS

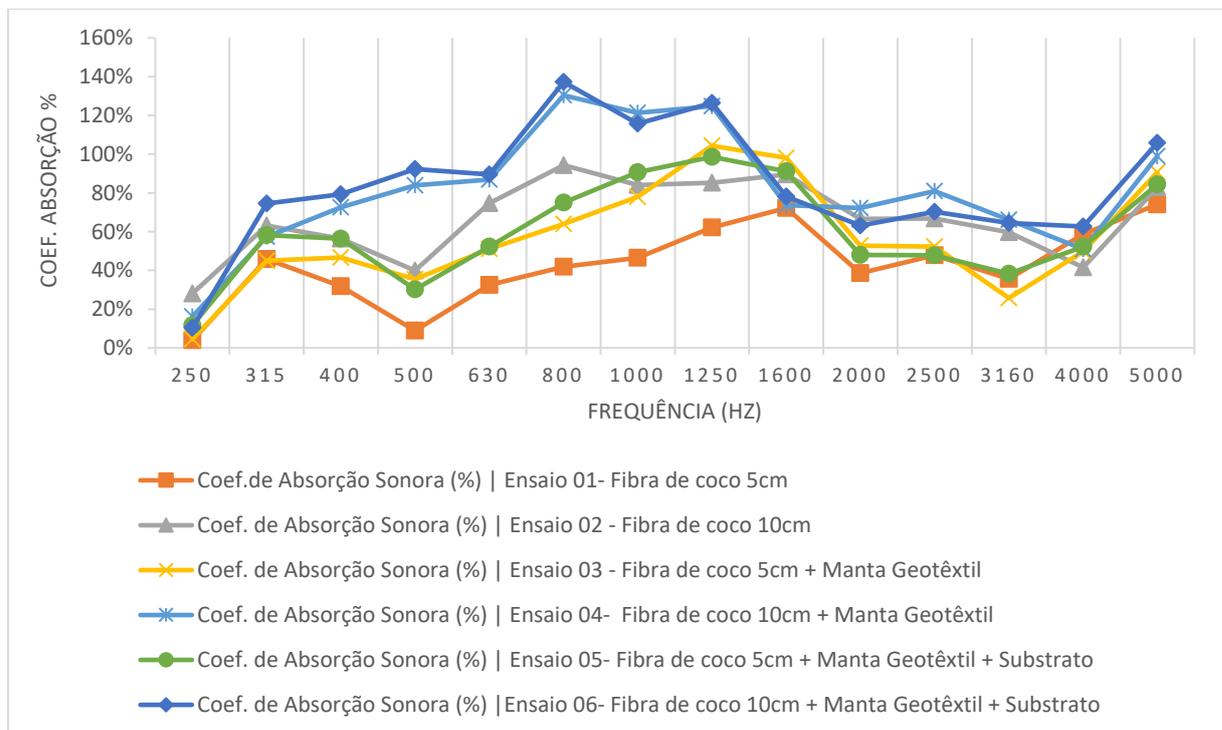
Neste tópico está presente todos os resultados obtidos nos ensaios das medições sonoras realizadas com o protótipo de jardim vertical em laboratório.

5.1 RESULTADOS INDIVIDUAIS DOS COMPONENTES DO MÓDULO

As primeiras medições ocorreram com os elementos separados, a fim de descobrir quanto cada um contribui acusticamente para a qualidade do sistema. Os primeiros foram os painéis de fibra de coco de 5cm, ecológico da Nutriplan© e o de 10cm artesanal de Bastos (2009); depois os dois painéis somados com a manta geotêxtil; em seguida os painéis com manta geotêxtil e substrato; até chegar no sistema completo com quatro combinações diferentes de vegetação, e foram analisadas as frequências de 500Hz a 5000Hz.

O gráfico 5 mostra a evolução dos resultados do coeficiente de absorção nas medições dos materiais, à medida que os constituintes do protótipo foram sendo acrescentados. Constatase que o material que mais contribuiu para o aumento no coeficiente de absorção sonora do conjunto foi a manta geotêxtil.

Gráfico 5 – Comparativo de todos os resultados do coeficiente de absorção sonora das medições de cada componente do protótipo em função da frequência.



Os painéis de Fibra de coco foram medidos no Ensaio 01 (Painel de fibra de coco de 5 cm) e ensaio 02 (Painel de fibra de coco 10 cm). Ao serem analisados nas frequências de 500 a 5000Hz, observa-se na frequência de 500Hz que no ensaio 01, o coeficiente de absorção do material é de 0,09, enquanto que no ensaio 02 na mesma frequência é de 0,40. Em 5000Hz o ensaio 01 resultou no coeficiente de 0,72 e o ensaio 02 resultou em um coeficiente de 0,83. Desta forma, conclui-se que a amostra referente ao ensaio 02, painel de espessura de 10cm, é um absorvedor sonoro mais efetivo, quando comparado ao da amostra referente ao ensaio 01, painel de 5cm, afirmando que quanto maior espessura do painel de fibra utilizado em um sistema de jardim vertical, dependendo da frequência medida, irá ter um alto o coeficiente de absorção, se caracterizando como um bom absorvedor sonoro.

Sobre as medições dos componentes de fibra de coco e manta geotêxtil, a medição do painel de 5 cm e manta geotêxtil, ensaio 03, resultou na caracterização de um ótimo material absorvedor com coeficiente de 30% a 84% nas frequências de 500Hz a 5000Hz, sendo que quando tinha-se apenas a fibra de coco de 5cm (Ensaio 01) o coeficiente era de 9% a 74% nas mesmas frequências. O ensaio 04 obteve um resultado ainda melhor, o qual apresentou coeficiente de absorção sonora de 50% até 130% para o intervalo de 500 a 5000 Hz, enquanto que no ensaio 02, só com o painel de 10cm, a absorção sonora era apenas de 40% a 83% nos mesmos intervalos de frequência; por ter acrescentando a manta geotêxtil o sistema teve um aumento de 10% a 57% respectivamente. Logo, a manta geotêxtil pode ser considerada o material que mais agregou valor de coeficiente de absorção no protótipo.

Nos ensaios 05 e 06 com Painéis de Fibra de Coco de 5cm e 10cm respectivamente, manta geotêxtil e Substrato, ambos apresentaram um comportamento estável acima de 1250 Hz. Porém, o mais interessante em ressaltar é que ao aplicar o substrato na manta geotêxtil a contribuição para aumentar o coeficiente de absorção sonora é quase nenhum, tanto no ensaio 05 quanto no ensaio 06. Concluindo que o substrato não agrega valor de absorção sonora neste tipo de jardim vertical. Desta forma, observa-se que, continua atuando como o principal material de absorvedor sonoro é a manta, observa-se que substrato não interfere drasticamente na qualidade de absorção sonora do Jardim Vertical, apesar de ser um componente fundamental para a fixação de certas espécies de plantas, a manta geotêxtil que proporciona a qualidade de um sistema absorvedor.

Considerando a amostra do ensaio 06, observa-se que o conjunto ensaiado caracteriza um bom absorvedor sonoro, apresentando coeficiente de absorção sonora acima de 50% nas frequências de 500 a 5000 Hz.

5.2 RESULTADO DAS COMBINAÇÕES INDIVIDUAIS DOS MÓDULOS DE JARDIM VERTICAL

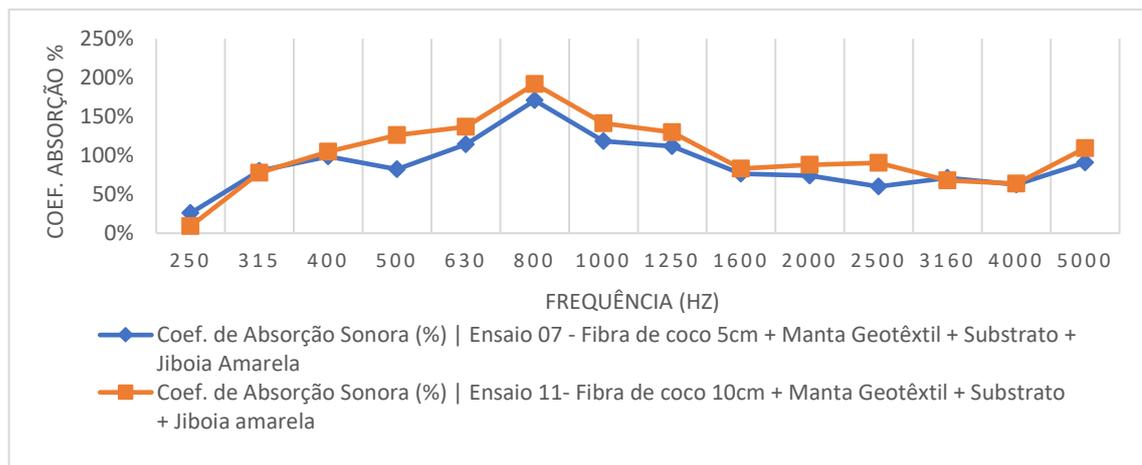
Neste tópico estão compilados os resultados dos ensaios acústicos dos quatro módulos de protótipos de jardim vertical, com duas variações para cada um, sendo a primeira com o painel de fibra de coco de 5cm de espessura e o outro com painel de fibra de coco com 10cm de espessura, configurando os ensaios 07 ao 14.

5.2.1 Módulo 01 - Jardim vertical com a Jiboia Amarela

As medições previstas para o módulo de jardim vertical com a jiboia amarela constituíram os ensaios 07 (Painel de fibra de coco de 5cm, manta geotêxtil, substrato e jiboia amarela) e 11 (Painel de 10cm, manta geotêxtil, substrato e jiboia amarela).

Ao se compararem os coeficientes dos dois ensaios do protótipo de jiboia amarela, observa-se uma diferença sutil. No gráfico 6 pode ser observado que o ensaio 11 com a fibra de 10cm apresenta melhor qualidade de absorção sonora na grande maioria das frequências.

Gráfico 6 – Coeficientes de absorção sonora do módulo 01 de vegetação, Ensaio 07 com painel de fibra de coco de 5cm+ Manta+ Jiboia amarela e Ensaio 11 com painel de painel de fibra de coco de 10cm+ Manta+ Jiboia amarela.



Fonte: Autoria própria, 2018.

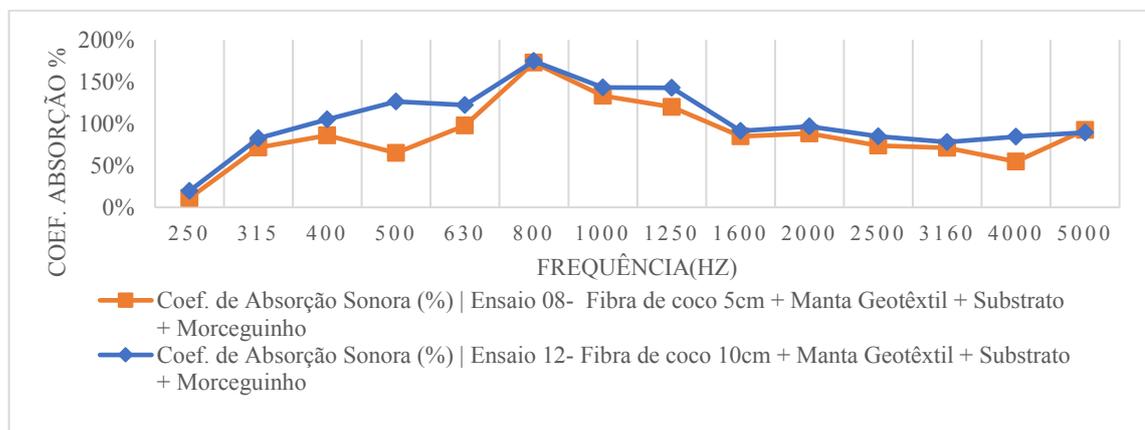
Os dois ensaios apresentam resultados com boas qualidades de absorção sonora, sendo bem próximos entre si, principalmente no que diz respeito da frequência alta de 3160Hz em diante que praticamente são os mesmos coeficientes. Na frequência de 1000Hz o coeficiente do ensaio 11 é de 1,48 e do ensaio 07 é de 1,18, uma diferença de 0,20; esta diferença é indicada pela troca da espessura do painel de fibra de coco.

5.2.2 Módulo 02 - Jardim vertical com a Morceguinho

Para os resultados do módulo 02 com a vegetação de morceguinho, obtiveram-se os ensaios 08 (Painel de fibra de coco de 5cm, manta geotêxtil, substrato e Morceguinho) e 12 (Painel de fibra de coco de 10cm, manta geotêxtil, substrato e Morceguinho).

Em ambos os ensaios é possível identificar que os resultados foram muito parecidos, com destaque favorável ao conjunto do ensaio 12, o qual possui maior espessura de manta de fibra de coco. Observa-se ainda que os valores de coeficientes de absorção sonora se mostram significantes a partir da banda de 315Hz (ver gráfico 7).

Gráfico 7 – Coeficientes de Absorção do módulo 02 de vegetação de morceguinho com painel de fibra de coco de 5cm (Ensaio 08) e 10cm (Ensaio 12).



Fonte: Autoria própria, 2018.

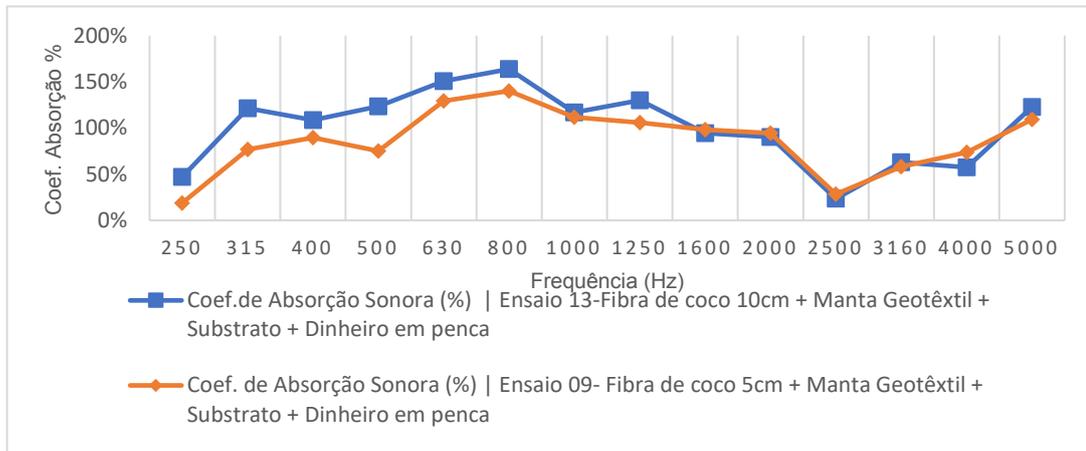
Ambos os ensaios apresentam semelhanças em seus resultados, e novamente assim como os outros resultados passados o painel de 10cm de espessura (Ensaio12) eleva o coeficiente de absorção sonora compara ao de 5cm (Ensaio 08), porém bem pouco. Ao analisar o intervalo das frequências de 400Hz a 5000Hz, o ensaio 08 os coeficientes de absorção iniciam em 86% e finaliza em 89% e o ensaio 12 inicia em 105% e finaliza em 89%. Os resultados demonstram que os coeficientes de absorção sonora são próximos, nas médias frequências apresentam uma certa diferença aproximadamente de 20%, porém nas altas a diferença é praticamente de 5%, concluindo que para vegetação de morceguinho ambos os módulos são eficientes e de comportamento sonoro semelhante.

5.2.3 Módulo 03 - Jardim vertical com a Dinheiro em Penca

Para os resultados do módulo 03, com a vegetação do Dinheiro em Penca, produziram-se os ensaios 09 (Painel de fibra de coco de 5cm, manta geotêxtil, substrato e Dinheiro em

Penca) e 13 (painel de fibra de coco de 10cm, manta geotêxtil, substrato e Dinheiro em Penca).

Gráfico 8 – Coeficientes de Absorção do módulo 03 de vegetação de dinheiro em penca com painel de fibra de coco de 5 (Ensaio 09) e 10 cm (Ensaio 13).



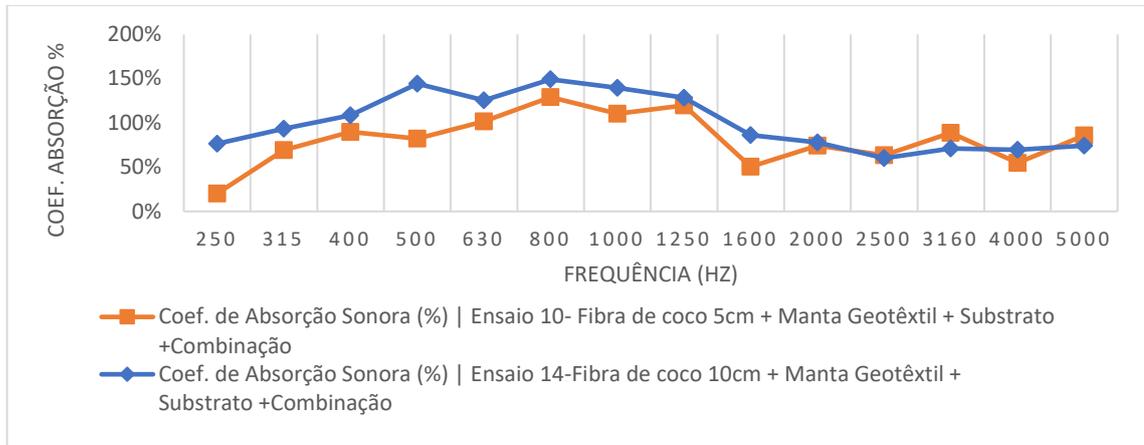
Fonte: Autoria própria, 2018.

Como pode ser observado no gráfico 8, os resultados de coeficientes de absorção sonora obtidos para o ensaio 13 e 09 são praticamente os mesmos, sendo que o coeficiente de absorção do ensaio 13, tem coeficiente de absorção de 1,24 a 1,23 é levemente superior em comparação aos obtidos no ensaio 09 com 0,75 a 1,09 de coeficiente de absorção, dentro das frequências de 500Hz a 2500Hz. Nas frequências altas acabam tendo coeficientes semelhantes se assemelhando. Deste modo é possível diagnosticar que o ensaio 13, apresenta uma melhor qualidade de absorção nas baixas frequências, porém ela acaba se igualando com os mesmos resultados no ensaio 09 quando se refere aos coeficientes das altas frequências a partir de 1600Hz.

5.2.4 Módulo 04 - Jardim vertical com as três combinações

As últimas medições produziram os ensaios 10 (Painel de fibra de coco de 5 cm, manta geotêxtil, substrato, Dinheiro em Penca, Morceguinho w Jiboia Amarela) e 14 (Painel de fibra de coco de 10 cm, manta geotêxtil, substrato, Dinheiro em Penca, Morceguinho e Jiboia Amarela).

Gráfico 9 – Coeficientes de Absorção do módulo 04 de vegetação com painel de fibra de coco de 5 (Ensaio 10) e 10 cm (Ensaio 14).



Fonte: Autoria própria, 2018.

No gráfico 9 é possível observar o comportamento superior dos coeficientes de absorção sonora produzidos a partir do ensaio 14. De modo geral, é possível observar que os resultados do ensaio 14, painel de fibra de coco de 10cm e combinação de vegetações, é superior aos produzidos pelo ensaio 10 até a banda de 2000Hz, após esta frequência o comportamento muda e passa a haver uma equivalência de dados.

Deste modo, conclui-se que o módulo de manta geotêxtil, com fibra de 10cm e combinações possui um melhor coeficiente de absorção sonora que o mesmo módulo porém com a fibra de espessura de 5cm, este teste constata que o que dá a um sistema de jardim vertical a qualidade para ser um melhor coeficiente de absorção sonora é a espessura dos painéis de fibra aplicado.

5.3 ANÁLISES COMPARATIVAS ENTRE OS PROTÓTIPOS DE JARDIM VERTICAL

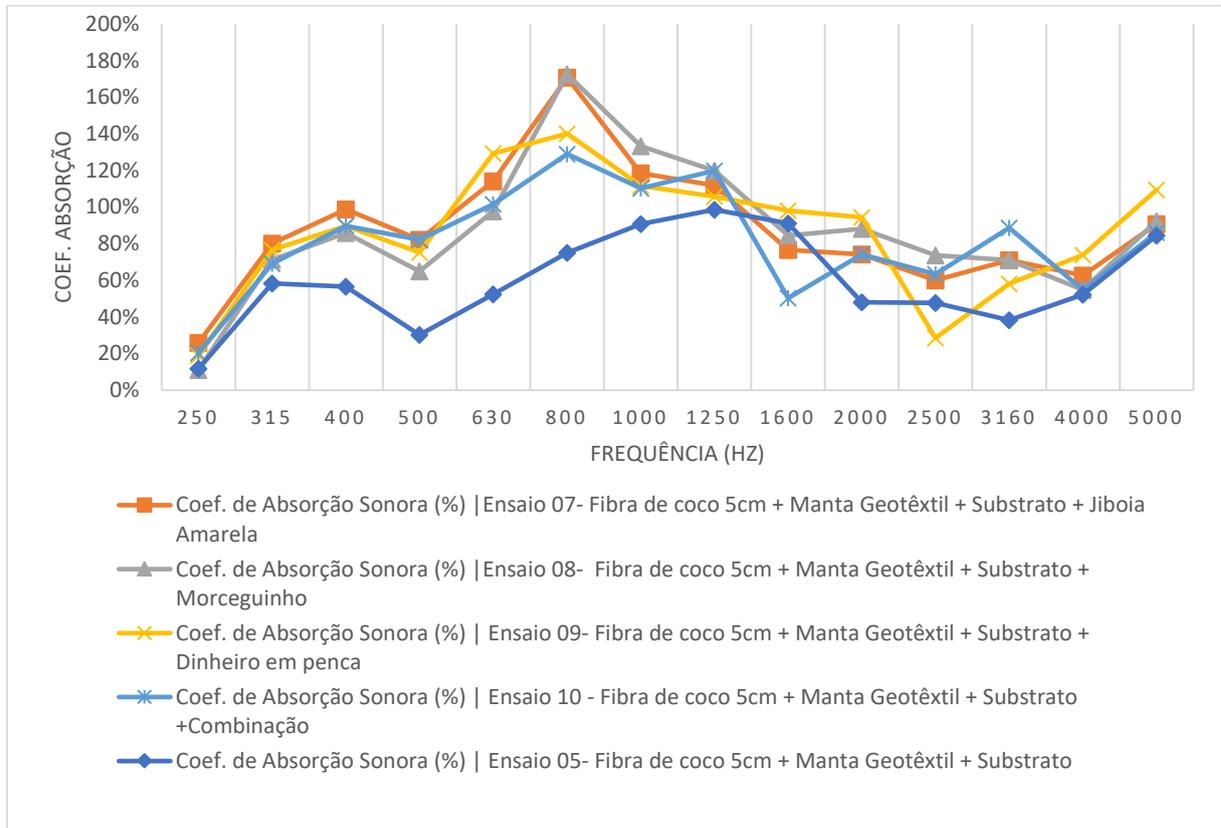
Neste tópico será analisado de forma comparativas o coeficiente de absorção dos protótipos desenvolvidos anteriormente. Primeiro entre os protótipos com painel de fibra de coco de 5cm, em seguida a comparação dos protótipos com painel de fibra de coco 10cm e a avaliação do módulo experimental desenvolvido frente aos outros estudos referências sobre o assunto.

5.3.1 Análise comparativa dos protótipos com manta de 5 cm e vegetação

O Gráfico 10 apresenta o comparativo geral dos resultados de todos os protótipos com painel de fibra de coco com 5 cm de espessura. Observa-se certa semelhança de comportamento,

demonstrando equivalência entre as vegetações utilizadas.

Gráfico 10 – Comparativo dos coeficientes de absorção dos 4 protótipos com painel de fibra natural de 5cm.



Fonte: Autoria própria, 2018.

Conforme os resultados, observe-se que todos os protótipos experimentais possuem um resultado equivalente em termos de absorção sonora. O ensaio 10 apresenta um equilíbrio em seus coeficientes sendo o mais estável de todos, provavelmente essa qualidade de absorção é indicio da mistura de várias fisiologias de folhas que se equilibram proporcionando um equilíbrio de absorção.

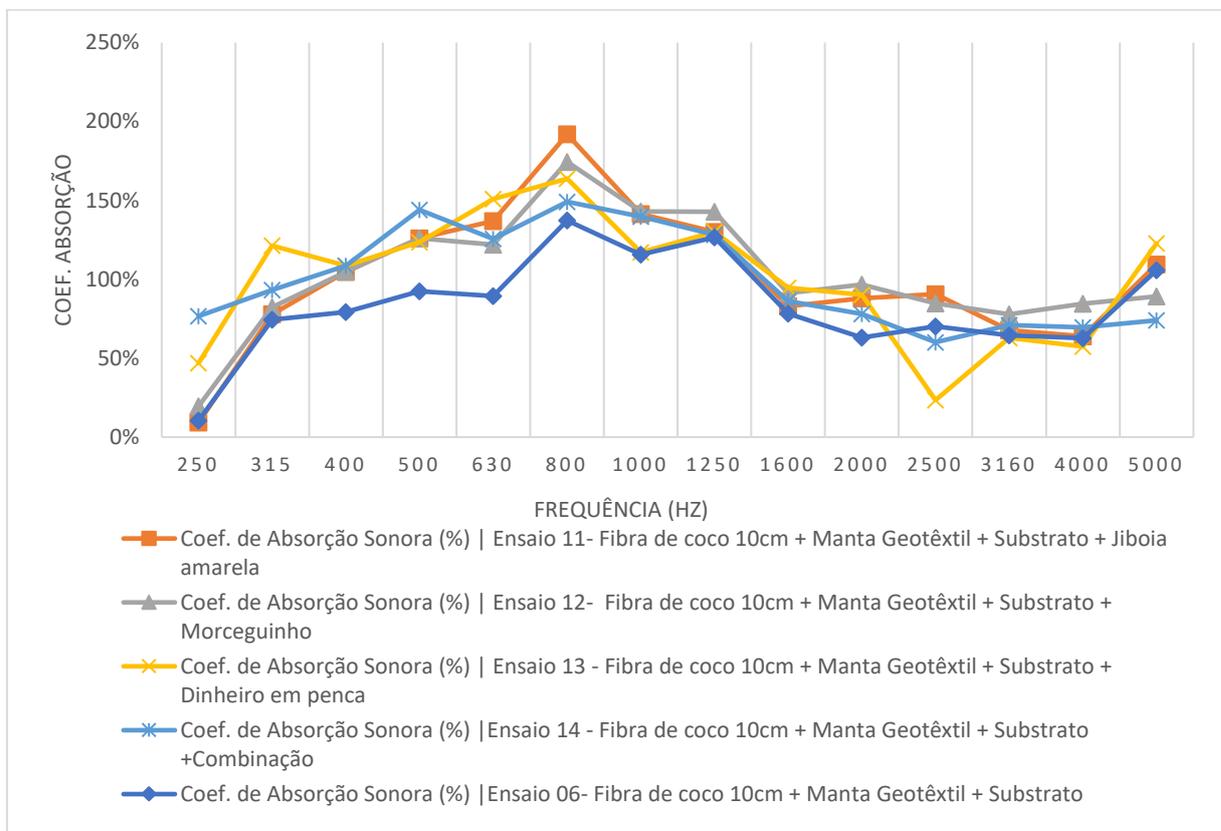
O ensaio 07 e 08 apresenta também bons resultados, porém quando comparados nas frequências de altas os seus coeficientes de absorção são inferiores. O ensaio que apresenta uma quantidade maior de altos coeficientes de absorção no combate a frequências altas é o ensaio 09, fibra de coco de 5cm, manta geotêxtil, substrato e a vegetação dinheiro em penca que possui o coeficiente de absorção sonora de 0,98 a 1,09 nas frequências de 1600Hz a 5000Hz.

Contudo, vale ressaltar que um critério a ser implementado na escolha do protótipo pode ser o custo benefício e a facilidade de cultivo ou manutenção da vegetação conforme a necessidade do projeto onde esta estratégia será implantada.

5.3.2 Análise comparativa dos módulos com manta de 10 cm e vegetação

Ao comparar os resultados do coeficiente de absorção sonora dos 4 protótipos nas frequências recomendadas, foi observada uma equivalência nos resultados, porém com o modulo de constituído pela combinação de vegetações obtém-se um melhor equilíbrio sem muitos picos ou vales dispersos, caracterizando como o modelo mais consistente de absorção sonora na maioria das frequências comparado aos outros, como demonstra o gráfico 11.

Gráfico 11 – Coeficientes de absorção dos 4 protótipos com painel de fibra natural de 10 cm.



Fonte: Autoria própria, 2018.

É possível observar que no geral os 4 módulos apresentam semelhanças em seu comportamento e nos resultados dos coeficientes de absorção. O mais estável é o ensaio 14, novamente o que apresenta as três combinações de vegetação. O Ensaio 13 com a vegetação Jiboia amarela, é o que apresenta maiores picos de absorção sonora, caracterizando-se com um bom absorvedor, indicação que as folhas mais largas da vegetação possam estar contribuindo para essa característica no sistema. Os Ensaios 12, planta morceguinho e o ensaio 13, com a planta dinheiro em penca, apresentaram grandes semelhanças, em determinadas frequências possuem o mesmo valor de absorção sonora, contudo no que se trata em ser um bom sistema

para absorção em altas frequências o ensaio 12 é o que apresenta a maior quantidade de coeficientes de absorção elevados comparado a todos os outros ensaios.

Comparando os módulos completos com o ensaio 6 que só possui painel de fibra, manta e substrato é possível observar que as plantas determinadas vegetações apresentam uma adição de absorção considerável no sistema, como a morceguinho e a Jiboia amarela. Esta contribuição provavelmente é devido a fisiologia de suas folhas, que acabam influenciando em um pequeno aumento do coeficiente, no ensaio 12 com a morceguinho, com folhas largas e bem unidas, na frequência de 1000Hz sai de 0,96 sem vegetação para 1,35 com vegetação. Analisando a vegetação dinheiro em penca, com 0,05 de aumento no coeficiente de absorção sonora dentro do sistema. Logo, os resultados mostram que a contribuição das plantas agrega significativamente no coeficiente de absorção dependendo de sua fisiologia

Deste modo, aponta-se que o melhor resultado dentro os 4 ensaios com o painel de 10cm foi o Ensaio 12 composto por painel de coco de 10cm, manta geotêxtil, substrato e a vegetação morceguinho com variação de 1,24 a 0,89 de coeficiente de absorção sonora da frequência de 500Hz a 5000Hz. Portanto este foi o ensaio que obteve os melhores resultados até mesmo quando se analisa os resultados dos ensaios com painéis de 5cm de espessura.

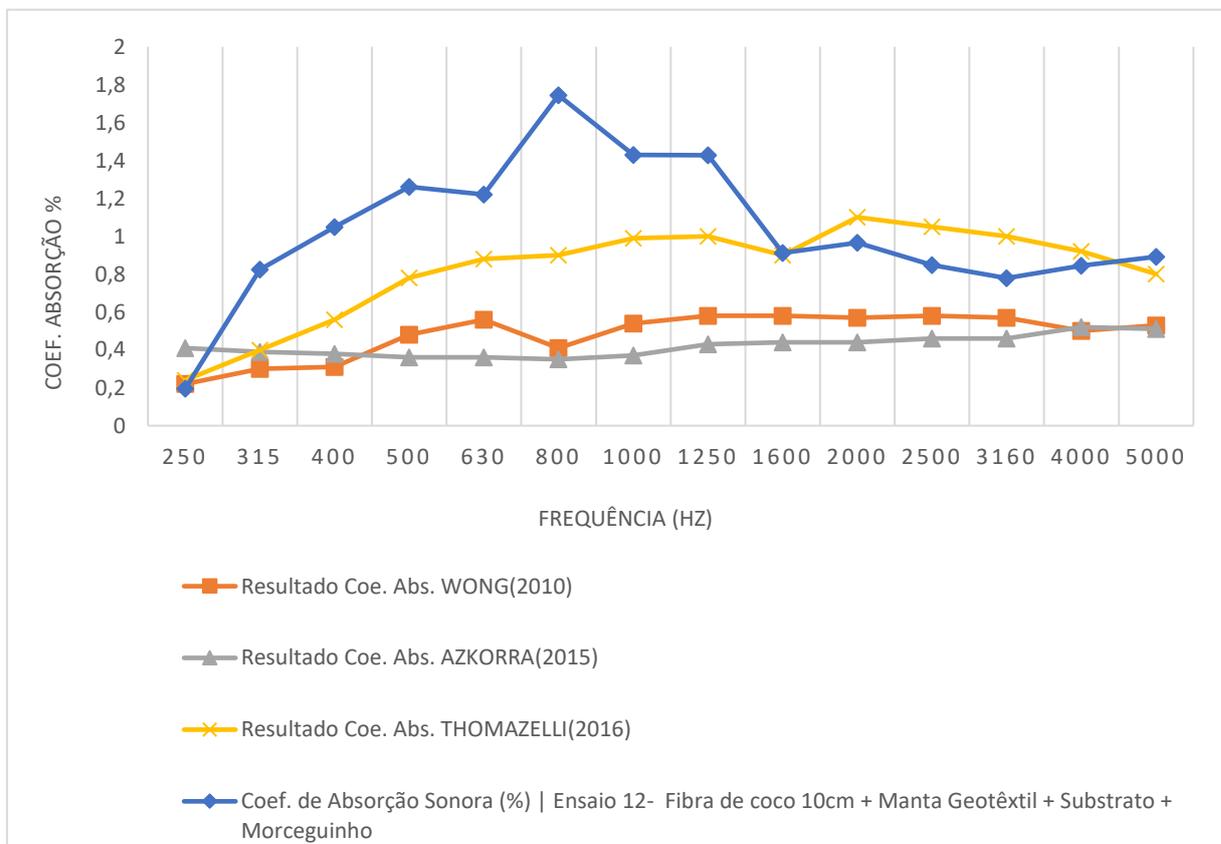
5.4 AVALIAÇÃO DO MÓDULO EXPERIMENTAL DESENVOLVIDO FRENTE AOS OUTROS ESTUDOS

Ao comparar os resultados obtidos nesta pesquisa com os de outras pesquisas, realizadas em câmaras reverberantes dentro das normas da ISO 354 (2007), percebe-se que o protótipo pesquisado apresenta um bom desempenho de condicionamento acústicos, este chega a ser semelhante aos resultados obtidos nos experimentos de Wong et al. (2010), Azkorra et al. (2015) e Thomazelli, Caetano e Bertoli (2016).

O experimento de Wong et al. (2010) possui um sistema de jardim vertical composto com um painel de madeira, vasos com substratos e plantas, ele informa que o substrato apresenta desempenho para combate de baixas frequências e a vegetação melhor desempenho para altas frequências, ele apresentou baixo coeficiente acústico em frequências baixas. Já em Azkorra et al. (2015) os painéis são modulares de poliestireno com substrato de fibra de coco e vegetação nativa *Helichrysum thianschanicum*, são painéis vibrantes que trabalham com melhores resultados em frequências mais baixas.

Ambos os quatros sistemas possuem semelhantes montagens com manta geotêxtil, bases e vegetações. As diferenças estão nas espécies vegetais e na utilização de painéis de madeira como base (WONG et al., 2010; THOMAZELLI; CAETANO; BERTOLI, 2016), na pesquisa foi utilizado o painel natural de fibra de coco como base, e vegetações do Wong et al. (2010) e Azkorra et al. (2015), a vegetação do experimento de dinheiro em penca como a do Thomazelli, Caetano; Bertoli, 2016 (gráfico 12).

Gráfico 12 – Comparativo entre os coeficientes de absorção sonora em função da frequência de sistemas de jardim verticais testados das literaturas referenciadas e do experimento deste trabalho.



Fonte: Autoria própria, 2018.

Um exemplo da qualidade de absorção sonora do protótipo estudado é a comparação a frequência de 1000Hz, o resultado de Wong et al (2010) resultou em 0,58; o de Thomazelli, Cetano e Bertoli (2016), o até então mais alto com 0,99; enquanto que o do presente estudo o ensaio 12 o coeficiente foi de 1,40, superior a todos os outros estudos.

Ao comparar o modulo do ensaio 12 (Fibra de coco 10cm, manta geotêxtil, substrato e morceguinho) do atual trabalho com os módulos experimentais dos outros autores, observe-se que nas faixas de frequências de 250 Hz até 1600Hz. o modulo de ensaio 12 possui os maiores

níveis de coeficiente de absorção sonora indo de 1,26 a 0,89 de coeficiente de absorção, logo a melhor qualidade sonora de baixas e medias frequências obtida dentre todos os experimentos.

Nas altas frequências de 2000Hz a 4000Hz o ensaio fica acima dos resultados obtidos por Wong e Azkorra, e chega próximo aos resultados obtidos por de Thomazelli, Cetano e Bertoli (2016), por exemplo na frequência 2000Hz o resultado de seu experimento obteve um coeficiente de 1,1 enquanto que o resultado do ensaio 12 do atual presente obteve 0,97. Desta forma o resultado deste último autor ainda se apresenta com um coeficiente de absorção sonora maior do que ensaio 12, apesar da pouca diferença do coeficiente de absorção sonora ser de 0,04.

A utilização da base de fibra de coco indica que foi esse recurso passivo que influenciou a diferença de resultado e a elevação da qualidade acústica do protótipo, uma vez que todos os outros sistemas também utilizaram a manta geotêxtil e substratos de terra, porém aplicaram painéis de madeira ou caixas de polietileno ao invés de fibras naturais de coco.

6 CONCLUSÃO

Neste estudo foram realizadas medições para examinar os efeitos acústicos de um tipo de sistema de paredes verticais dentro de laboratório, é uma pesquisa de comprovação científica da qualidade da absorção sonora de jardins verticais modulares e materiais passivos aplicados a acústica. O sistema adotado nesta pesquisa é uma técnica passiva voltada ao conforto acústico, devido apresentar uso de materiais não poluentes: o uso da vegetação e o uso de fibras naturais, como os agentes principais que agregam qualidade acústica ao jardim vertical, no qual foi comprovado a qualidade nesta pesquisa.

Conclui-se que aplicação no presente trabalho da material base ser um painel de fibra de coco, diferente dos painéis de madeiras que foram adotados em outras pesquisas, influenciou na qualidade de absorção sonora no sistema. Ao comparar a eficiência dos materiais que compõe o protótipo, antes da introdução da vegetação, observasse que a aplicação do painel de fibra dentro de um sistema de jardim vertical agrega cerca de 30% de coeficiente de absorção sonora na qualidade acústica, portanto este é um elemento indispensável na composição de um sistema de jardim vertical que se volte para a qualidade acústica de absorção sonora.

Outro dado dos painéis de fibra que também faz diferença é a espessura utilizada. Todos os ensaios com os painéis de fibra de 10cm obtiveram valores do coeficiente de absorção sonora maiores quando comparados aos ensaios de painel de 5cm, sendo possível observar essa qualidade dentro das médias frequências de 500Hz a 2500Hz, nas altas frequências de 2500Hz a 5000Hz essa diferença de coeficiente acaba se igualando. Concluindo que para um sistema que combate baixas e médias frequências a espessura do painel fará total diferença, mas para os sistemas que buscam combater altas frequências não faz diferença de qual espessura de painel de fibra será usado. Deste modo, outro critério que pode decidir a escolha do modulo de jardim é a consideração o custo benefício e a facilidade de cultivo ou manutenção da vegetação conforme a necessidade do projeto onde esta estratégia será implantada.

A comparação da evolução do coeficiente de absorção de cada material aplicado nos protótipos, os gráficos constata que o material que mais agregou valor foi a manta geotêxtil, confirmando a conclusão de Thomazelli (2016). Nos resultados consta-se que por ter acrescentando a manta geotêxtil o sistema teve um aumento de 10% podendo chegar 57% em determinadas frequências. Nenhum outro material usado na composição do protótipo obteve este aumento qualitativo. Portanto conclui-se que a manta geotêxtil é o material que potencializa a característica do protótipo para ser um sistema de absorção sonora.

Os resultados dos ensaios mostram que a contribuição das plantas que mais agregam

significativamente no coeficiente de absorção é da “morceguinho” e da “Jiboia amarela”, porém a vegetação não é o maior agente da absorção acústica dentro do sistema. Um desses aspectos é por conta fisiologia de cada espécie que apresenta composições, formas e tamanhos diversos. Portanto, uma das conclusões do trabalho é que a fisiologia das plantas influencia na absorção sonora do sistema. Apesar de todas contribuírem de alguma forma, a dinheiro em peça que possui folhas mais unidas e menores, por exemplo contribui com aproximadamente 0,05 no aumento do coeficiente de absorção sonora em determinadas frequências, comparada ao resultado da “morceguinho”, que possui folhas unidas porém mais largas, consegue atingir até 0,44 a mais de coeficiente para o sistema.

Na técnica proposta, os oito protótipos testados podem ser classificados como materiais absorvedores acústicos, alguns voltados para absorção sonora de frequências médias e baixas como no ensaio 07,08,09, 10 e 11, e outros para médias e altas como os ensaios 12, 13 e 14. Ao comparar, o melhor resultado obtido na pesquisa, o ensaio 12, composto de painel de fibra de coco, manta geotêxtil, substrato e a planta morceguinho, com outros protótipos pesquisados na literatura, constata-se que este apresenta resultados com maior coeficiente de absorção sonora em todas as frequências, ao serem comparados com os outros estudos de jardins verticais acústicos de Wong et al. (2010), Azkorra et al. (2015), e ao estudo de Thomazelli, Caetano e Bertoli (2016) o protótipo do atual trabalho apresenta um resultado de coeficiente de absorção aproximado com uma diferença de apenas 0,03.

Esses dados reafirmam o potencial de qualidade de combate ao ruído do uso da técnica de jardins verticais na acústica de todos os protótipos. Desta forma, entende-se que o protótipo do ensaio 12 composto por painel de fibra de coco, manta geotêxtil, substrato e a planta morceguinho, estudado resulta em ótimas qualidades de coeficiente sonoro para todas as frequências, caracterizando o sistema de jardim vertical acústico para voltado para absorção sonora no combate de ruídos.

Deste modo, a presente pesquisa consegue obter bons e expressivos resultados com os testes, comprovando as mesmas conclusões dos outros autores referências no estudo (WONG et al., 2010; AZKORRA et al., 2015; THOMAZELLI; CAETANO; BERTOLI, 2016). Jardins verticais são sistemas que funcionam adequadamente como um método de combate ao ruído, caracterizado como um material de absorção acústica em todas as faixas de frequências, principalmente as altas, tudo vai depender da tipologia de jardim escolhida, do material aplicado e da vegetação cultivada.

6.1 TRABALHOS FUTUROS

Deste presente trabalho busca que ele enverede pelas confecções do protótipo em dimensões reais com estruturas adequadas para isso ele pode ser complementado com um estudo de aplicação dos protótipos em dimensões reais, nas fachadas de edificação locais tanto comerciais, estudantis, quando residenciais, explanando as mesmas vegetações ou até outros tipos de plantas endemias. Para isso, recomenda-se estudar sobre a influência do peso, da agregação de água da chuva e o tipo de estrutura que irá ligar o painel a parede, exemplo de alumínio, metal, madeira, como essa estrutura poderia interferir na qualidade acústica do painel.

Recomendasse um estudo do de custo benefício desse protótipo local. Alguns autores já exploraram este tema, contudo todos foram realizados na Europa e Ásia, em caráter nacional ou regional não se apresenta trabalhos pertinentes aos custos de execução e manutenção, este é um bom discurso para saber a viabilidade econômica de paredes verdes.

Um outro aspecto que poderá ser abordado é um estudo de aprofundamento no comportamento da fisiologia das plantas referente ao som e absorção. É necessário um estudo em tubos de impedância sobre as dimensões e tipos de vegetações que podem ser realizadas em tubos de impedância, assim podendo realizar uma classificação vegetativa das melhores ou inadequadas vegetações que possam servir de subsídios em jardins verticais acústicos. Recomendasse também uma pesquisa de formular diretrizes e normas para aplicação e manutenção de jardins verticais em fachadas regionais, de forma a tornar um conhecimento público e normativo, assim como é explorado na técnica de telhado verde.

REFERÊNCIAS

- ASDRUBAL, F.; SCHIAVON, S.; HOROSHENKOV, K. V. A Review of Sustainable Materials for Acoustic Applications. **Building Acoustic**, Brentwood, p. 283-312, 2012. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Francesco_Asdrubali/publication/235288360_A_Review_of_Sustainable_Materials_for_Acoustic_Applications/links/09e415110d0d52e2d4000000/A-Review-of-Sustainable-Materials-for-Acoustic-Applications.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **10.151**: Acústica- avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade. Rio de Janeiro, 2000. 4 p.
- AZKORRA, Z. et al. Evaluation of green walls as a passive acoustic insulation system for buildings. **Applied Acoustics**, [s. l.], v. 89, p. 46-56, 2015. Disponível em: <https://ac.els-cdn.com/S0003682X14002333/1-s2.0-S0003682X14002333-main.pdf?_tid=fce5cccd-b1a9-4b1c-9a15-34016642829e&acdnat=1534501823_8b8b618614373089e1a1e12fd35496c1>. Acesso em: 11 jun. 2016.
- BARBOSA, M. C.; FONTES, M. S. G. C. JARDINS VERTICAIS: MODELOS E TÉCNICAS. **Parc Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas**, Campinas, v. 7, n. 2, p. 114-124, 2016. Disponível em: <[doi:http://dx.doi.org/10.20396/parc.v7i2.8646304](http://dx.doi.org/10.20396/parc.v7i2.8646304)>. Acesso em: 30 nov. 2016.
- BAROSKY, T. K. **PLASTICIDADE ORNAMENTAL E PROPAGAÇÃO DE HERBÁCEAS PARA UTILIZAÇÃO EM TELHADO VERDE**. 2011. 149 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia e Medicina Veterinária, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2011. Disponível em: <<http://tede.upf.br/jspui/handle/tede/507>>. Acesso em 02 nov. 2016.
- BASTOS, L. P. **Desenvolvimento e Caracterização Acústica de painéis multicamadas unifibra, multifibras e mesclados, fabricados a partir de fibras vegetais**. 2009. 157 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará áreas de concentração em Vibrações e Acústica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2009.
- BENEVOLO, L. **História da Cidade**. Tradução: S. Mazza. 4. ed. São Paulo: Perspectiva, 2009. 729 p.
- BISTAFA, S. R. **Acústica aplicada ao controle de ruído**. 2. ed. São Paulo: Edgar Blücher. 2011. 384 p.
- BRASIL. DECRETO Nº 55.993, DE 10 DE MARÇO DE 2015. **Diário Oficial da Cidade de São Paulo**, 11/03/2015, p. 1, 2015b. Disponível em: <<http://dobuscadireta.imprensaoficial.com.br/default.aspx?DataPublicacao=20150311&Caderno=DOC&NumeroPagina=1>>. Acesso: 30 abr. 2018.
- BRASIL. DECRETO Nº 56.630, DE 19 DE NOVEMBRO DE 2015. **Diário Oficial da Cidade de São Paulo**, 20/11/2015, p. 1, 2015a. Disponível em: <<https://www.imprensaoficial.com.br/DO/GatewayPDF.aspx?link=/2015/diario%20oficial%2>>

cidade%20de%20sao%20paulo/novembro/20/pag_0001_1VT1VQ83TCHPEeE2RVF2HBE0HME.pdf>. Acesso: 30 abr. 2018.

CAETANO, F. D. N. **INFLUÊNCIA DE MUROS VIVOS SOBRE O DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFÍCIOS**. 2014. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014. Disponível em: <repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/.../Caetano_FernandoDursoNeves_M.pdf>. Acesso em: 02 jul. 2016

CANEVAFLOR. **Green Wall Acoustic**. 2016. Disponível em: <http://www.canevaflor.cl/>. Acesso em: 03 jun. 2016.b

DUNNETT, N.; KINGSBURY, N. **Planting Green Roofs and Living Walls**. Portland: Timber Press, 2008. 336 p.

EMBRAPA. **Comportamento Térmico da Fibra do Aça**. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2005. 3 p. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/15427388.pdf>. Acesso em: 21 ago. 2018.

REFLORA. Flora do Brasil 2020 em construção. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>. Acesso em: 03 jan. 2018.

GUEDES, R. C. **Projeto e construção de uma câmara reverberante em escala reduzida para a caracterização acústica de materiais absorventes**. 2007. 129 f. Dissertação (Mestrado), 1º versão, Setor de Ciências Exatas, Vibrações e Acústica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2007.

BISCARO, G. A; OLIVEIRA, A. C. Sistemas de irrigação localizada: Fertirrigação. In: BISCARO, G. A. (org.). **Sistemas De Irrigação Localizada**. Dourados: UFGD, 2014. p. 69-108. Disponível em: <http://files.ufgd.edu.br/arquivos/arquivos/78/EDITORA/catalogo/sistemas-de-irrigacao-localizada-guilherme-augusto-biscaro-org.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2017

HEIDEN, G.; BARBIERI, R.; TEMPELSTUMPF, E. R. Considerações sobre o uso de plantas ornamentais nativas. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**, [s. l.], v. 12, n. 1, p. 2 -7, 2006.

HOROSHENKOV, K. V.; KHAN, A.; BENKREIRA, H. The effect of moisture and soil type on the acoustical properties of green noise control elements. **Forum Acusticum 2011**, Aalborg, p. 1-5, 2011. Disponível em: <https://bit.ly/2vSRz07>. Acesso em: 20 ago. 2016

ISMAIL, MOSTAFA REFAT. Quiet environment:Acousticsofvertical green wall systems of the Islamic urban form. **Frontiers Os Architectural**, Cairo, v. 2, p. 162-177, 2012. Disponível em: <https://bit.ly/2vSRz07>. Acesso em: 20 nov. 2016.

ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO. **354**: Acoustics — Measurement of sound absorption in a reverberation room. Gênova, 2007.

JAFFAL, I., OULDBOUKHITINE, S. & BELARBI, R. A comprehensive study of the impact of green roofs on building energy performance. **Renewable Energy**, [s. l.], v. 43, p. 157-

164, 2012. Disponível em: <www.zavit.org.il/wp-content/uploads/2015/04/Jaffal-et-al.-2011-green-roofs-energy.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2016.

JOHNSTON, J., NEWTON J. **Building Green: A guide to using plants on roofs, walls and pavements**. Londres: Mayor of London, 2004. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5772/5576>>. Acesso em: 17 nov. 2016.

KÖHLER, M. Green facades — a view back and some visions. **Urban Ecosyst**, Neubrandenburg, v. 11, p. 423-436, 2008. Disponível em: <[www.gruendach-mv](http://www.gruendach-mv.de)>. Acesso em: 17 nov. 2016.

LACASTA, A. M. et al. Acoustic evaluation of modular greenery noise barriers. **Urban Forestry & Urban Greening**, [s. l.], v. 20, p. 172-179, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1618866716300528>>. Acesso em: 11 set. 2016.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. **Eficiência Energética na Arquitetura**. [s. l.]: [s. n.], 2014.

LEÃO, N.; ALENCAR C.; VERÍSSIMO A. **Belém Sustentável 2007**. Belém: Instituto do Homem e Meio ambiente da Amazônia, 2008. 140 p.

MACEDO, R. G.; CASTILHO, A. Economia criativa e comunicação governamental: Movimento 90° e a remodelagem visual da cidade de São Paulo. **Organicom**, São Paulo, v. 12, n. 23, 2015. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/organicom/article/view/139300/0>>. Acesso em: 05 out. 2016.

MANSO, M.; CASTRO-GOMES, J. Green wall systems: A review of their characteristics. Renewable and Sustainable. **Energy Reviews**, v. 41, p. 863-871, 2015. Disponível em: <<http://DX.doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.203>>. Acesso em: 11 set. 2016.

MOVIMENTO 90° GRAUS. Manual de construção de Jardins Verticais. São Paulo: [s. n.], 2017. Disponível em <<https://www.movimento90.com/botanica/>> Acesso em: 03 out. 2016.

NUTRIPLAN©. Disponível em: <www.nutriplan.com.br/ptb/produtos/nutriplan-jardins/jardinagem-em-geral/kit-jardineira-nutricoco> Acesso: 03 jan. 2018.

PERÉN, J. I. M. **Ventilação e iluminação naturais na obra de João Figueiras Lima” Lelé”**: Estudo dos hospitais da rede Sarah Kubitschek Fortaleza e Rio de Janeiro. Dissertação (mestrado-programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2006.

PÉREZ, G. et al. Green vertical systems for buildings as passive systems for energy savings. **Applied Energy**, [s. l.], v. 88, p. 4854-4859, 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030626191100420X?via%3Dihub>>. Acesso em: 05 out. 2016.

PEREZ, G. et al. Vertical Greenery Systems (VGS) for energy saving in buildings: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 39, p. 139-165, 2014. Disponível em: <<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>>. Acesso em: 05 out. 2016.

PERINI, K. et al. **Vertical greening systems and the effect on air flow and temperature on**

the building envelope. *Building and Environment*, Issue, v.46, p. 2287-2294, 11 nov. 2011. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036013231100148X> >. Acesso em: 09 out. 2016.

PERINI, K. ROSASCO, P. Cost-benefit analysis for green façades and living wall systems. **Building and Environment**, [s. l.], v. 70, p. 110-121, 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132313002382?via%3Dihub>>. Acesso em: 09 out. 2016.

RENTERGHEM, T. et al. The potential of building envelope greening to achieve quietness. **Building and environment**, [s. l.], v. 61, p. 34-44, 2012. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036013231200323X>>. Acesso em: 09 out. 2016.

SANTOS, N.R.Z.; TEIXEIRA, I.F. **Arborização de vias públicas: ambiente X vegetação.** Porto Alegre: Pallotti, 2001. 136p.

SCHERER, M. J.; FEDRIZZI, B. M. CORTINAS VERDES: O USO DA VEGETAÇÃO COMO ESTRATÉGIA BIOCLIMÁTICA. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 14., 2012, Juiz de Fora. **XIV ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.** Juiz de Fora: [s. n.], 2012. p. 2379 - 2384. Disponível em: <<http://www.infohab.org.br/entac2014/2012/docs/1276.pdf>>. Acesso em: 12 jun. 2016.

SOUZA, L. C. L.; ALMEIDA, M. G.; BRAGANÇA, L. **Bê-a-bá da acústica arquitetônica.** Barcelona: Gustavo Gili, 2009.

SOUZA, V. C.; LORENZI, H. **Botânica sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de angiospermas da flora brasileira, baseado em APG II.** Nova Odessa: Plantarum, 2005. 639 p.

THOMAZELLI, R.; CAETANO, F.; BERTOLI, S. Acoustic properties of green walls: Absorption and insulation. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON ACOUSTICS, 22., 2016, Buenos Aires. **PROCEEDINGS of the 22nd International Congress on Acoustics.** Buenos Aires: Ica, 2016. p. 1 - 10. Disponível em: <<http://www.ica2016.org.ar/ica2016proceedings/ica2016/ICA2016-0695.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2016.

WONG, N. H. et al. Acoustic evaluation of vertical greenery systems for builds walls. **Building and Environment**, Singapura, v. 45, 2010. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132309001632>>. Acesso em: 01 out. 2016

YANG, S.Y.; KANG, J.; MIN, S. C. Acoustic effects of green roof systems on a low-profiled structure at street level. **Building and Environment**, [s.l.] v. 50, p. 44-55, 2012. Disponível em: < <http://isiarticles.com/bundles/Article/pre/pdf/64835.pdf> >. Acesso em: 12 jun. 2016.

ZENATI, R. S. et al. PAREDE VERDE: A INTEGRAÇÃO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO COM A NATUREZA. In: **ENCONTRO EM ENGENHARIA DE EDIFICAÇÕES E AMBIENTAL**, 4., 2016, Cuiabá. UFMT, 2016. p. 1 - 14. Disponível em: <<http://eventosacademicos.ufmt.br/index.php/eeee/eeee2016/paper/viewFile/678/242>>. Acesso em: 20 set. 2016.

APÊNDICE – Resultados das amostras dentro da minicâmara reverberante:

Tabela de TR da medição do SONEX					
Frequência (Hz)	T'60 (s)	T60 (s)	Absorção Superficial (m ²)	Coeficiente de Absorção Sonora (%) SONEX	
250	0,289	0,306	0,03		10%
315	0,224	0,317	0,20		67%
400	0,257	0,464	0,27		89%
500	0,285	0,39	0,15		48%
630	0,204	0,416	0,38		128%
800	0,188	0,387	0,42		140%
1000	0,193	0,342	0,35		116%
1250	0,179	0,302	0,35		117%
1600	0,166	0,252	0,32		105%
2000	0,18	0,215	0,14		46%
2500	0,173	0,225	0,21		68%
3160	0,177	0,231	0,20		68%
4000	0,197	0,256	0,18		60%
5000	0,182	0,262	0,26		86%

Tabela de TR da medição de Fibra de coco de 5cm					
Frequência (Hz)	T'60 (s) amostr a 01	T60 (s) minicaram a	Absorção Superficial (m ²)	Coeficiente de Absorção Sonora (%) Fibra de coco 5cm	
250	0,299	0,306	0,01		4%
315	0,247	0,317	0,14		46%
400	0,36	0,464	0,10		32%
500	0,365	0,39	0,03		9%
630	0,329	0,416	0,10		33%
800	0,294	0,387	0,13		42%
1000	0,261	0,342	0,14		46%
1250	0,221	0,302	0,19		62%
1600	0,186	0,252	0,22		72%
2000	0,185	0,215	0,12		39%
2500	0,186	0,225	0,14		48%
3160	0,199	0,231	0,11		36%
4000	0,198	0,256	0,18		59%
5000	0,19	0,262	0,22		74%

Tabela de TR da medição de Fibra de coco de 10cm					
Frequência (Hz)	T'60 (s) amostr a 02	T60 (s) minicaram a	Absorção Superficial (m ²)	Coeficiente de Absorção Sonora (%) Fibra de coco 10cm	
250	0,262	0,306	0,08		28%
315	0,228	0,317	0,19		63%

400	0,307	0,464	0,17	56%
500	0,299	0,39	0,12	40%
630	0,259	0,416	0,22	75%
800	0,226	0,387	0,28	94%
1000	0,219	0,342	0,25	84%
1250	0,201	0,302	0,26	85%
1600	0,175	0,252	0,27	89%
2000	0,168	0,215	0,20	67%
2500	0,174	0,225	0,20	67%
3160	0,182	0,231	0,18	60%
4000	0,212	0,256	0,12	42%
5000	0,184	0,262	0,25	83%

Tabela de TR da medição de Fibra de coco de 5cm e manta Geotêxtil

Frequência (Hz)	T'60		Absorção Superficial (m ²)	Coeficiente de Absorção Sonora (%) Fibra de coco 5cm + Manta Geotêxtil
	(s) amostra a 03	T60 (s) minicaram a		
250	0,298	0,306	0,01	4%
315	0,248	0,317	0,13	45%
400	0,326	0,464	0,14	47%
500	0,307	0,39	0,11	36%
630	0,294	0,416	0,15	51%
800	0,261	0,387	0,19	64%
1000	0,225	0,342	0,23	78%
1250	0,187	0,302	0,31	104%
1600	0,17	0,252	0,29	98%
2000	0,176	0,215	0,16	53%
2500	0,183	0,225	0,16	52%
3160	0,207	0,231	0,08	26%
4000	0,205	0,256	0,15	50%
5000	0,179	0,262	0,27	91%

Tabela de TR da medição de Fibra de coco de 10 cm e manta Geotêxtil

Frequência (Hz)	T'60		Absorção Superficial (m ²)	Coeficiente de Absorção Sonora (%) Fibra de coco 10cm + Manta Geotêxtil
	(s) amostra a 04	T60 (s) minicaram a		
250	0,279	0,306	0,05	16%
315	0,234	0,317	0,17	57%
400	0,28	0,464	0,22	73%
500	0,238	0,39	0,25	84%
630	0,244	0,416	0,26	87%
800	0,195	0,387	0,39	130%
1000	0,189	0,342	0,36	121%
1250	0,174	0,302	0,37	125%
1600	0,185	0,252	0,22	74%
2000	0,165	0,215	0,22	72%
2500	0,166	0,225	0,24	81%

	3160	0,178	0,231	0,20	66%
	4000	0,204	0,256	0,15	51%
	5000	0,174	0,262	0,30	99%
Tabela de TR da medição de Fibra de coco de 5 cm, manta Geotêxtil e substrato					
Frequência (Hz)	T'60 (s)	T60 (s)	Absorção Superficial (m ²)	Coeficiente de Absorção Sonora (%) Fibra de coco 5cm + Manta Geotêxtil + Substrato	
	amostr a 05	minicaram a			
	250	0,286	0,306	0,04	12%
	315	0,233	0,317	0,17	58%
	400	0,307	0,464	0,17	56%
	500	0,317	0,39	0,09	30%
	630	0,292	0,416	0,16	52%
	800	0,247	0,387	0,23	75%
	1000	0,213	0,342	0,27	91%
	1250	0,191	0,302	0,30	99%
	1600	0,174	0,252	0,27	91%
	2000	0,179	0,215	0,14	48%
	2500	0,186	0,225	0,14	48%
	3160	0,197	0,231	0,11	38%
	4000	0,203	0,256	0,16	52%
	5000	0,183	0,262	0,25	84%
Tabela de TR da medição de Fibra de coco de 10 cm, manta Geotêxtil e substrato					
Frequência (Hz)	T'60 (s)	T60 (s)	Absorção Superficial (m ²)	Coeficiente de Absorção Sonora (%) Fibra de coco 10cm + Manta Geotêxtil + Substrato	
	amostr a 06	minicaram a			
	250	0,288	0,306	0,03	10%
	315	0,217	0,317	0,22	74%
	400	0,27	0,464	0,24	79%
	500	0,229	0,39	0,28	92%
	630	0,241	0,416	0,27	89%
	800	0,19	0,387	0,41	137%
	1000	0,193	0,342	0,35	116%
	1250	0,173	0,302	0,38	126%
	1600	0,182	0,252	0,23	78%
	2000	0,17	0,215	0,19	63%
	2500	0,172	0,225	0,21	70%
	3160	0,179	0,231	0,19	64%
	4000	0,195	0,256	0,19	63%
	5000	0,17	0,262	0,32	106%
Tabela de TR da medição de Fibra de coco de 5 cm, manta Geotêxtil, substrato e Jiboia amarela					
Frequência (Hz)	T'60 (s)	T60 (s)	Absorção Superficial (m ²)	Coeficiente de Absorção Sonora (%) Fibra de coco 5cm + Manta Geotêxtil + Substrato + Jiboia Amarela	
	amostr a 07	minicaram a			
	250	0,265	0,306	0,08	26%
	315	0,212	0,317	0,24	80%

400	0,245	0,464	0,30	99%
500	0,24	0,39	0,25	82%
630	0,216	0,416	0,34	114%
800	0,169	0,387	0,51	171%
1000	0,191	0,342	0,36	118%
1250	0,182	0,302	0,34	112%
1600	0,183	0,252	0,23	77%
2000	0,164	0,215	0,22	74%
2500	0,178	0,225	0,18	60%
3160	0,175	0,231	0,21	71%
4000	0,195	0,256	0,19	63%
5000	0,179	0,262	0,27	91%

Tabela de TR da medição de Fibra de coco de 10 cm, manta Geotêxtil, substrato e Jiboia amarela

Frequência (Hz)	T'60 (s)	T60 (s) minicaram a	Absorção Superficial (m ²)	Coeficiente de Absorção Sonora (%) Fibra de coco 10cm + Manta Geotêxtil + Substrato + Jiboia amarela	
250	0,29	0,306	0,03		9%
315	0,214	0,317	0,23		78%
400	0,238	0,464	0,31		105%
500	0,199	0,39	0,38		126%
630	0,197	0,416	0,41		137%
800	0,158	0,387	0,58		192%
1000	0,176	0,342	0,42		141%
1250	0,171	0,302	0,39		130%
1600	0,179	0,252	0,25		83%
2000	0,157	0,215	0,26		88%
2500	0,161	0,225	0,27		91%
3160	0,177	0,231	0,20		68%
4000	0,194	0,256	0,19		64%
5000	0,168	0,262	0,33		109%

Tabela de TR da medição de Fibra de coco de 5 cm, manta Geotêxtil, substrato e morceguinho

Frequência (Hz)	T'60 (s) amostr a 09	T60 (s) minicaram a	Absorção Superficial (m ²)	Coeficiente de Absorção Sonora (%) Fibra de coco 5cm + Manta Geotêxtil + Substrato + Morceguinho	
250	0,287	0,306	0,03		11%
315	0,22	0,317	0,21		71%
400	0,261	0,464	0,26		86%
500	0,261	0,39	0,19		65%
630	0,232	0,416	0,29		98%
800	0,168	0,387	0,52		173%
1000	0,181	0,342	0,40		133%
1250	0,177	0,302	0,36		120%
1600	0,178	0,252	0,25		85%
2000	0,157	0,215	0,26		88%
2500	0,17	0,225	0,22		74%

	3160	0,175	0,231	0,21	71%
	4000	0,201	0,256	0,16	55%
	5000	0,178	0,262	0,28	92%
Tabela de TR da medição de Fibra de coco de 10 cm, manta Geotêxtil, substrato e morcegoinho					
Frequência (Hz)	T'60 (s)	T60 (s) minicaram	Absorção Superficial (m ²)	Coeficiente de Absorção Sonora (%) Fibra de coco 10cm + Manta Geotêxtil + Substrato + Morcegoinho	
250	0,274	0,306	0,06	20%	
315	0,21	0,317	0,25	82%	
400	0,238	0,464	0,31	105%	
500	0,199	0,39	0,38	126%	
630	0,209	0,416	0,37	122%	
800	0,167	0,387	0,52	174%	
1000	0,175	0,342	0,43	143%	
1250	0,164	0,302	0,43	143%	
1600	0,174	0,252	0,27	91%	
2000	0,153	0,215	0,29	97%	
2500	0,164	0,225	0,25	85%	
3160	0,171	0,231	0,23	78%	
4000	0,18	0,256	0,25	84%	
5000	0,18	0,262	0,27	89%	
Tabela de TR da medição de Fibra de coco de 5 cm, manta Geotêxtil, substrato e dinheiro em penca					
Frequência (Hz)	T'60 (s) da amostr a 11	T60 (s) minicaram a	Absorção Superficial (m ²)	Coeficiente de Absorção Sonora (%) Fibra de coco 5cm + Manta Geotêxtil + Substrato + Dinheiro em penca	
250	0,275	0,306	0,06	19%	
315	0,215	0,317	0,23	77%	
400	0,256	0,464	0,27	90%	
500	0,248	0,39	0,23	75%	
630	0,203	0,416	0,39	129%	
800	0,188	0,387	0,42	140%	
1000	0,196	0,342	0,33	112%	
1250	0,186	0,302	0,32	106%	
1600	0,17	0,252	0,29	98%	
2000	0,154	0,215	0,28	94%	
2500	0,2	0,225	0,09	28%	
3160	0,183	0,231	0,17	58%	
4000	0,187	0,256	0,22	74%	
5000	0,168	0,262	0,33	109%	
Tabela de TR da medição de Fibra de coco de 10 cm, manta Geotêxtil, substrato e dinheiro em penca					
Frequência (Hz)	T'60 (s) da amostr a	T60 (s) minicaram a	Absorção Superficial (m ²)	Coeficiente de Absorção Sonora (%) Fibra de coco 10cm + Manta Geotêxtil + Substrato + Dinheiro em penca	
250	0,239	0,306	0,14	47%	
315	0,181	0,317	0,36	121%	

400	0,234	0,464	0,33	109%
500	0,201	0,39	0,37	124%
630	0,187	0,416	0,45	151%
800	0,173	0,387	0,49	164%
1000	0,192	0,342	0,35	117%
1250	0,171	0,302	0,39	130%
1600	0,172	0,252	0,28	95%
2000	0,156	0,215	0,27	90%
2500	0,204	0,225	0,07	23%
3160	0,18	0,231	0,19	63%
4000	0,199	0,256	0,17	57%
5000	0,161	0,262	0,37	123%

Tabela de TR da medição de Fibra de coco de 5 cm, manta Geotêxtil, substrato e combinações

Frequência (Hz)	T'60		Absorção Superficial (m ²)	Coeficiente de Absorção Sonora (%) Fibra de coco 5cm + Manta Geotêxtil + Substrato +Combinação
	(s) amostr a 13	T60 (s) minicaram a		
250	0,273	0,306	0,06	20%
315	0,222	0,317	0,21	69%
400	0,256	0,464	0,27	90%
500	0,24	0,39	0,25	82%
630	0,228	0,416	0,30	102%
800	0,196	0,387	0,39	129%
1000	0,197	0,342	0,33	110%
1250	0,177	0,302	0,36	120%
1600	0,202	0,252	0,15	50%
2000	0,164	0,215	0,22	74%
2500	0,176	0,225	0,19	63%
3160	0,165	0,231	0,27	89%
4000	0,201	0,256	0,16	55%
5000	0,182	0,262	0,26	86%

Tabela de TR da medição de Fibra de coco de 10 cm, manta Geotêxtil, substrato e combinações

Frequência (Hz)	T'60		Absorção Superficial (m ²)	Coeficiente de Absorção Sonora (%) Fibra de coco 10cm + Manta Geotêxtil + Substrato +Combinação
	(s)	T60 (s) minicaram a		
250	0,21	0,306	0,23	77%
315	0,201	0,317	0,28	93%
400	0,234	0,464	0,33	109%
500	0,186	0,39	0,43	144%
630	0,206	0,416	0,38	126%
800	0,182	0,387	0,45	149%
1000	0,177	0,342	0,42	140%
1250	0,172	0,302	0,38	128%
1600	0,177	0,252	0,26	86%
2000	0,162	0,215	0,23	78%
2500	0,178	0,225	0,18	60%

3160	0,175	0,231	0,21		71%
4000	0,19	0,256	0,21		70%
5000	0,19	0,262	0,22		74%