

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**ESTUDO DA ABSORÇÃO SONORA DE ARRANJOS
DECORATIVOS CONTENDO ESPÉCIES VEGETAIS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Rafael dos Santos Vinadé

**Santa Maria, RS, Brasil
2015**

ESTUDO DA ABSORÇÃO SONORA DE ARRANJOS DECORATIVOS CONTENDO ESPÉCIES VEGETAIS

Rafael dos Santos Vinadé

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Construção Civil e Preservação Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Civil**.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Dinara Xavier da Paixão

**Santa Maria, RS, Brasil
2015**

© 2015

Todos os direitos autorais reservados a Rafael dos Santos Vinadé. A reprodução de partes ou de todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte:

Endereço: Rua dos Andradas, 1860, sala 303, bairro centro, Santa Maria RS. CEP 97010-032

Fone: 55. 3027 2054; E-mail: contato@rafaelvinade.com

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**ESTUDO DA ABSORÇÃO SONORA DE ARRANJOS DECORATIVOS
CONTENDO ESPÉCIES VEGETAIS**

elaborada por
Rafael dos Santos Vinadé

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Civil

COMISSÃO EXAMINADORA

Dinara Xavier da Paixão, Dr^a (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Márcio Henrique de Avelar Gomes, Dr. (UTFPR)
(Examinador)

Marco Antônio Silva Pinheiro, Dr (UFSM)
(Examinador)

Santa Maria 14 de Julho de 2015

Dedico este trabalho à mim mesmo.

Dedico à minha família, por ter incentivado e provido condições para que eu buscasse o desenvolvimento intelectual sempre, em especial à minha avó Maria Elizabeth, que iniciou o legado acadêmico que hoje tenho a honra de dar continuidade.

Dedico aos meus alunos, treinandos e colegas *Coaches* que buscam criar um mundo melhor através de pessoas melhores.

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente ao Universo.

Agradeço à minha Orientadora Dinara Paixão, por ter conduzido este longo processo de formação de um mestre, com a paciência e dedicação necessária para suportar tanto tempo.

Agradeço ao meu pai Antônio por ter me trazido ensinamentos e desafios que ajudaram a formar quem sou hoje. Agradeço à minha mãe Sandra, um exemplo de resiliência e dedicação. Agradeço à minha namorada Leticia por trazer alegria aos meus dias com seu sorriso sincero e puro. Agradeço aos meus avós, Luiz Fernando, Maria Elizabeth, José Arthur e Iara Regina por terem se feito presente durante toda a minha vida, suprimindo faltas, quando houveram.

Agradeço ao meu amigo e Mestre Marcos Benedetti, por ter me mostrado como a qualificação acadêmica é importante e por ter me auxiliado inúmeras vezes durante o mestrado.

Agradeço à minha mestre Glória Abreu, por ter me apresentado o *Coaching*, a metodologia que transformou a minha vida e deu um novo sentido à minha existência.

Agradeço ao Colégio Politécnico da UFSM, na pessoa do prof. Marcelo Rodrigues coordenador do Curso Técnico em Paisagismo, por ter amigavelmente cedido as plantas utilizadas durante os ensaios no Laboratório de Engenharia Acústica - LEAC UFSM.

Agradeço ao amigo Angelo Perin pelo transporte das plantas até o LEAC UFSM e por manter até hoje, os cachepôs utilizados nos ensaios guardados no depósito particular de sua empresa.

Agradeço às colegas Larissa e Bruna pelo auxílio na montagem dos ensaios no LEAC e à professora Claudia pelo auxílio no cruzamento dos resultados e interpretação da ISO354.

Om mani padme hum.

Om nama shivaya.

*A mente que se abre a uma nova ideia
jamais volta ao seu tamanho original.*

Albert Einstein

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Universidade Federal de Santa Maria

ESTUDO DA ABSORÇÃO SONORA DE ARRANJOS DECORATIVOS CONTENDO ESPÉCIES VEGETAIS

AUTOR: RAFAEL DOS SANTOS VINADÉ

ORIENTADORA: DINARA XAVIER DA PAIXÃO

Data e local da Defesa: Santa Maria, 14 de Julho de 2015

Este estudo busca apresentar uma alternativa sustentável para atenuação de ruído em ambientes externos ou internos, através da aplicação de arranjos vegetados como absorvedores sonoros. Esta proposta surge da necessidade de adaptação dos sistemas convencionais de absorção sonora, bem como a partir da preocupação com a preservação ambiental. Há também a preocupação com a aplicabilidade decorativa destes sistemas, portanto, sua aparência deve ser esteticamente interessante. Para compor a proposta, houve a análise de arranjos de plantas contendo a palmeira Buriti (*Trithrinax brasiliensis Mart.*), montadas em cachepôs confeccionados em MDF (Painéis de fibra de média densidade) e decorados com outra planta, conhecida como Barba-de-pau (*Tillandsia usneoides*). Foram realizadas medições para identificar o coeficiente de absorção sonora α destes arranjos, através de ensaios desenvolvidos em câmara reverberante do Laboratório de Engenharia Acústica da Universidade Federal de Santa Maria, segundo a norma ISO 354/2003, empregando a metodologia de ruído interrompido. A composição contendo as duas plantas e o cachepôs em MDF apresentou o coeficiente de absorção sonora médio que variou entre 0,11 e 0,27 no intervalo de 100Hz até 5000Hz. Assim, recomenda-se a utilização desta alternativa para atenuação de ruído em um dado recinto, ou ainda utilizando sua aplicação em série, contendo vários arranjos vegetados combinados.

Palavras-chave: Absorção Sonora, Arranjos de Plantas, Controle de ruído

ABSTRACT

Masters Degree Dissertation
Graduate Program in Civil Engineering
Federal University of Santa Maria, RS, Brazil

SOUND ABSORPTION STUDY OF DECORATIVE ARRANGEMENTS CONTAINING VEGETABLE SPECIES

AUTHOR: RAFAEL DOS SANTOS VINADÉ

ADVISOR: DINARA XAVIER DA PAIXÃO

Place and Date of public defense: Santa Maria, July 14th 2015.

This study aims to present a sustainable alternative to noise attenuation in external or internal environments through the application of vegetated arrangements as sound absorbers. This proposal arises from the need to adapt the conventional sound absorption systems, and from the concern for environmental preservation. There was also concern about the decorative applicability of these systems, so its appearance should be aesthetically interesting. To compose the proposal, plant arrangements, containing the Buriti palm (*Trithrinax brasiliensis Mart.*), arranged in ornamental flowerpots build in MDF (Medium Density Fiberboard plank) and decorated with another plant, known as Barba-de-pau (*Tillandsia usneoides*) were analyzed. Measurements were performed to identify the sound absorption coefficient (α) of these arrangements, through experiments in reverberation chamber of the Acoustic Engineering Laboratory in the Federal University of Santa Maria, according to ISO 354/2003 standard using the interrupted noise method. From these tests, it was determined the reverberation time (RT) and subsequently the sound absorption coefficient α . The composition containing the two plants and the ornamental flowerpots presented the average sound absorption coefficient between 0,11 and 0,27 from 100 Hz to 5000 Hz range. Thus, it is recommended to use this alternative for noise attenuation in a given room, or using their application in series, containing combined vegetated arrangements.

Keywords: Sound absorption, Plant Arrangements, Noise Control

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 – Vista do corredor verde da rua Marquês do Pombal, em Porto Alegre	23
Figura 2.2 – Vista do corredor verde da rua Gonçalo de Carvalho, em Porto Alegre.....	23
Figura 2.3 – <i>Parklet</i> , na cidade de São Paulo.....	25
Figura 2.4 – Plantas sendo descarregadas em evento	26
Figura 2.5 – Plantas com finalidade estética, aplicada à uma parede em evento	27
Figura 2.6 – Barreira acústica convencional no Japão.....	28
Figura 2.7 – Barreira acústica convencional em rodovia.....	29
Quadro 2.1 – Informações a respeito de possíveis plantas para ensaio acústico.....	35
Figura 2.8 – Palmeira Buriti adulta em seu habitat nativo.....	37
Figura 2.9 – Palmeira Buriti nativa vista de baixo	38
Figura 2.10 – Caule do Buriti adulto	39
Figura 2.11 – Fruto do Buriti.....	39
Figura 2.12 – Utilização do Buriti no paisagismo	40
Quadro 2.2 – Classificação do som em relação à frequência.....	41
Figura 2.13 – Esquema sobre transmissão da energia sonora	42
Figura 2.14 – Curva mostrando coeficientes de absorção sonora em variadas frequências	43
Figura 2.15 – Tabela de coeficientes de absorção sonora de materiais diversos.....	44
Figura 2.16 – Esquema de curva de decaimento, demonstrando o T30.....	46
Figura 3.1 – Planta baixa da câmara reverberante do LEAC – UFSM.....	49
Figura 3.2 – Esquema em perspectiva 3d da câmara reverberante do LEAC – UFSM.....	50
Figura 3.3 – Imagem interna da câmara reverberante do LEAC – UFSM	51
Figura 3.4 – Equipamento utilizado para medir temperatura e umidade	52
Figura 3.5 – Diagrama da montagem e equipamentos utilizados durante os ensaios.....	53
Figura 3.6 – Planta baixa mostrando o posicionamento da amostra, das posições de fonte e microfones, de acordo com as solicitações da norma ISO 354/2003	54
Figura 3.7 – Foto da segunda montagem do ensaio, apenas cachepôs	55
Figura 3.8 – Planta baixa esquemática da segunda montagem do ensaio.....	55
Figura 3.9 – Foto da terceira montagem do ensaio, apenas Buriti	56
Figura 3.10 – Planta baixa esquemática da terceira montagem do ensaio	57
Figura 3.11 – Barba-de-pau em sua apresentação comercial	58
Figura 3.12 – Barba-de-pau em seu habitat nativo	58
Figura 3.13 – Foto da quarta montagem, composição completa	59
Figura 3.14 – Foto da quarta montagem, apresentando os cachepôs e as duas plantas	59
Figura 3.15 – Planta baixa esquemática da quarta montagem.....	60
Figura 3.16 – Diagrama da montagem do ensaio. Relação Fonte-Microfone-Decaimento.....	61
Figura 4.1 – Gráfico contendo os coeficientes de absorção da amostra do cachepô.....	70
Figura 4.2 – Gráfico contendo os coeficientes de absorção da amostra de Buriti.....	71
Figura 4.3 – Gráfico contendo os coeficientes de absorção da composição completa	72
Figura 4.4 – Gráfico contendo os coeficientes de absorção sonora de todos os ensaios.	73
Figura 4.5 – Planta baixa sala de vídeo ou S4.....	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Níveis aceitáveis de ruído segundo NBR 10.151	21
Tabela 4.1 – Relação entre a temperatura e a velocidade de propagação do som no ar	64
Tabela 4.2 – Dados do ensaio com a câmara reverberante vazia	65
Tabela 4.3 – Dados do ensaio contendo apenas a amostra dos cachepôs	66
Tabela 4.4 – Dados do ensaio contendo apenas a amostra dos Buritis	67
Tabela 4.5 – Dados do ensaio contendo apenas a amostra da composição completa.....	68
Tabela 4.6 – Apresenta o TR e o α de todos os elementos ensaiados.....	69
Tabela 4.7 – Dados da sala de vídeo ou S4	75

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1. Justificativa	17
1.2. Objetivos.....	17
1.2.1. Objetivo geral	17
1.2.2. Objetivos específicos	18
1.3. Estrutura da pesquisa	18
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1. Som e ruído.....	19
2.2. Vegetação e desenvolvimento sustentável	21
2.3. A vegetação e o som.....	27
2.4. Escolha das amostras:	34
2.4.1. Trepadeiras – expectativa de amostra inicial	34
2.4.2. Plantas de vasos – alternativa possível.	36
2.4.3. Buriti – a escolha	37
2.5. Condicionamento Acústico e Absorção Sonora	40
2.5.1. Frequência, Intensidade e Pressão Sonora	41
2.5.2. Absorção sonora	42
3. MATERIAIS E MÉTODOS	48
3.1. Procedimentos experimentais	48
3.1.1. Local da realização dos ensaios.....	49
3.1.2. Condições climáticas da câmara durante os ensaios.....	51
3.1.3. Equipamentos utilizados durante as medições.	52
3.1.4. Montagem do experimento.....	54
3.1.5. Cálculo do coeficiente de absorção sonora na câmara reverberante.	60
4. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS.....	64
4.1. Análise dos resultados tabulados.....	65
4.2. Análise dos resultados gráficos.....	70
4.3. Estudo de aplicabilidade da amostra.....	74
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	77
5.1. Conclusão	77

5.2. Sugestão para novos trabalhos 78

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 80

1. INTRODUÇÃO

Já é de conhecimento popular que o ser humano é um indivíduo social e como tal, está constantemente em busca de interação com os semelhantes. “A busca por divertimento é um aspecto fundamental e universal nas sociedades humanas [...] pela observação do cotidiano, conglomerados de jovens e adolescentes disputando espaços e ingressos para assistir o show do seu grupo musical predileto” (PIMENTAL, GUNTHER, 2011).

Quando estes indivíduos buscam espaços para realizar estas atividades, em sua maioria, costumam utilizar-se de áreas já determinadas para tal função. Seria bom que fossem buscadas áreas pouco povoadas, ou até periféricas das cidades para a implantação destes locais. Nota-se, no entanto, que estabelecimentos mais próximos dos centros urbanos acabam gerando mais movimento e, conseqüentemente, maior procura.

Então, tornou-se cada vez mais necessário aproximar estes estabelecimentos de onde as pessoas residem. À partir desta necessidade de aproximação, inicia-se uma nova questão: a coexistência entre locais de grande geração de ruído e zonas potencialmente residenciais. Desta forma, ao gerar ruído em contextos residenciais, estes locais acabam por gerar um problema técnico de isolamento ou condicionamento acústico. É necessário levar em conta o impacto gerado por estes estabelecimentos em um centro urbano

À primeira vista, seria um problema fácil de resolver, se todos estes locais fossem “lacrados”, ou seja, quando o ruído acontece apenas nas áreas internas, sem comunicação com o exterior e, conseqüentemente, com as residências lindeiras. No entanto, alguns locais utilizam as áreas externas como um atrativo comercial, necessitando mantê-las, por exemplo, como abertas visando atender aos clientes fumantes. Ou, ainda, locais que visam explorar shows de grande porte, contando com público que excede a área capaz de ser acomodada em um estabelecimento hermético.

O ruído pode ser considerado como um dos fatores de maior importância, que perturba qualquer atividade diária, uma vez que está presente em todos os ambientes da nossa vida: no trabalho, nos meios de transporte, caminhando pelas ruas. E inclusive, conseguiu introduzir-se em nossa casa, onde todos nós buscamos alcançar o nosso merecido descanso. (MORILLAS, et al. 2002, tradução nossa)

Mesmo quando está se tratando destes locais herméticos, muitas vezes, é necessário que haja um certo tratamento ou condicionamento acústico em seu interior, para que se obtenha a correta percepção do conteúdo sonoro emitido lá dentro. A exemplo de eventos onde existe performance de músicos, ao vivo, é necessário que se tenha o tempo de reverberação ideal para compreender o que está sendo tocado. Para tornar ideal este tempo de reverberação é necessário efetuar a correção do mesmo através do condicionamento acústico, onde podem ser utilizados absorvedores ou atenuadores sonoros.

Além do ruído, outra questão importante na atualidade é a preocupação com a conservação dos recursos naturais, explorados para criar tudo o que se tem no mercado, sejam produtos ou comodidades que cada vez mais tornam-se indispensáveis à vida e ao conforto da população. Já é sabido que há algum tempo buscam-se alternativas que causem menor impacto ambiental em muitas indústrias, a exemplo dos estudos para melhorar a geração de energia, bem como em outras esferas que possam causar menor impacto.

Diante do grande consumo de recursos naturais, um número cada vez maior de empresas vem incorporando em suas estratégias o conceito de sustentabilidade, pois são alvo de novas expectativas quanto as suas responsabilidades para com a sociedade como agentes que dispõem de recursos financeiros e tecnológicos para uma atuação mais ágil, decisiva e direta na solução dos problemas ambientais e sociais. (HINZ, VALENTINA, FRANCO, 2006, tradução nossa)

A busca pelo desenvolvimento sustentável também tem trazido à tona as reflexões sobre o papel de cada indivíduo dentro da sociedade. Por muito tempo esperou-se que as atitudes partissem de entidades governamentais, políticas públicas que resolvessem a questão da exploração e distribuição dos recursos.

“A preocupação com a preservação do equilíbrio ambiental tem sido motivo para vários encontros, debates e acordos há décadas, porém decisões efetivas precisam ser providenciadas para garantir o desenvolvimento deste século.” (HINZ, VALENTINA, FRANCO, 2006, tradução nossa). Esta busca passa pela realidade de cada um, levando em conta o que pode ser feito dentro do contexto individual para reduzir o impacto ambiental diário.

1.1. Justificativa

O ruído pode ser um dos piores vilões da vida em sociedade. Segundo Padial, (2009, tradução nossa) o ruído afeta prejudicialmente o ser humano, tanto no aspecto físico como no intelectual. Interfere no trabalho, nas atividades lúdicas, no descanso e na comunicação entre os indivíduos.

O presente estudo visa apresentar uma proposta sustentável para auxiliar na atenuação de ruído em ambientes internos ou ao ar livre, a partir da aplicação de arranjos vegetais. Os absorvedores convencionais, utilizados em espaços internos, em sua maioria, não são capazes de atuar de forma consistente em ambientes externos, ou ao ar livre. Devido ao prejuízo de atuação em uma das principais características um absorvedor sonoro, a porosidade. Eventualmente, em virtude das intempéries, bem como ação de outros fatores como animais ou até mesmo vandalismo, pode ocorrer o entupimento destes poros, necessitando a manutenção ou limpeza frequente, tornando estas aplicações, muito dispendiosas e por consequência, beirando a inviabilidade técnica.

Além dos esforços para minimizar ou controlar o ruído, há bastante tempo já é discutida a sustentabilidade na construção através da aplicação de elementos vegetados nas edificações do contexto urbanos. Segundo Hunter (1999, apud PIOVEZAN, 2013), a questão ambiental, ligada ao desenvolvimento sustentável e a preocupação com o futuro do planeta, vem assumindo um posicionamento desde a época da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento Humano, a Rio 92, e posteriormente na Agenda 21 para a construção sustentável.

Em um âmbito internacional de forma expressiva, bem como em alguns estudos no Brasil, já se avalia a capacidade da aplicação de técnicas que venham a apresentar soluções para estas duas questões, através da utilização da vegetação como atenuante de ruído. Para Aylor (1972, tradução nossa) a vegetação é uma barreira de som eficaz, especialmente em altas frequências.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo geral

Esta proposta visa oferecer um sistema alternativo no controle ou atenuação de ruído que seja sustentável, utilizando-se de composições vegetadas.

1.2.2. Objetivos específicos

- 1.2.2.1. Avaliar as propriedades de absorção sonora de arranjos com vegetação;
- 1.2.2.2. Determinar a efetividade do sistema com arranjos vegetados na atenuação ou controle de ruído;
- 1.2.2.3. Propor a aplicação destes sistemas em locais que necessitem de tratamento acústico de acordo com as características dos mesmos;

1.3. Estrutura da pesquisa

O trabalho foi estruturado em cinco capítulos de acordo com os assuntos a serem abordados:

Capítulo 01 – Introdução, onde se apresenta a contextualização, o tema do trabalho, os objetivos e a forma com que foi estruturada a dissertação.

Capítulo 02 – Fundamentação teórica, onde se observa a revisão bibliográfica que norteou a criação e desenvolvimento deste trabalho.

Capítulo 03 – Materiais e métodos, que descreve as amostras, o laboratório (local onde foram realizados os ensaios), as respectivas normativas que regem a realização destes ensaios e os procedimentos para a obtenção dos resultados apresentados neste trabalho.

Capítulo 04 – Avaliação experimental, onde se descrevem os procedimentos experimentais, os resultados obtidos em cada etapa dos ensaios, a análise de cada um destes e a relação com outros tipos de absorvedores, encontrados na literatura.

Capítulo 05 – Considerações finais, onde são encontradas as conclusões relativas à pesquisa e aos objetivos da dissertação, bem como as recomendações para realização de trabalhos futuros.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Som e ruído

O conceito de som diz que é uma vibração ou perturbação gerada por um objeto vibrante, em um meio elástico. O que quer dizer que o som é o resultado de oscilações deste meio, que na grande maioria das vezes é o ar. Os sons são parte importante de nossa comunicação, no entanto a origem dos sons como meio de comunicação é desconhecida. Desde a pré-história, humanos e animais já apresentavam interações sonoras. Contudo, acredita-se que, com o princípio da socialização entre os indivíduos, estes desenvolveram diferentes tipos de comunicação através de ruídos e sons, codificados e entendidos pelos grupos familiares. Desta forma, deu-se início à comunicação através de sons.

Juntamente com estas interações sonoras, surge o ruído. “O ruído foi definido segundo o ponto de vista físico como uma superposição de sons de frequências e intensidades diferentes, sem uma correlação basal. Fisiologicamente, se considera que o ruído é qualquer som desagradável, chato e irritante” (PADIAL, 2009). Outras correntes de pensamento creem que o ruído não necessariamente precisa ser desagradável, mas trata-se de uma interferência sonora capaz atrapalhar a comunicação. Compreendendo a presença incômoda do ruído, desde a idade antiga as sociedades tentam encontrar formas de acabar, reduzir ou atenuar este mal desde então.

“O ruído sempre foi um problema ambiental importante para o ser humano. Na Roma antiga, já existiam normas para controlar o ruído emitido pelas rodas de ferro das carroças que batiam contra as pedras do pavimento, perturbando o sono e incomodava os romanos” (HELMER, 1999, tradução nossa). Estas regulações, no entanto, se restringiam aos locais e horários do trânsito das mesmas, sem nenhum tratamento à estes incômodos ruídos.

No entanto, apenas em um tempo bem mais recente, o ruído se tornou objeto de estudo e preocupação efetiva. “O ruído existe desde a antiguidade, no entanto, a partir do século passado (Séc. XX), como consequência da revolução industrial, do desenvolvimento de novos meios de transporte e do crescimento das cidades, quando começa o problema da contaminação acústica urbana” (PADIAL, 2009, tradução nossa). Com o advento do progresso, da automatização, os níveis sonoros aos quais o ser humano está exposto aumentaram vertiginosamente, denotando a necessidade de um estudo mais aprofundado sobre o mesmo. Então, surgiu uma nova terminologia, a contaminação acústica.

A contaminação acústica pode ser descrita como a interferência de um som não desejado, que venha a afetar negativamente a qualidade de vida dos indivíduos presentes no meio.

Dentre estes efeitos prejudiciais, segundo Who (1999), podem ser citados como efeitos da exposição frequente a altos níveis sonoros, algumas alterações hormonais, estreitamento de vasos sanguíneos e taquicardia. Alterações na visão, distúrbios gastrointestinais, diminuição do desempenho das atividades, falta de concentração e sonolência. Além destes, as pessoas expostas ao ruído ainda podem apresentar questões mais graves como ansiedade, estresse emocional, nervosismo, cefaleia, impotência sexual, alterações de humor, além do surgimento de problemas psiquiátricos, diminuição da capacidade auditiva ou até surdez. Para que isto não aconteça, devemos nos manter sempre abaixo de um limite saudável. “Para evitar perder a audição devido à exposição à ruídos impulsivos, o nível de pressão sonora máximo nunca deve exceder 140dB para adultos e 120 dB para crianças” (WHO, 1999, tradução nossa)

Os malefícios do ruído também são capazes de afetar os aspectos psicológicos do indivíduo, levando o mesmo a manifestar questões profundas de seu ser. “O ruído afeta prejudicialmente o ser humano tanto no aspecto físico quanto no intelectual. Interfere no lazer, no descanso e na forma de comunicação entre as pessoas” (PADIAL, 2009, tradução nossa). Estes inconvenientes podem ser bastante incômodos, beirando até, em alguns casos o descontrole. Para Who (1999, tradução nossa), a exposição à ruídos acima de 80 dB(A) podem reduzir a atitude cooperativa e aumentar as atitudes agressivas.

O ruído urbano (também denominado ruído ambiental, ruído residencial ou ruído doméstico) se define como o ruído emitido por todas as fontes, exceto as de áreas industriais. As principais fontes de ruído urbanos são o ruído proveniente do trânsito de automóveis, tráfego ferroviário, tráfego aéreo, construções, obras públicas e vizinhança. [...] O ruído característico da vizinhança, provém de locais tais como restaurantes, cafeterias, discotecas, ETC; música ao vivo ou gravada; competições esportivas (esportes motorizados), áreas de jogos, estacionamentos e animais domésticos, como o latido de cães. (WHO, 1999, tradução nossa)

Alguns países possuem uma legislação que regulamenta os níveis máximos de ruído que devem ser praticados com o intuito de prevenir os inúmeros problemas resultantes da exposição contínua à estas moléstias. O Brasil, possui a resolução 01/90 do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA que aborda a poluição ambiental de um modo geral, versando sobre a poluição sonora. “Dispõe sobre critérios de padrões de emissão de ruídos decorrentes de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas, inclusive as de propaganda política.” (CONAMA, 1990). A resolução chama atenção para o cumprimento dos níveis sonoros dispostos na NBR 10.151, “*Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas*

visando o conforto da comunidade”. A norma apresenta os níveis de critério de avaliação NCA, em dB(A) conforme a tabela 2.1

Tabela 2.1 – Níveis aceitáveis de ruído segundo NBR 10.151

Tipos de áreas	Diurno	Noturno
Áreas de sítios e fazendas	40 dB(A)	35 dB(A)
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais, ou ainda escolas	50 dB(A)	45 dB(A)
Área mista, predominantemente residencial	55 dB(A)	50 dB(A)
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60 dB(A)	55 dB(A)
Área mista, com vocação recreacional	65 dB(A)	55 dB(A)
Área predominantemente industrial	70 dB(A)	60 dB(A)

Fonte: Adaptado de NBR 10.151

Na busca por adequar estes níveis sonoros aos considerados saudáveis, ou ainda reduzir níveis de pressão sonora (NPS) muito elevados, estudos são conduzidos há bastante tempo. Neles, os pesquisadores buscam desenvolver materiais, criar compostos ou buscar entre os materiais já existentes, os que possam ser utilizados na atenuação de ruídos ou que apresentem características absorventes, sendo capazes de absorver (ou atenuar) um pouco desta energia sonora.

Outra questão interessante de abordar é que é possível encontrar estudos antigos, como por exemplo, da década de 1970, sobre a aplicação de materiais naturais, ou provenientes de fibras naturais, ou ainda aplicação direta de massas arbóreas na atenuação destes ruídos, principalmente ruído de tráfego, em rodovias de alto fluxo, em toda a Europa.

2.2. Vegetação e desenvolvimento sustentável

No final do século XX, inúmeros estudos foram conduzidos no sentido de preservação das massas verdes em todo o planeta, tais como matas, florestas e grandes extensões de terra. A preocupação com a conservação dos recursos naturais é uma realidade e deve ser considerada para a coexistência com as outras espécies e a coexistência com o próprio planeta. Até mesmo para a exploração de uma área é fundamental que se tenha cuidados, buscando mantê-la sustentável por um longo tempo.

O uso racional do recurso torna-se a premissa inicial para a intervenção, quando o objetivo é a exploração deste. A gestão dos recursos sociais, culturais e naturais, bem como o planejamento do seu uso, deve valer-se de indicadores, notadamente àqueles que expressem o grau de sustentabilidade da atividade. (FILETTO, MACEDO, 2015)

Na atualidade, a preocupação com as massas verdes é uma realidade, em quase todo o planeta. Durante a década de 1990, existiam um grande número de movimentos, com o objetivo de minimizar o impacto do homem no planeta, de forma a planejar a exploração e utilização dos recursos naturais disponíveis. Os assuntos acerca de sustentabilidade ou ainda desenvolvimento sustentável, surgiram como pauta de grandes eventos, tal como a Rio 92, a Conferência Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável em Johannesburgo, realizada dez anos mais tarde, gerando tratados ou acordos como a Agenda 21 e o protocolo de Kyoto, que fazem parte desta grande mobilização, para que o mundo volte seus olhos para a forma em que são consumidos os recursos naturais em nosso planeta.

O termo “desenvolvimento sustentável” surgiu a partir de estudos da Organização das Nações Unidas sobre as mudanças climáticas, como uma resposta para a humanidade perante a crise social e ambiental pela qual o mundo passava a partir da segunda metade do século XX [...] o desenvolvimento sustentável é aquele que atende as necessidades do presente sem comprometer as possibilidades de as gerações futuras atenderem suas próprias necessidades”. (BARBOSA, 2008)

Bezerra e Bursztyn, M. (2000) acreditam que estes grandes eventos, com o objetivo de aumentar a conscientização em relação à conservação dos recursos naturais no planeta, são capazes de gerar grande impacto na sociedade. No entanto, não deve ser esperado que parta dos governos, ou ainda de grupos ativistas a ação propriamente dita. O desenvolvimento sustentável é um processo de aprendizagem social de longo prazo, assim, a pluralidade de atores sociais e interesses presentes na sociedade colocam-se como um entrave para as políticas públicas para o desenvolvimento sustentável.

Trazendo então esta busca pelo desenvolvimento sustentável para mais próximo do cotidiano das pessoas, é importante que sejam valorizadas os espaços vegetados menores como, por exemplo, os jardins, praças, parques, enfim, o tipos de vegetação presente dentro dos centros urbanos.



Figura 2.1 – Vista do corredor verde da rua Marquês do Pombal, em Porto Alegre
Fonte: Blog Geração urbana



Figura 2.2 – Vista do corredor verde da rua Gonçalo de Carvalho, em Porto Alegre
Fonte: Blog Geração urbana

“É bem conhecido que as árvores urbanas geram benefícios estéticos que dependem da cor, forma e disposição dos seus troncos, folhagens, flores e frutos; Liberam aromas e geram barreiras visuais, as quais têm um impacto psicológico positivo sobre os cidadãos” (WIESNER, 2000, tradução nossa)

A presença das plantas, a conservação das florestas representam, entre outros ganhos, a diminuição da poluição e dos gases do efeito estufa, em um âmbito geral, como já é sabido há algum tempo. No entanto, em um âmbito microscópico, na escala das cidades, bairros e até vizinhanças, a presença de espaços verdes também apresentam ganhos como redução da temperatura, a presença de um pequeno ecossistema, sem contar nos benefícios visuais da arborização dos espaços etc.

Considerando que a arborização é fator determinante da salubridade ambiental, por ter influência direta sobre o bem estar do homem, em virtude dos múltiplos benefícios que proporciona ao meio, em que além de contribuir à estabilização climática, embeleza pelo variado colorido que exhibe, fornece abrigo e alimento à fauna e proporciona sombra e lazer nas praças, parques e jardins, ruas e avenidas de nossas cidades. (DANTAS, SOUZA 2004)

Para Muller (1997, apud Isernhagen, Bourlegat, Carboni, 2009), o crescimento das cidades deu evidência aos problemas urbanos como poluição, falta de qualidade nos serviços (sanitários), infraestrutura, no sistema de transportes, na saúde pública, entre outros. Além de tudo isso, a busca pela propriedade leva a um conflito pelo uso do solo. Ou seja, suprimindo locais onde deveríamos ter os espaços destinados à contemplação, relaxamento e atividades em comunhão com a natureza, como parques, praças, etc., considerados como pulmões das cidades, para a construção de edificações privadas ou espaços construídos, de uso público. Em contrapartida à este movimento gerado pela especulação imobiliária, existem iniciativas que podem ajudar a mitigar estes danos às cidades e conseqüentemente aos cidadãos.

Alguns projetos ousados como os *Parklets* buscam oferecer aos pedestres, espaços gerados a partir de vagas de estacionamento, com o intuito de entregar à comunidade um espaço que faz parte da cidade, mas é considerado por muitos como mal utilizado. Sousa (2003 apud ISERNHAGEN, BOURLEGAT, CARBONI, 2009), apresenta algumas iniciativas de readequação de espaços urbanos ociosos em áreas verdes, iniciativa que pode trazer benefícios que vão desde a melhoria da qualidade do solo, a criação de locais de recreação. Até a revitalização econômica do bairro, entre outros. A figura 2.3 representa uma vaga de estacionamento público que foi convertida em um espaço de convivência, chamado *Parklet*.



Figura 2.3 – *Parklet*, na cidade de São Paulo

Fonte: Site do Instituto Mobilidade Verde

Talvez seja necessário tomar mais atitudes em relação à questão da arborização urbana, já que a mesma apresenta tantos benefícios diretos e indiretos. Para Dantas e Souza (2004), a arborização age também no aspecto mental do homem, podendo vir a atenuar inclusive a sensação de opressão que os grandes edifícios causam. A arborização atua como um filtro eficiente de ar e de ruídos, exercendo ação purificadora, filtrando partículas, gases tóxicos, depurando microrganismos e reciclando o ar através da fotossíntese.

Trabalhar os ambientes tanto internos quanto externos com vegetação é uma tarefa muito importante e deve ser feita com elevada cautela. “Planejar a arborização é indispensável para o desenvolvimento urbano, para não trazer prejuízos para o meio ambiente” (DANTAS, SOUZA, 2004, tradução nossa). O planejamento se faz necessário para a especificação correta das espécies e do objetivo a ser alcançado através da arborização. Cada espaço deve ser considerado único, e assim, tomadas as decisões cabíveis para o espaço destinado à arborização. Para Lima (1995 apud DANTAS, SOUZA, 2004, tradução nossa), não há uma receita geral. Cada cidade tem clima próprio e tipo de solo diferente. É importante que a diversidade da espécie seja respeitada e que se dê preferência às árvores comuns da região.

As árvores urbanas impedem a formação de ilhas de calor nas cidades e reduzem a temperatura delas como um todo; Assim, proporcionam conforto térmico aos espaços públicos, reduzindo o consumo de energia nos condicionadores de ar em edifícios perto das áreas arborizadas, bem como os gastos correspondentes. (PRIETO, GÓMEZ, 2012, tradução nossa)

Segundo a Organização Mundial de Saúde (WHO,1999) existe uma grande preocupação a respeito do efeito da exposição das pessoas à música em volumes muito altos. Os jovens assistem frequentemente a shows, vão a boates, cinemas, parques de diversão ou outros eventos ao ar livre, nestes eventos, em geral o nível sonoro ultrapassa os 100dB.

Uma tendência que vem acompanhando o crescimento no mercado de entretenimento é a aplicação de arranjos vegetados em boates, casamentos e eventos sociais, conforme mostra as figuras 2.4 e 2.5. A Busca é por arranjos que utilizem vegetação, em sua maioria viva que venham a agregar valor, no aspecto visual que os arranjos podem oferecer. No entanto, como citados anteriormente, podem existir outros ganhos além do aspecto visual desta aplicação de arranjos vegetados, dentre eles, a atenuação de ruído.



Figura 2.4 – Plantas sendo descarregadas em evento
Fonte: Site da Arbustus Paisagismo



Figura 2.5 – Plantas com finalidade estética, aplicada à uma parede em evento
Fonte: Site Adrea Rudge

2.3. A vegetação e o som

A utilização da vegetação tem trazido grandes benefícios na atenuação de ruído. Há bastante tempo, são efetuadas pesquisas e ensaios utilizando espécies de plantas com o objetivo de atenuar ruído. Estas pesquisas ocorrem em âmbito macroscópico, utilizando árvores de grande porte como barreiras sonoras em uma rodovia, bem como em âmbitos menores, como a utilização de telhados verdes aplicados em edificações nas áreas centrais de uma grande cidade. “Telhado verde é uma técnica usada em arquitetura e construção que consiste em um teto vivo com plantas, configurando um jardim sobre a cobertura das edificações” (PIOVESAN, 2013).

Os estudos que envolvem os contextos macroscópicos, tais como rodovias, foram elaborados por inúmeros pesquisadores, apresentando dados consistentes sobre a absorção promovida pelas plantas, bem como outras benesses da utilização das mesmas. Martens & Michelsen (1980, tradução nossa) acreditam que as propriedades acústicas do meio ambiente são importantes, principalmente no que diz respeito aos problemas de poluição sonora e redução do ruído.

Nos países desenvolvidos, as barreiras acústicas, conforme mostradas nas figuras 2.6 e 2.7 são ferramentas amplamente aplicadas em torno de rodovias, ferrovias e locais de grande geração de ruído.

São ferramentas utilizadas desde o século passado para atenuar ruído ou melhor, para conservar o ruído longe dos ouvidos de quem não deve ouvi-lo, tal como áreas residenciais próximas à estas fontes de ruído.

As fontes de ruído em áreas urbanas já estão bem identificadas e analisados pelos especialistas. As mais notáveis são o tráfego rodoviário (de longe a mais importante), o tráfego aéreo e ferroviário, as atividades industriais, a construção e obras públicas, sirenes e alarmes, atividades coletivas, principalmente de lazer (interior e ao ar livre) e do complexo chamado de ruído comunitário, derivado de equipamentos e instalações residenciais e outras atividades das pessoas, etc. (STEVENSON, 1972 apud SUÁREZ, JIMÉNEZ, 2005, Tradução nossa).

Como coloca Stevenson (1972) o ruído proveniente do tráfego, seguido dos outros meios de transporte (ferroviário e aéreo) são os principais ativos da poluição sonora, sendo interessante que estes sejam condicionados para não gerar incômodo. Nos ruídos de transporte terrestre (rodoviário, ferroviário) normalmente faz-se o uso das barreiras acústicas para atenuar ou dissipar a energia sonora gerada pelos veículos trafegando, normalmente em alta velocidades. As barreiras apresentam diversas composições, formatos, materiais, cada vez mais tecnológicos.



Figura 2.6 – Barreira acústica convencional no Japão
Fonte: Site Japan Dish



Figura 2.7 – Barreira acústica convencional em rodovia

Fonte: Site da empresa Sonotec

Uma alternativa interessante para ser instalada, são as barreiras vegetadas. Segundo Tyagi, Kumar e, Jain (2005, Tradução nossa) as estradas que contam com cinturões de vegetação ao longo das mesmas, apresentam nestas propostas vegetais, uma alternativa relativamente barata e esteticamente agradável. Os autores reiteram a efetividade desses cinturões como atenuadores do ruído de tráfego das rodovias, que chama a atenção de pesquisadores em todo o mundo.

Em um cinturão de árvores de 15 m de profundidade, otimizado, se prevê que seja capaz de competir com uma barreira estreita de concreto, com 1 ou até mesmo 2m de altura posicionado ao lado da fonte. Um cinturão de 30m de profundidade poderia chegar perto do isolamento obtido por uma barreira sonora de 3 ou até 4m, dependendo do tipo de solo, entre fonte e receptor. (RENTERGHM,2015, tradução nossa).

Renterghem (2015) ainda acredita que o isolamento trazido pelos cinturões, dificilmente é influenciado pela distância do observador em relação à estrada, pois o cinturão verde age diretamente no caminho da propagação. Ao contrário das barreiras tradicionais, segundo Aylor (1971, Tradução nossa) a massa ou densidade das barreiras vegetadas, não possui relação direta com a capacidade de atenuação/absorção das mesmas. No entanto, a largura, a altura e o comprimento das mesmas, estão diretamente ligados à tal. Cook e Haverbeke (1974, apud PATHAK, TRIPATHI, MISHRA, 2007,

Tradução nossa) Estabeleceu que um cinturão de árvores mais amplo, que fornece maior área de superfície [...] apresenta mais oportunidades para a difusão e absorção. Então Herrington (1976, apud PATHAK, TRIPATHI, MISHRA, 2007, tradução nossa) complementou: “A largura do cinturão de vegetação é um fator significativo no âmbito da redução de ruído”.

Quando a altura da fonte de ruído e do receptor são menores que a altura do cinturão vegetal, ocorre uma redução maior, pois quando um ruído encontra uma barreira, uma zona de sombra é formada atrás da barreira. A redução de ruído é alta dentro desta zona de sombra e inferior fora da zona de sombra (WIENER, KEAST, 1959, tradução nossa).

Outra questão interessante colocada por Huddart (1990, apud TYAGI, KUMAR, JAIN, 2005, tradução nossa) é que ao contrário dos outros estudos mais antigos, ele acredita que as barreiras vegetais podem prover atenuação em faixas de frequências baixas também. Dependendo do tipo de vegetação e, principalmente, do substrato utilizado nas análises, podem ocorrer estes ganhos nas baixas frequências devido ao *ground-effect*.

Martens e Michelsen (1980, tradução nossa), acreditam que “nas frequências mais altas, a força motriz é maior, e uma parte considerável da energia recebida pelas folhas podem (em teoria) ser novamente irradiada como som de acordo com as propriedades mecânicas e as formas de vibração.”

“Dentre os benefícios dos sistemas verdes para edificações sustentáveis, tais como economia de energia, apoio à biodiversidade, controle de excessos para águas pluviais, também existe a atenuação de ruído” (NEWTON, et al 2007, apud AZKORRA, et al, 2014, tradução nossa). As barreiras sonoras vegetadas são capazes de atenuar ruído através de vários mecanismos” (Cook, et al, apud PATHAK, TRIPATHI, MISHRA, 2007, tradução nossa). O cinturão de árvores reduz o ruído através de vários meios, via absorção pelas folhas, dispersão, reflexão e difração pelos caules e divergência esférica pela copa.

Estudos anteriores referentes à interceptação do som fornecida pelas plantas referem-se ao efeito acústico dos cinturões de árvores ou vegetação perto das estradas. A partir desses estudos, sabe-se que a vegetação pode reduzir os níveis sonoros de três maneiras. Primeiro, o som pode ser refletido e dispersado (difratado) por elementos vegetais, como troncos, galhos, ramos e folhas. Um segundo mecanismo é a absorção pela vegetação. Este efeito pode ser atribuído à vibrações mecânicas em partes da plantas, causadas pelas ondas sonoras. O que leva à dissipação de energia através da conversão da energia sonora em calor. Como um terceiro mecanismo, pode-se mencionar também que o

som pode ser reduzido pela interferência destrutiva das ondas sonoras refletidas. A presença do solo pode resultar em interferência entre a contribuição direta da fonte para o receptor e para contribuição das ondas refletidas no chão. Este efeito é muitas vezes referido como efeito-solo ou mergulho no solo. A presença de vegetação resulta em um solo poroso e acusticamente muito macio, principalmente devido à presença da camada de areia e das raízes da planta. O resultado é um efeito-solo mais acentuado e produz uma mudança nas frequências mais baixas comparado à propagação sobre a grama. Como resultado, o efeito-solo é muito eficiente em limitar as frequências típicas de ruído do motor, no tráfego rodoviário (aproximadamente 100 Hz). (VAN RENTERGHEM, BOTTELDOOREN, VERHEYEN, 2012, Tradução nossa).

Para Huisman e Attenborough, (1991, apud PATHAK, TRIPATHI, MISHRA, 2007, tradução nossa), "Efeito-chão" é o mecanismo mais importante para a redução das baixas frequências. Além da benesse do efeito chão, a presença da vegetação no solo é responsável por outro fenômeno que aumenta ainda mais as características positivas da absorção sonora.

Em referência à atenuação de ruído urbano através da vegetação, Dunnet e Kingsbury (2008, apud AZKORRA, et al, 2014, tradução nossa), afirmaram que as superfícies rígidas das áreas urbanas tendem a refletir som ao invés de absorvê-lo. Os autores destacam que os sistemas vegetados, como os telhados verdes, podem absorver o som, tanto através do substrato quanto das plantas. O substrato tende a bloquear as frequências mais baixas, enquanto as plantas bloqueiam as frequências mais elevadas. No entanto, no caso de paredes verdes modulares, o substrato não é exposto diretamente, mas sim é inserido numa estrutura leve, ou módulo ou caixa, que normalmente é feito de plástico ou metal. Conseqüentemente, o comportamento acústico destes módulos poderia mudar consideravelmente se comparados aos telhados verdes.

Renterghem (2015, Tradução nossa) crê que em situações de empenas cegas, as fachadas trabalhadas com vegetação são capazes de gerar uma melhora significativa nas áreas de entorno, em comparação às fachadas com materiais convencionais. O Autor também acredita que tanto tratamento em fachadas quanto em telhados podem vir a contribuir significativamente para a mitigação do ruído de tráfego.

Entretanto, como cita Azkorra (et al, 2014, Tradução nossa), o número de estudos a respeito do potencial das paredes verdes como ferramenta de isolamento acústico é muito pequeno, já que as metodologias usadas para estas pesquisas, quase sempre diferem.

Devido às paredes verdes serem sistemas de construção muito novos, é necessário obter dados sobre as suas propriedades acústicas no laboratório, de forma normalizada, seguindo normas internacionais, de

modo que os resultados possam ser comparados com os estudos de sistemas similares. (AZKORRA, et al, 2014, tradução nossa)

Segundo Renterghem (2015, tradução nossa) os efeitos indiretos podem ser causados por ações derivadas da presença de vegetação. Uma característica ressaltada por muitos pesquisadores de materiais absorventes, é a capacidade de permitir que o ar passe através deles, desta forma, ao deixar o solo macio, a vegetação faz com que as propriedades do solo sejam ainda mais absorventes.

Para Aylor (1971, tradução nossa) a vegetação é efetiva na absorção, principalmente nas altas frequências. Após alguns testes em milharais, o autor percebeu que a atenuação dá-se principalmente pelo espalhamento de som, causado pelas copas, particularmente pelas folhas das árvores ou diferentes tipos de vegetações. Azkorra (et al, 2014, Tradução nossa), acreditam que a partir dos resultados dos seus experimentos, puderam entender que o coeficiente de absorção de plantas é predominantemente controlado pela densidade de área foliar e pela orientação angular da folha, de modo que quanto maior for a área ocupada por folhas e quanto maior for o ângulo de orientação dominante das folhas de uma planta, maior serão os valores do coeficiente de absorção acústica atingidos.

Para Cook e Haverbeke, (1977, apud AZKORRA, et al, 2014, tradução nossa) existem muitos fatores que afetam a atenuação sonora através da vegetação, tais como a espécie, as dimensões, o formato, bem como a localização em relação à fonte sonora. Eles acreditam que a vegetação sozinha pode vir a reduzir 8dB ou ainda mais, eventualmente.

Fricke (1984, apud PRICE, ATTENBOROUGH, HEAP, 1988, tradução nossa) concluiu, reanalisando dados de estudos passados, além dos dados dos próprios estudos, que o espalhamento, em comparação à absorção sonora, é o mais importante fenômeno atuador nas frequências médias, enquanto a absorção propriamente dita se torna mais dominante nas altas. No entanto, segundo Aylor (1972, tradução nossa), o montante de energia dissipada dependerá de muitas outras coisas, como a largura das folhas, a área da folha em relação ao volume da copa.

Martens (1980 apud TYAGI, KUMAR, JAIN, 2005, tradução nossa) sugere que a máxima atenuação de ruído, por espalhamento, dá-se quando as dimensões da folha da árvore ou arbusto, estão entre $\frac{1}{2} \lambda$ e λ sendo que λ equivale ao comprimento de onda do som em questão. Isto implica que as folhas entre 1,7 e 3,3cm seriam necessárias para atenuar um som à 10kHz.

Apesar de todos os resultados já apresentados em estudos anteriores, Horoshenkov, Khan e Benkeira (2013, tradução nossa) creem que os elementos vegetais, tais como plantas, arbustos e cercas vivas não apresentarem eficiência como absorvedores acústicos. Eles acreditam que os absorvedores

criados pelo homem ainda serão adotados amplamente para tratar paredes de locais que a reflexão sonora é considerada realmente um problema.

É interessante como atualmente está se buscando o contrário do que alguns anos atrás. Os ingredientes sintéticos estão perdendo espaço para os naturais. Sistemas de absorção baseado em lã de vidro ou lã de rocha estão sendo comparados às fibras como KENAF e PET reciclado. D’Alessandro e Pispolá (2005) desenvolveram estudos, nos últimos anos e entenderam que a atenção às fibras naturais aumentou, como alternativas para as sintéticas, a fim de combinar performances acústicas e térmicas elevadas com um baixo impacto sobre o meio ambiente e sobre a saúde humana. As fibras naturais têm uma toxicidade muito baixa e os seu processo de produção contribuem para proteger o meio ambiente.

É perspicaz entender que alguns pesquisadores de renome na área de pesquisa relacionada ao coeficiente de absorção sonora de plantas, como Renterghem (2015, tradução nossa), consideram que mesmo que os valores físicos de redução sonora de um arbusto ou cerca-viva sejam baixos, são esperados efeitos psicoacústicos positivos. De acordo com o autor, estes arbustos ou cercas-vivas se mostraram muito versáteis, através do seu uso diverso, eles foram aplicados em configurações de cânions urbanos, nos telhados e ao longo de linhas férreas. Apenas os ganhos através da descontinuidade, gerando alta impedância, já são de grande valia na utilização próximo às calçadas. “Em áreas urbanas, árvores podem ser utilizadas tais como amortecedores ou atenuadores, reduzindo de 5 à 10dB” (HUDDART, 1990 apud PATHAK, TRIPATHI, MISHRA, 2007, tradução nossa).

Martens & Michelsen (1980, Tradução nossa) acreditam que as vibrações observadas nas folhas das plantas devem ser um dos processos que contribuem para a atenuação dos ruídos nas altas frequências. Aylor (1972, apud TYAGI, KUMAR, JAIN, 2005, tradução nossa) sugere que o espalhamento acontece quando:

$$\frac{2\pi\alpha}{\lambda} \geq 1 \quad (\text{Eq 2.1})$$

Onde α é o raio do tronco ou galho, λ é o comprimento de onda do som. Por exemplo: Uma frequência de 3,15kHz corresponde a um comprimento de onda de aproximadamente 10,4cm. Isto significa que um galho com o diâmetro maior ou igual à 3,30 cm é necessário para que haja o espalhamento nesta frequência.

As folhas das plantas absorvem energia acústica transferindo a energia cinética, das moléculas vibrantes do ar em um campo sonoro, para os padrões vibracionais das próprias folhas. Portanto, a energia vibracional é retirada do campo acústico e parte desta energia é dissipada em forma de calor quando ocorre a fricção nas plantas. (APARICIO-RAMON et al apud PATHAK, TRIPATHI, MISHRA, 2007, Tradução nossa)

2.4. Escolha das amostras:

2.4.1. Trepadeiras – expectativa de amostra inicial








Inicialmente, a partir da revisão de literatura realizada, determinou-se os tipos de vegetação que deveriam ser escolhidos e analisados. Segundo Martens & Michelsen (1980, tradução nossa) vegetação é um complexo que consiste em ar, solo, caules, troncos, galhos, folhagem de ervas, arbustos e árvores.

Estas características ligadas à revisão bibliográfica inspiraram a busca por espécies que possuíssem as características de maior espalhamento de energia. Bem como características de compatibilidade com outros elementos pesquisados nas paredes verdes, como possibilidade de aplicação modular, resistência às intempéries. Outra característica que foi buscada nas espécies é que as mesmas deveriam necessitar de pouca ou nenhuma manutenção periódica para o seu desenvolvimento.

Por questões de aplicabilidade prática, optou-se pela busca de trepadeiras. Estas satisfariam as condições de busca inicial já que apresentam boa adaptabilidade ao sistema proposto, em sua maioria, não necessitam irrigação, nem manutenção periódica, apenas uma poda anual com o objetivo de corrigir o rumo que a mesma tomou, ao crescer.

As trepadeiras apresentavam, em sua maioria, grande quantidade de folhas em uma razão com o volume ocupado pela planta. Característica esta que é considerada importante e pode gerar aumentos significativos no coeficiente de absorção sonora, principalmente nas altas frequências, devido ao espalhamento de energia sonora causado pela vibração das mesmas. Além da grande quantidade de folhas, trepadeiras possuem grande quantidade de galhos, hastes e ramos que segundo alguns autores, são considerados tão importantes quanto as folhas no espalhamento. “O pico de atenuação ocorreu entre 2.5-5kHz (...) a atenuação mais elevada nesta faixa de frequência é devido à dispersão geométrica de som pelas hastes e ramos.” (AYLOR, 1972, tradução nossa).

Após esta etapa de definição das espécies, foi conduzida uma pesquisa em nível local sobre quais as plantas disponíveis na região que apresentariam as características buscadas pela revisão bibliográfica. Foram encontradas as informações contidas no quadro 2.1.

No me	Folhas	Flores	Tronco	Imagem
Primavera, Três Marias.	Verde- médio, tamanho e forma variantes.	Inflorescências com formas e cores com diversas: rosa, branco, vinho, laranja, ferrugem e branca.	Caule lenhoso e espinhento.	
Alamanda	Verticalizadas, ovais e oblongas, sem pelos.	Formato campanulado, com as pétalas recortadas arredondadas.	Ramos lenhosos a semi-lenhosos flexíveis.	
Tumbergia	Verdes, ovais de borda denteada irregularmente.	Grandes campanuladas, brancas ou azuladas com o centro amarelo.	Semilenhoso, tipo liana, flexíveis, muito vigorosa e de crescimento rápido.	
Glicínia	Pinadas, compostas por 9 a 19 folíolos, de coloração avermelhada e pubescentes.	longas, pendulares e carregadas de numerosas flores azuis, róseas, brancas ou roxas.	Volúvel, lenhosa e decídua.	
Sete léguas	Compostas e de coloração verde-brilhante.	Terminais, esparsas, formadas por flores grandes em forma de trombeta, perfumadas, de coloração rósea e com estrias avermelhadas.	Lenhosa, muito rústica e vigorosa.	
Jasmim de Madagascar	Ovais verde-escuras e de consistência coriácea.	Branças, tubulares reunidas em inflorescências axilares, perfumadas.	Pouco ramificado de caule flexível.	
Hera	Simple, alternas de forma lobulada ou cordiforme, cor verde escura ou variegadas.	Flores amareladas pequenas.	Com raízes aéreas grampiformes, escandescente ou prostrada rasteira, de caules lenhosos e flexíveis.	

Quadro 2.1 – Informações a respeito de possíveis plantas para ensaio acústico.
Fonte: Autor

As espécies pesquisadas na revisão bibliográfica que foram julgadas como as mais adequadas para a realização dos ensaios, mostradas no quadro 2.1, não apresentavam viabilidade técnica para fazer parte desta pesquisa em específico. As espécies do tipo trepadeiras necessitavam preencher uma área plana de aproximadamente 12m² para validar o rigor científico da normativa ISO 354.

No entanto, se plantadas neste momento da pesquisa, nenhuma delas atingiria esta área em menos de 2 anos, mesmo que fossem cultivadas de forma intensiva em um ambiente ideal. Da mesma forma, não se obteve autorização para remover amostras deste tamanho de nenhum local onde as mesmas estivessem já plantadas e crescidas, pois o procedimento apresenta-se irreversível, e vem a causar a morte do espécime. Por último, não houve nenhum fornecedor, que obtendo estas espécies, locaria ou mesmo disponibilizaria estas para nosso estudo.

A intenção na busca de espécies de trepadeiras era que se pudesse atingir o maior rendimento em absorção sonora, conforme a bibliografia consultada, reproduzindo as características de uma barreira acústica vegetada, ou ainda de uma parede verde, onde já teríamos dados de estudos internacionais para a serem comparados. No entanto, os esforços foram frustrados pela falta de viabilidade técnica.

2.4.2. Plantas de vasos – alternativa possível.

Devido às dificuldades que obtidas com a primeira opção de espécie à ser ensaiada, optou-se então por uma metodologia diferente. Se voltou os olhos para espécies menores em extensão, que pudessem ser aplicadas também em ambientes internos. Plantas que pudessem crescer em vasos de tamanho médio (até 50cm de altura) e que oferecessem características de absorção similares às paredes verdes. Nesta etapa do trabalho, o interesse aproximou-se da percepção estética dos módulos propostos. Trabalhamos a busca por espécies que também oferecessem características paisagísticas e que sua aplicação pudesse ser agradável não apenas acusticamente, mas sim visualmente.

No entanto, nesta segunda etapa, a busca pela espécie ideal procedeu-se no sentido inverso da primeira. Foi dada a preferência por verificar a disponibilidade de espécies que se encaixassem no perfil junto aos fornecedores locais, antes de definir absolutamente.

A maior contribuição veio através do Prof. Marcelo Rodrigues, coordenador do Curso Técnico em Paisagismo do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria. O Prof. Marcelo disponibilizou para esta pesquisa, todo o material contido no viveiro do Colégio Politécnico, para que fosse encontrada a alternativa viável para conduzir este estudo.

Desta forma, iniciou-se uma pesquisa comparativa entre as espécies que se adequavam às necessidades e as disponíveis no viveiro. Procedeu-se levando em conta características como tamanho, aparência estética, área foliar, volume ocupado (no espaço), aplicabilidade em locais variados, disponibilidade na região, resistência às intempéries, bem como ao transporte, entre outras características, que compreendem a compatibilidade com a realização dos ensaios.

Ao analisar todas estas características e as possibilidades encontradas, optou-se por trabalhar com a palmeira Buriti-do-rio-grande-do-sul, também conhecida como Carandá, Carandaí, Ibitiriá, Buriti-palito ou apenas Buriti.

2.4.3. Buriti – a escolha

O buriti é uma planta que pertence à família das *Arecaceae* (palmeiras). Seu nome científico é *Trithrinax brasiliensis*, mas também pode ser referido por *Trithrinax acanthocoma* caracterizando a sinonímia botânica.



Figura 2.8 – Palmeira Buriti adulta em seu habitat nativo.
Fonte: Site do Laboratório de manejo florestal

Caracteriza-se como uma palmeira de espique espinescente, que pode ser entendido também por caule espinhoso, como mostra a figura 2.9. O buriti, é uma planta perenifólia, ou seja, mantém as folhas durante o ano todo. Quando em seu habitat nativo sua altura atinge até 20 m de altura. Seu diâmetro normalmente mantém-se em torno dos 30 a 40 cm, como mostra a figura 2.8. Suas folhas são simples em forma de leque (flabeliformes), divididas na metade, podendo medir até 180 cm cada, como mostra a figura 2.9. Normalmente é composta de 5 a 10 folhas curtas, pecioladas (com talos). As folhas são glabras (sem pelos), laciniadas e com acúleos (espinhos) no ápice.



Figura 2.9 – Palmeira Buriti nativa vista de baixo
Fonte: Site do Laboratório de manejo florestal

Suas flores são trímeras (três pétalas ou múltiplas de três), hermafroditas, de cor branco-amareladas. Os frutos, como mostra a figura 2.11, são do tipo drupa ovoide (caroso, com apenas uma semente) de cor branco amarelada e quando maduro torna-se roxo ou preto. Sua polpa e amêndoa oleoginosa (semente muito oleosa) não são comestíveis.

A floração do Buriti dá-se de agosto à outubro, já a ocorrência de frutos dá-se de dezembro à fevereiro. As flores do Buriti possuem potencial apícola, devido ao fornecimento de pólen e néctar.



Figura 2.10 – Caule do Buriti adulto

Fonte: Site Flora digital do RS, capturada por Marcio Verdi

A ocorrência do Buriti dá-se principalmente na Floresta Ombrófila Mista e Floresta Ombrófila Densa, ambas denominações para florestas tropicais muito úmidas. Sendo restrita e descontínua, sua ocorrência dá-se em áreas isoladas. É exclusiva do planalto meridional do país, predominantemente nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.



Figura 2.11 – Fruto do Buriti

Fonte: Site do Laboratório de manejo florestal

A utilização do Buriti como espécie ornamental é muito recorrente em projetos de paisagismo devido à sua beleza incomum, conforme mostra a figura 2.12, esta planta foi escolhida como foco deste estudo, também por esta característica.



Figura 2.12 – Utilização do Buriti no paisagismo
Fonte: Site da revista CASA

2.5. Condicionamento Acústico e Absorção Sonora

Nesta sessão do trabalho serão abordados conceitos e definições que serão úteis posteriormente para que possam ser interpretadas as análises dos resultados obtidos durante a parte experimental do trabalho.

2.5.1. Frequência, Intensidade e Pressão Sonora

A acústica de salas trata especificamente sobre o campo sonoro gerado em recintos fechados, buscando entender o comportamento do som nestes ambientes. O objetivo com esta análise é para que se possa desenvolver aplicações do objeto deste estudo, tanto em ambientes externos quanto em recintos fechados para melhoria das características dos mesmos.

O som, como já foi abordado anteriormente, é a onda resultante da oscilação de partículas em um meio elástico. É importante levar em consideração algumas qualidades sobre a onda sonora, em especial a frequência, como mostra o quadro 2.2.

Classificação das ondas	Frequências	Percepção auditiva
Baixas frequências	de 20 á 200 Hz	Sons graves
Médias frequências	de 200 à 2.000Hz	Sons médios
Altas frequências	de 2.000 à 20.000 Hz	Sons agudos

Quadro 2.2 – Classificação do som em relação à frequência.

Fonte: Adaptado de CARVALHO (2010)

A frequência corresponde a quantidade de oscilações em uma dada unidade de tempo. Neste caso utiliza-se a medida em Hertz (Hz) que corresponde a uma oscilação completa em um segundo. A frequência é inversamente proporcional ao comprimento de onda. Logo, se uma onda apresenta uma frequência muito alta, seu comprimento de onda será pequeno, e vice-versa. As vibrações abaixo de 20Hz ou acima de 20KHz (20.000 HZ) são chamados infrassons e ultrassons respectivamente. Estas vibrações não são percebidas pelo aparelho auditivo humano.

Existem outras qualidades do som que podem ser abordadas, dentre elas estão a Intensidade e a Pressão sonora. A intensidade é a quantidade de energia que flui, por segundo, através de uma abertura de 1m². Já a Pressão sonora é definida como a variação causada pela passagem de uma onda sonora, por intervalo de tempo. O ouvido humano é capaz de perceber uma grande gama de pressões sonoras, variando desde 20 mPa (0,00002 Pa) à 200 Pa. Logo é necessário ter como referência, uma escala logarítmica. Então estuda-se os *Níveis de Pressão Sonora*, como uma forma de expressar a amplitude da onda sonora em função da variação de pressão (de acordo com a sensibilidade do ouvido).

2.5.2. Absorção sonora

A absorção sonora é um dado muito importante a ser considerado em relação aos materiais e conseqüentemente às salas. A partir deste conceito, é possível extrair várias outras informações. Quando uma onda sonora encontra um impedimento, como uma chapa de madeira, no seu caminho de propagação, parte da energia contida na onda sonora é refletida. Outra é transmitida através do material e parte é absorvida no interior do material, e pode vir a ser dissipada em forma de calor posteriormente.

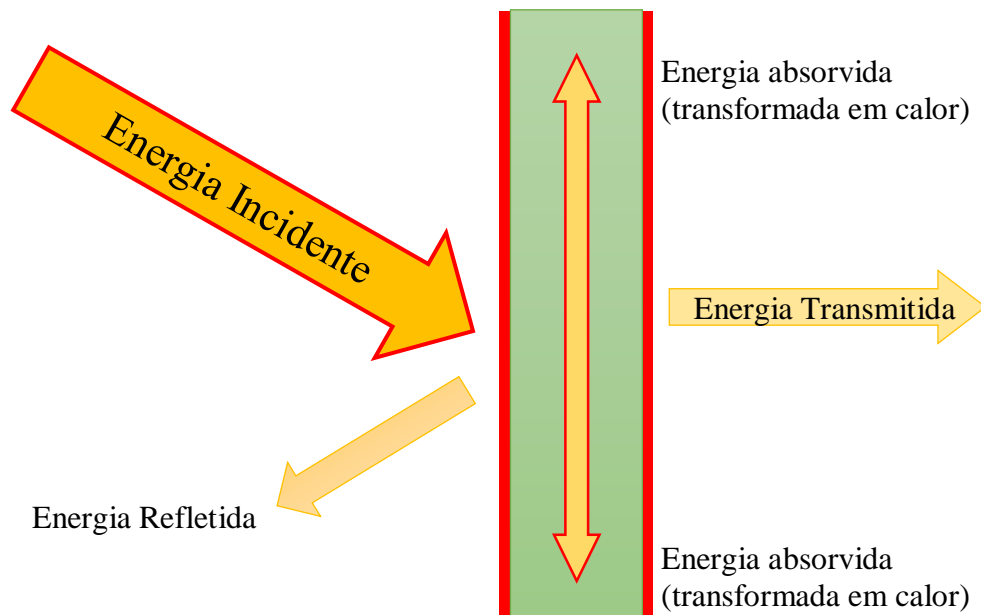


Figura 2.13 – Esquema sobre transmissão da energia sonora

Fonte: Autor

O parâmetro que determina as características de absorção sonora de um material é o coeficiente de absorção sonora (α), que é definido como sendo a razão da energia acústica absorvida, pela incidente, como mostra a equação 2.2.

$$\alpha = \frac{\text{quantidade de energia não refletida (absorvida)}}{\text{quantidade de energia incidente}} \quad (\text{Eq 2.2})$$

Existem duas técnicas para determinar o coeficiente de absorção sonora de forma experimental, o tubo de impedância e a câmara reverberante. O método do tempo de reverberação em Câmara Reverberante, para este tipo de ensaio, foi interpretado como o mais representativo e consistente para medir a absorção sonora dos materiais.

De acordo com Azkorra (et al, 2014, Tradução nossa), o coeficiente de absorção sonora α de um material ou de um elemento construtivo é definido como a porção de energia sonora que é absorvida pelo material a partir de um som incidente. Uma vez que esta capacidade de absorção depende da frequência de som, o coeficiente de absorção α é geralmente mostrado por meio de uma curva, dependendo das frequências sonoras. Embora também possa ser expressado como um único índice global. É possível verificar na figura 2.14, que é apenas ilustrativa, como são apresentados os resultados em relação ao coeficiente e absorção sonora de uma amostra de parede verde.

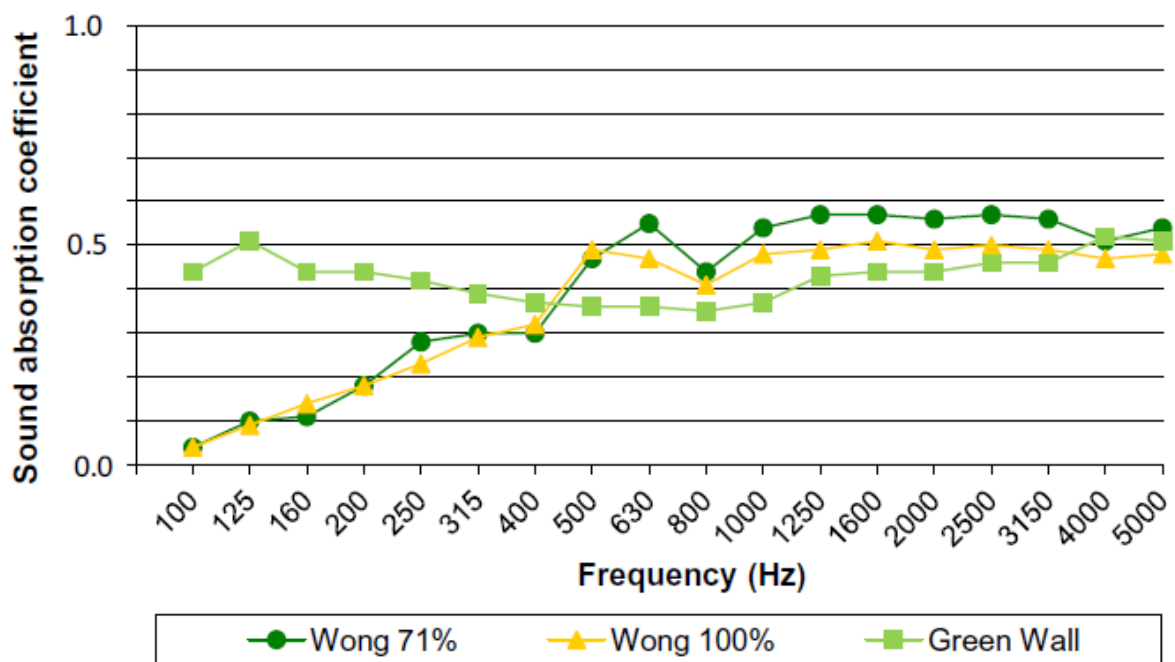


Figura 2.14 – Curva mostrando coeficientes de absorção sonora em variadas frequências
Fonte: Azkorra (et al, 2014)

Para Kang (2006 apud PIOVESAN, 2013), a absorção sonora de um material, nas altas frequências é resultado de sua porosidade. Já nas baixas frequências, é resultado de sua espessura e resistência ao fluxo. Para ressaltar esta informação, é possível observar na figura 2.15, que materiais leves

e porosos, apresentam o maior coeficiente de absorção sonora nas altas frequências. Já os materiais mais pesados representam maiores coeficientes de absorção sonora nas baixas frequências.

Anexo A4 – Tabela de coeficientes de absorção de alguns materiais

Materiais	Coeficiente (α)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Reboco áspero, cal	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,07
Reboco liso	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,06
Teto pesado suspenso (gesso)	0,02	-	0,03	-	0,05	-
Estuque	0,03	-	0,04	-	0,07	-
Superfície de Concreto	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,07
Revestimento de pedras sintéticas	0,02	-	0,05	-	0,07	-
Chapas de mármore	0,01	0,01	0,01	0,02	-	-
Vidraça de janela	-	0,04	0,03	0,02	-	-
Assoalhos						
Tapetes de borracha	0,04	0,04	0,08	0,12	0,03	0,1
Taco colado	0,04	0,04	0,06	0,12	0,1	0,17
Linóleo	0,02	-	0,03	-	0,04	-
Passadeira fina porosa	0,03	-	0,17	-	0,04	-
Tapete de boucle duro	0,03	0,03	0,04	0,1	0,19	0,35
Tapete de 5mm de espessura	0,04	0,04	0,15	0,29	0,52	0,59
Tapete de boucle macio	0,08	-	0,02	-	0,52	-
Tapete de veludo	0,02	0,06	0,1	0,24	0,42	0,6
Tapete de 5mm sobre base de feltro	0,07	0,21	0,57	0,66	0,81	0,72
Móveis, tecidos, gente						
Uma pessoa com cadeira	0,33	-	0,44	-	0,4	-
Poltrona estofada vazia, coberta com tecido	0,28	0,26	0,28	0,26	0,34	0,34
Cadeira estofada, chata, com tecido, vazia	0,13	-	0,2	-	0,25	-
Cadeira idem, com couro sintético	0,13	-	0,15	-	0,07	-
Cadeira de assento dobrável, de madeira, vazia	0,05	0,05	0,05	0,05	0,08	0,05
Tecido de algodão esticado, liso	0,04	-	0,13	-	0,32	-
Idem 50/150mm na frente da parede lisa	0,20	-	0,38	-	0,45	-
Feltro de fibra natural, 5mm de espessura	0,09	0,12	0,18	0,30	0,55	0,59
Cortina de porta comum, opaca	0,15	-	0,20	-	0,40	-
Tela cinematográfica	0,10	-	0,20	-	0,50	-
Público em ambientes muito grandes, por pessoa	0,13	0,31	0,45	0,51	0,51	0,43
Portas, janelas, aberturas						
Janela aberta	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Porta de madeira, fechada	0,14	-	0,06	-	0,10	-
Palco sem cortina	0,30	-	0,25	-	0,40	-
Recessos com cortina	0,25	-	0,30	-	0,35	-
Abertura embaixo de balcão	0,25	-	-	-	-	0,80
Grade ventilador cada 50% de seção livre	0,30	-	0,50	-	0,50	-
Co-vibradores (chapas densas e folhas)						
Madeira compensada de 3mm a 50mm da parede (vazio)	0,25	0,34	0,18	0,10	0,10	0,05
Idem com amortecimento nas bordas	0,48	0,47	0,23	0,12	0,10	0,08
Idem, vazio preenchido c/ lâ mineral	0,51	0,65	0,24	0,12	0,10	0,05
Lâ mineral de 50mm coberta de papelão denso	0,74	0,54	0,36	0,32	0,30	0,17
Chapa de papelão-gesso 9.5mm sobre 50mm de lâ mineral	0,33	0,12	0,08	0,07	0,06	0,10
Madeira compensada 2,5mm sobre 50mm de feltro mineral						

Figura 2.15 – Imagem da tabela de coeficientes de absorção sonora de materiais diversos
Fonte: Apostila básica de conforto ambiental – FAU | UFRJ

Além destes dados, é importante perceber que os valores de coeficiente de absorção também dependem do ângulo de incidência do som. Levando em conta que quanto mais este aumenta, torna mais longo o caminho da energia sonora, através do material absorvente devido à profundidade aparente do material. Com isso, há a elevação da absorção oferecida pelo respectivo material.

O coeficiente de absorção sonora de um material varia entre 0 e 1, de forma que existe uma relação direta entre o mesmo e uma escala percentil. Se o coeficiente de absorção é 0,25, o material tem a capacidade de absorver 25% da energia incidida sobre o ele.

O tempo de reverberação – TR ou T_{60} é inversamente proporcional ao coeficiente de absorção sonora. Foi Wallace Sabine que relacionou o decaimento do som em recintos fechados com a equação para o tempo de decaimento nesses recintos e descobriu que o tempo de reverberação de um recinto era inversamente proporcional à quantidade de absorção do mesmo. (LONG, 2006).

Experimentalmente o tempo de reverberação é o parâmetro mais importante em relação à um espaço. Os valores do tempo de reverberação variam de acordo com o volume (de ar dentro) da sala, o somatório das áreas das superfícies da sala, bem como o coeficiente de absorção sonora destas superfícies. O tempo de reverberação pode ser obtido através de ensaio ou estimado através de operações matemáticas. Através de ensaio o TR é obtido através da medição do tempo, em segundos, que o nível de pressão sonora demora para decair em 60 dB, após cessar o ruído proveniente de uma fonte sonora. Já matematicamente é possível obter os dados através da equação de Sabine, onde o tempo de reverberação, ou T_{60} é inversamente proporcional à absorção dos materiais no interior do recinto em questão.

$$T_{60} = 0,161 \frac{V}{A} \quad (\text{Eq 2.3})$$

Onde T_{60} é o tempo de reverberação, medido em segundos, V é o volume da sala ou recinto à ser estudado, medido em m^3 e A é a área total de absorção da sala. Para calcular A , é necessário que seja efetuado o somatório das áreas, multiplicado pelo seus coeficientes de absorção:

$$A = \Sigma (S_n \times \alpha_n) \quad (\text{Eq 2.4})$$

Para determinar o TR ou T_{60} experimentalmente é necessário que seja efetuado um decaimento de pelo menos 60dB. No entanto, muitas vezes é muito difícil realizar um decaimento de 60dB, mesmo em salas ou câmaras próprias para conduzir ensaios e decaimentos. Esta dificuldade dá-se devido à presença de ruídos proveniente do entorno, caracterizados como ruído de fundo. Segundo Piovesan (2013) devido ao nível de pressão sonora do ruído de fundo existente nas salas, não é fácil medir um decaimento de 60 dB, a menos que seja emitido um ruído muito intenso. Desta forma, por equivalência linear, opta-se por realizar decaimentos e medir o T_{30} , ou ainda T_{20} , ambos correspondentes ao T_{60} .

T_{30} é o tempo, em segundos, para que a energia sonora decaia 30dB após o desligamento da fonte (5 a 35 dB excepcionalmente); T_{20} é o tempo em segundos, para que a energia sonora decaia de 20 dB (5 a 25 dB excepcionalmente). Os tempos de reverberação podem ser nomeados EDT, T_{20} e T_{30} , respectivamente, para as três faixas de avaliação. (PIOVESAN, 2013)

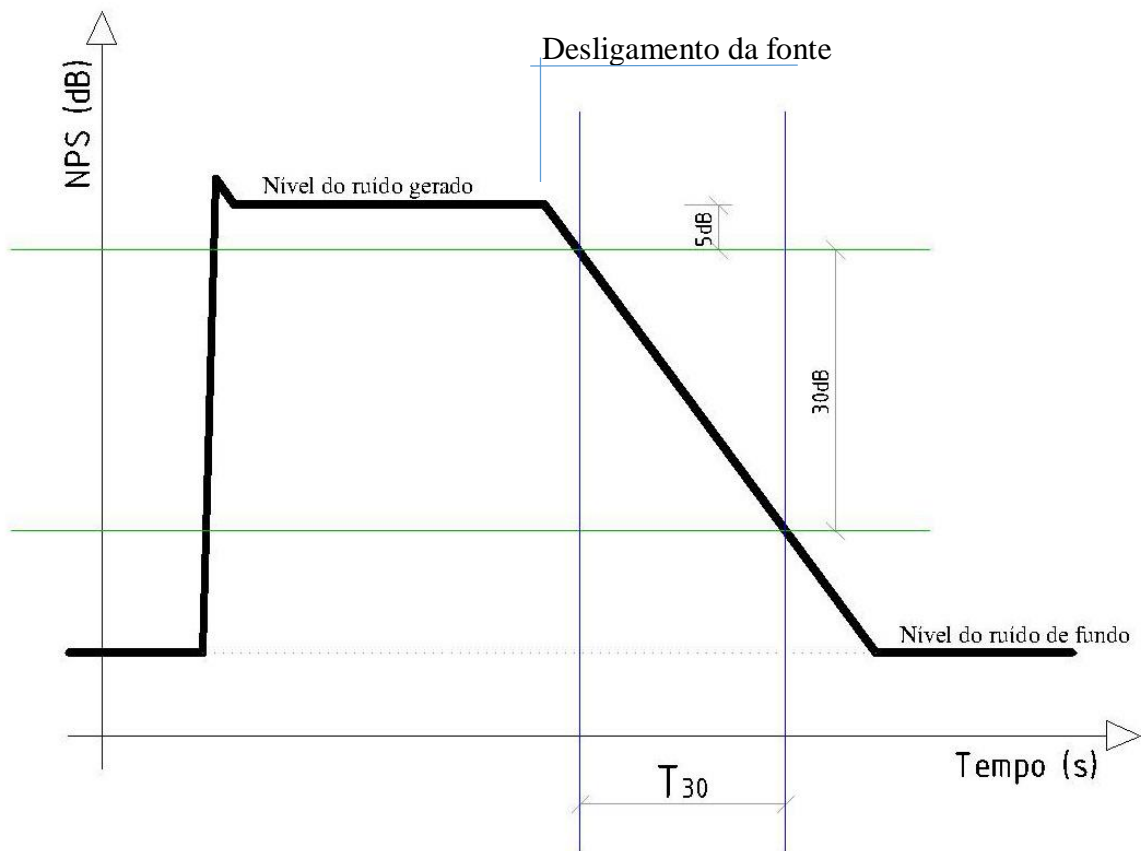


Figura 2.16 – Esquema de curva de decaimento, demonstrando o T_{30} .
Fonte: Autor

Outra questão a se levantar é a variação da velocidade de propagação do som no ar em relação aos coeficientes de absorção sonora. Silva (2005 apud GAIDA, 2012) crê que a capacidade de absorção sonora do ar, em uma dada temperatura, é influenciada pela sua umidade relativa. Então, para uma determinada frequência, quanto menor a umidade relativa, maior será a absorção promovida pelo meio, no caso, o ar. A normativa que rege os ensaios laboratoriais deste trabalho, a ISO 354, também leva em consideração as ponderações relativas à umidade do ar, bem como a temperatura deste meio. Ambas são determinadas pela ISO 9613-1, que oferece os valores de ponderação, considerando estas variações climáticas, por banda de frequência a ser estudada.

Um ambiente é considerado campo difuso quando possui distribuição uniforme do som em todos os pontos do recinto. Este ambiente também pode ser considerado reverberante, quando ocorrem múltiplas reflexões do som, dentro do seu espaço. Como exemplo de campo difuso e reverberante podemos citar a câmara reverberante do LEAC – UFSM onde foram conduzidos os ensaios deste trabalho. É possível citar também como exemplo de campo reverberante, mas não necessariamente difuso, a nave de uma grande catedral. “Um ponto no campo difuso possui a mesma probabilidade de receber uma frente de onda provinda de qualquer direção. O campo difuso é aquele que apresenta uma densidade de energia constante em qualquer ponto do seu interior” (GAIDA, 2012).

Outra característica importante a se levar em consideração para a boa compreensão deste trabalho é o condicionamento acústico. Segundo a NBR 12.179, 1992, o condicionamento acústico é o processo pelo qual se procura garantir, em um recinto, o tempo ótimo de reverberação e, se for o caso, também a boa distribuição do som. Dentro do estudo da acústica de salas, o condicionamento acústico deve ser observado para tornar o ambiente adequado à atividade que nele será desenvolvido. No entanto, não serão abordados neste trabalho, os coeficientes ideais para cada tipo de atividade. Objetiva-se apenas que seja feita a abordagem de tais temas a critério de conhecimento, buscando o entendimento dos resultados obtidos. O objeto de estudo apresentará dados de tempo de reverberação e absorção sonora. Bem como, coeficientes de absorção, de acordo com as bandas de frequência estudadas.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo, estão sendo apresentados os materiais e os métodos utilizados durante todo o processo experimental da pesquisa, bem como as normativas dos ensaios realizados. Além disso, são montadas as rotinas para aquisição dos dados que resultaram neste estudo. Este trabalho caracteriza-se como uma pesquisa de natureza aplicada, de abordagem quantitativa, com objetivos exploratórios e descritivos, bem como procedimentos técnicos experimentais.

3.1. Procedimentos experimentais

Foram determinados experimentalmente os coeficientes de absorção sonora de arranjos decorativos contendo espécies vegetais.

Conforme a descrição contida na revisão bibliográfica, optou-se pela utilização do Buriti como amostra. Uma das características mais importantes na decisão de utilizar o Buriti como espécie a ser ensaiada, foi a aplicabilidade deste em arranjos florais com função estética. Desta forma é possível esperar que, ao constatar o sucesso do mesmo, este venha a se tornar uma alternativa amplamente utilizada tanto em eventos efêmeros, bem como no entorno de locais onde é necessária a atenuação de ruído e busca-se a finalidade estética.

Com o intuito de aprimorar a capacidade de absorção sonora da amostra vegetada, bem como conceder maior fidelidade à aplicação da planta, lembrando da função estética, foi proposto que o ensaio deveria ser efetuado contando com mais elementos, estes encontrados na aplicação estética da planta.

Os experimentos foram regidos pela normativa ISO 354/2003 que é a norma específica para obtenção do coeficiente de absorção sonora em câmara reverberante.

A norma ISO 354/2003 apresenta duas metodologias para a obtenção dos dados. A primeira, chamada de método do ruído interrompido, consiste em excitar a sala com um ruído de banda larga pelo tempo suficiente para que a pressão sonora se estabilize. Então, a fonte é desligada e o decaimento é gravado pelo sistema mais adequado. No caso o medidor de nível de pressão sonora, ou MNPS. A outra forma é através da medição da resposta impulsiva. Onde se submete a sala à um ruído impulsivo pseudoaleatório, e a pressão sonora é medida por cada microfone.

Optou-se pela utilização da metodologia de ruído interrompido. A câmara reverberante apresenta-se como um campo difuso, ou seja, a pressão sonora deve ser distribuída uniformemente em todos os pontos do recinto.

3.1.1. Local da realização dos ensaios

Os ensaios foram realizados na câmara reverberante do LEAC - UFSM (Laboratório de Engenharia Acústica da Universidade Federal de Santa Maria). A câmara reverberante possui área de $42,61\text{m}^2$ e volume de 207m^3 , o que a coloca dentro dos parâmetros solicitados pela norma ISO 354/2003, referente as dimensões. A normativa recomenda um volume entre 150m^3 e 500m^3 , devido a interferência que o ar possa causar, principalmente nas altas frequências, por isso não se deve exceder estes valores ao projetar ou construir câmaras reverberantes.

A câmara reverberante do LEAC – UFSM é construída em concreto armado. As paredes, o piso e o teto foram moldados in loco, com a espessura de 30cm. Com o intuito de proporcionar o espalhamento ideal do som, a câmara foi construída sem paralelismo entre as superfícies, conforme mostra a figura 3.1.

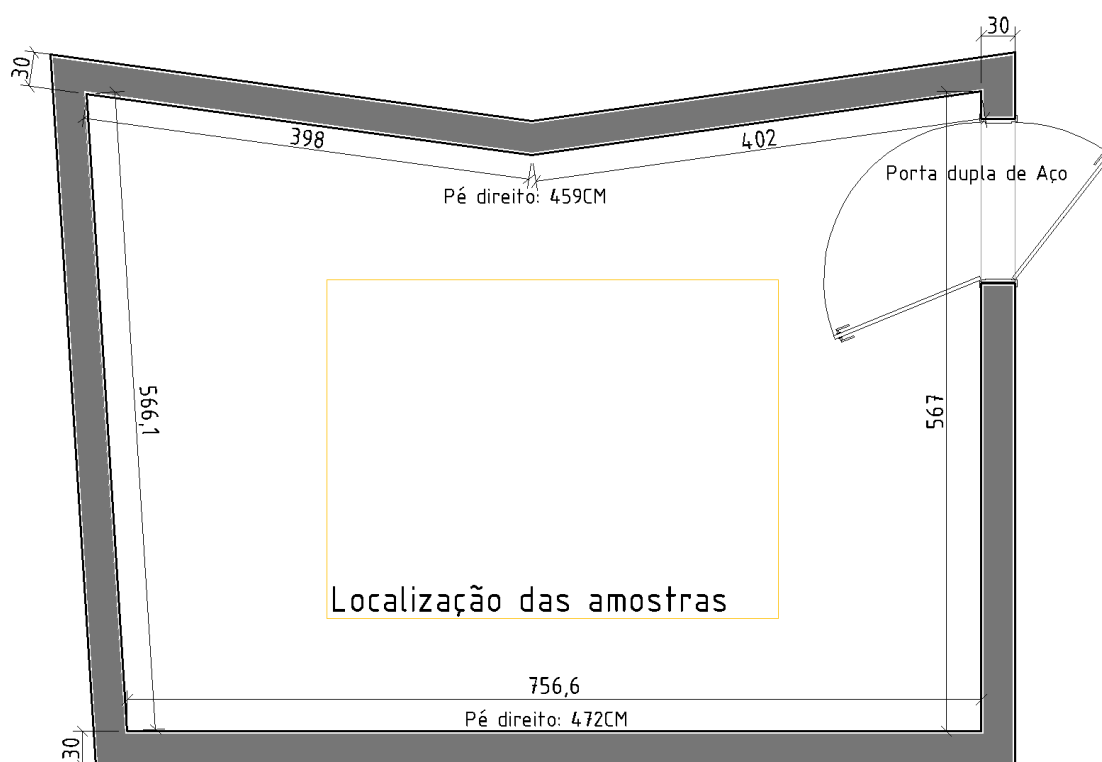


Figura 3.1 – Planta baixa da câmara reverberante do LEAC – UFSM

Fonte: Autor

Os apoios estruturais da câmara, que ligam a mesma ao solo, contam com isolamento mecânico. Buscando remover o contato direto com o solo, e conseqüentemente as interferências que este poderia gerar nos ensaios, estão presentes peças de *Neoprene* de grande espessura que separam a câmara do solo, conforme mostra a figura 3.2.

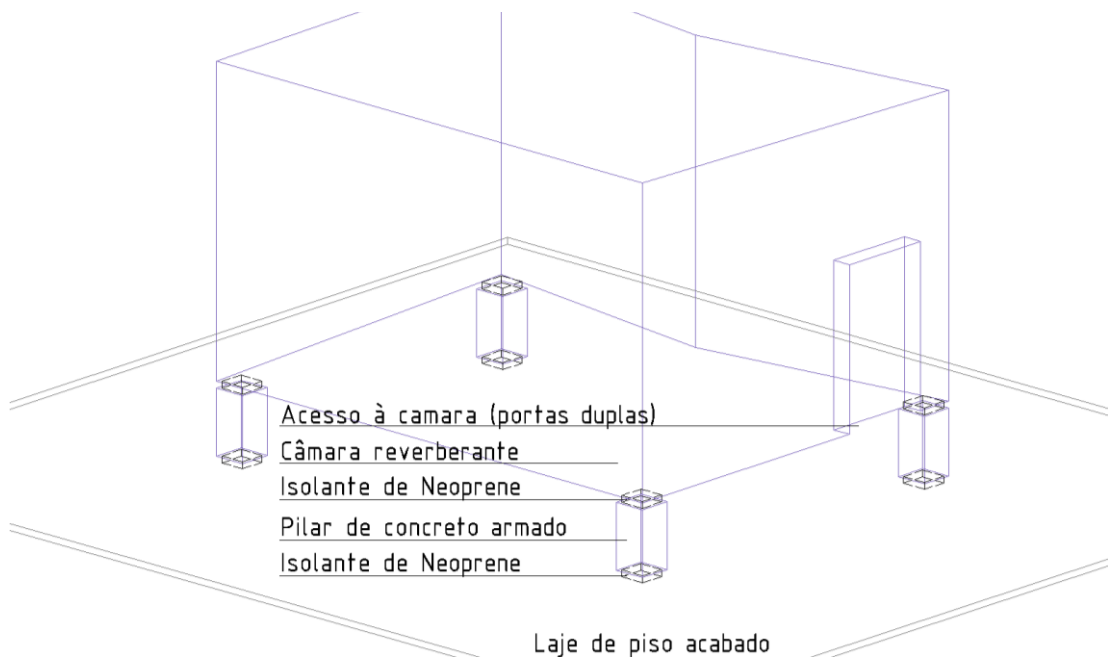


Figura 3.2 – Esquema em perspectiva 3d da câmara reverberante do LEAC – UFSM
Fonte: Autor

Na parte interna da câmara, existem difusores metálicos pendurados ao teto conforme é mostrado na figura 3.3. Estes objetivam o espalhamento do som, uniformemente em todos os pontos da mesma, caracterizando campo difuso. Além destes difusores metálicos pendurados ao teto, também é possível perceber alguns absorvedores afixados às paredes. Estes absorvem algumas baixas frequências para que a sintonia da sala fique de acordo com os níveis solicitados pela norma ISO 354/2003.

Para que ocorresse o posicionamento correto das amostras dentro da câmara reverberante, foram feitas marcações, considerando quadrantes e diagonais, com fita-crepe no piso da câmara.

Buscando a validação estatística, optou-se por trabalhar com doze objetos compondo a amostra. A quantidade de amostra recomendada pela norma ISO 354/2003, para uma câmara reverberante com estas dimensões, varia entre 10 e 12m². Sabendo disto, optou-se por trabalhar com doze conjuntos de objetos em cada ensaio.



Figura 3.3 – Imagem interna da câmara reverberante do LEAC – UFSM
Fonte: Autor

3.1.2. Condições climáticas da câmara durante os ensaios

Conforme solicita a normativa ISO354/2003, as condições ambientais devem ser controladas durante a realização dos ensaios. Para que haja normalização dos dados propostos, a temperatura deve ser de no mínimo 15° C e permanecer constante durante toda a mensuração. A umidade relativa do ar deve permanecer entre 30% e 90% e, da mesma forma que a temperatura, permanecer constante durante os decaimentos, sendo necessário repetir os ensaios no caso de variação, tanto da temperatura quanto da umidade do ar, para não comprometer o rigor científico. A variação de temperatura do ar pode aumentar ou diminuir a velocidade de propagação do som neste meio, tornando o ensaio instável.

A umidade do ar é capaz de alterar os coeficientes de absorção das amostras. O excesso de umidade, como no caso de uma amostra de vegetação retirada do seu ambiente natural minutos antes da realização dos ensaios, pode descaracterizar o resultado do experimento

Para o controle dos dados climáticos, utilizou-se o medidor *Hygro-Thermometer* como mostra a figura 3.4.



Figura 3.4 – Equipamento utilizado para medir temperatura e umidade
Fonte: Site Home made solar projects

3.1.3. Equipamentos utilizados durante as medições.

Para a aquisição dos dados experimentais do estudo, utilizou-se da fonte sonora omnidirecional dodecaédrica 4292 da Brüel e Kjaer, excitada pelo amplificador *Power Amplifier Type 2716* também da Brüel e Kjaer.

Foi utilizado apenas um microfone, modelo 4189, da Brüel e Kjaer, conectado por cabo ao *jack* superior do MNPS. O mesmo estava posicionado sobre o tripé modelo UA-0801 também da Brüel e Kjaer e foi movimentado para todas as posições manualmente.

O MNPS 2270 da Brüel e Kjaer, foi utilizado ligado via USB em um computador portátil e operado através do Software BZ 7227 versão 4.3.2, da Brüel e Kjaer. O MNPS funcionou como medidor de nível de pressão sonora, medindo dos decaimentos, bem como gerador do ruído branco, ligado também ao amplificador 2716.

Ao início de cada ensaio foi realizada calibração do microfone do sistema através do Calibrador 4231 da Brüel e Kjaer. A figura 3.5 mostra o esquema com todos os equipamentos utilizados para a aquisição dos dados durante os ensaios.

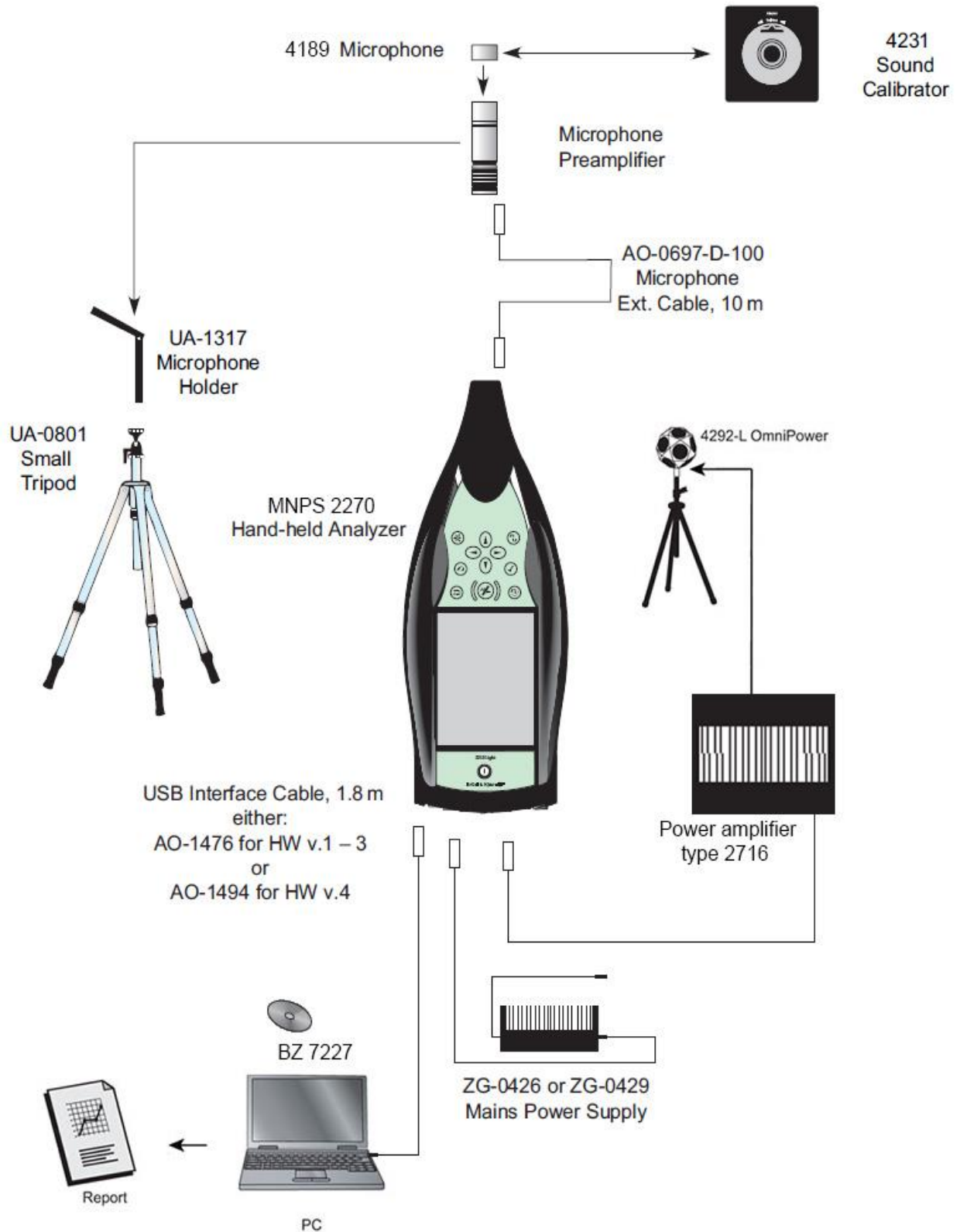


Figura 3.5 – Diagrama da montagem e equipamentos utilizados durante os ensaios
 Fonte: Adaptado de Brüel e Kjaer (2015)

3.1.4. Montagem do experimento

Foram propostas quatro montagens para realizar os ensaios, sendo uma delas com a câmara reverberante vazia. A primeira montagem consistiu apenas no posicionamento dos microfones e das fontes sonoras na câmara reverberante conforme solicita a norma ISO 354/2003.

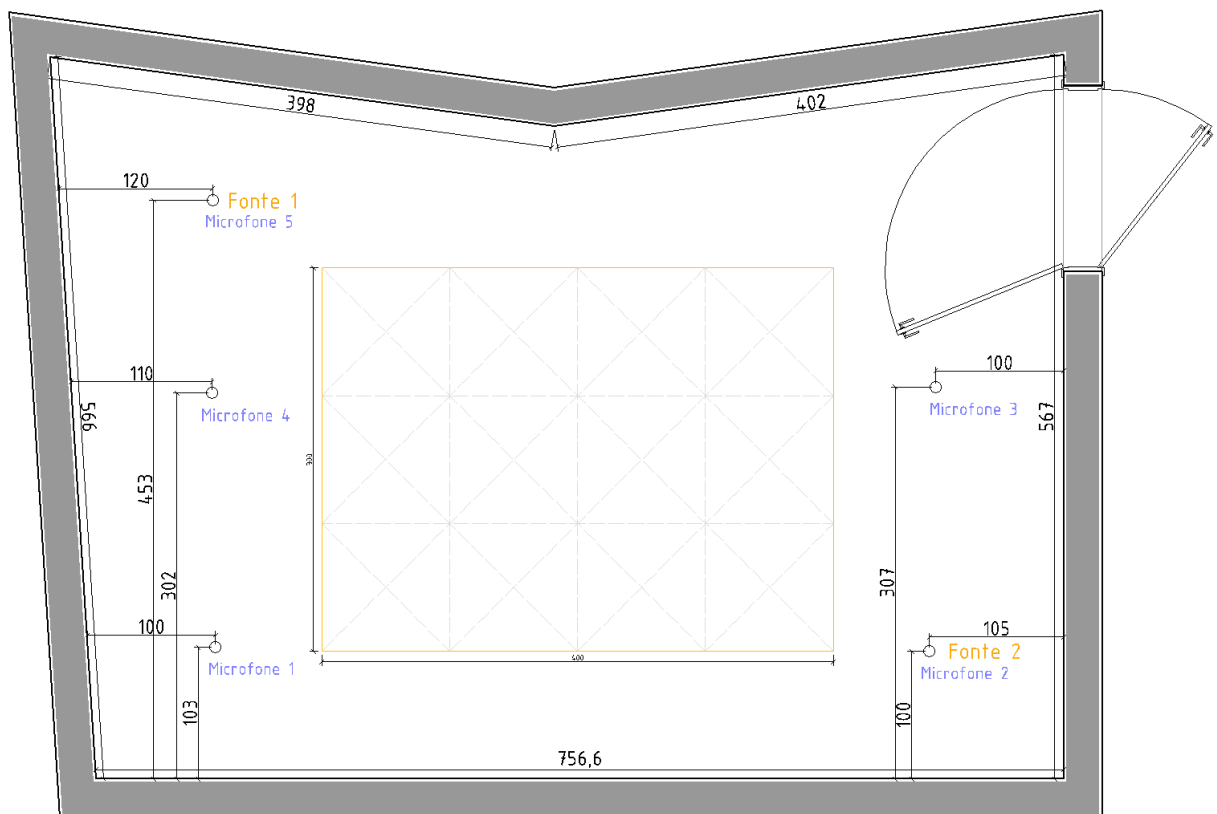


Figura 3.6 – Planta baixa mostrando o posicionamento da amostra, das posições de fonte e microfones, de acordo com as solicitações da norma ISO 354/2003

Fonte: Autor

A segunda montagem, deu-se utilizando doze cachepôs de madeira confeccionados em chapas de MDF com 6mm de espessura. Estes cachepôs foram confeccionados especialmente para os ensaios, possuindo 50cm de altura e 40cm nas outras duas dimensões. A intenção é que os mesmos fossem feitos apenas de chapas de MDF e ficassem rígidos, para que não houvesse vibrações decorrentes de parafusos ou peças metálicas resultantes da união das chapas. Então, estes foram montados com adesivo à base de Cianoacrilato, popularmente conhecido por Super-Bonder.



Figura 3.7 – Foto da segunda montagem do ensaio, apenas cachepôs
Fonte: Autor

Houve a expectativa que, quando fossem colocados apenas os cachepôs, os mesmos apresentassem boa absorção nas baixas frequências, por apresentarem suas dimensões conflitantes com alguns comprimentos de onda gerados no ensaio, ou ainda pelo comportamento similar à ressonadores.

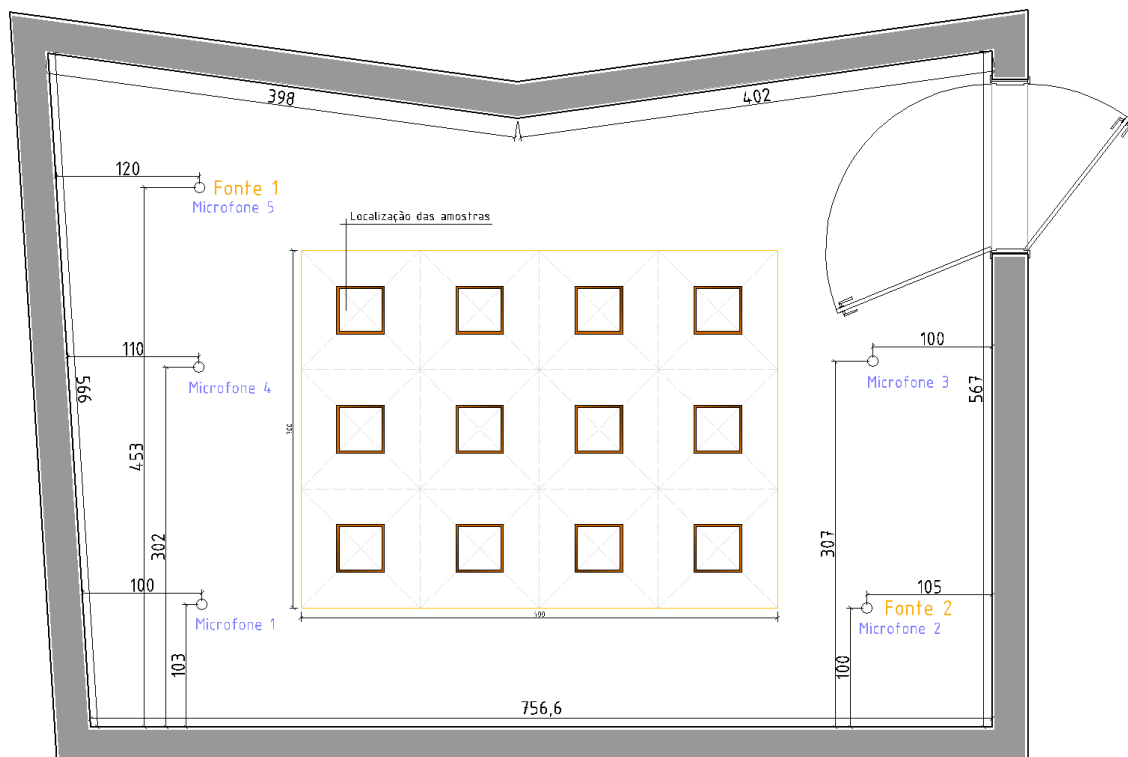


Figura 3.8 – Planta baixa esquemática da segunda montagem do ensaio.
Fonte: Autor

A terceira montagem deu-se com a presença apenas dos espécimes vegetais. As doze mudas de Buriti estavam em sacos de PVC pretos, biodegradáveis, próprios para o plantio, como pode ser visto na figura 3.9. Estes invólucros mediam aproximadamente 35cm de altura por 30cm de diâmetro. A altura média das mudas era de 1m.



Figura 3.9 – Foto da terceira montagem do ensaio, apenas Buriti
Fonte: Autor

As mudas de Buriti utilizadas nos ensaios foram deixadas no hall do LEAC – UFSM com um dia de antecedência à data dos ensaios para que sua umidade e temperatura fossem harmonizadas com o ambiente, objetivando a mínima alteração nas condições climáticas na câmara durante os ensaios. As amostras tinham de 7 à 16 Kg, considerando o peso da planta mais o substrato. A composição deste substrato é desconhecida por tratar-se de uma mistura pré-definida e utilizada na maioria das plantas do viveiro da Universidade Federal de Santa Maria.

A figura 3.10 apresenta um croqui com a distribuição em planta baixa das amostras na câmara reverberante.

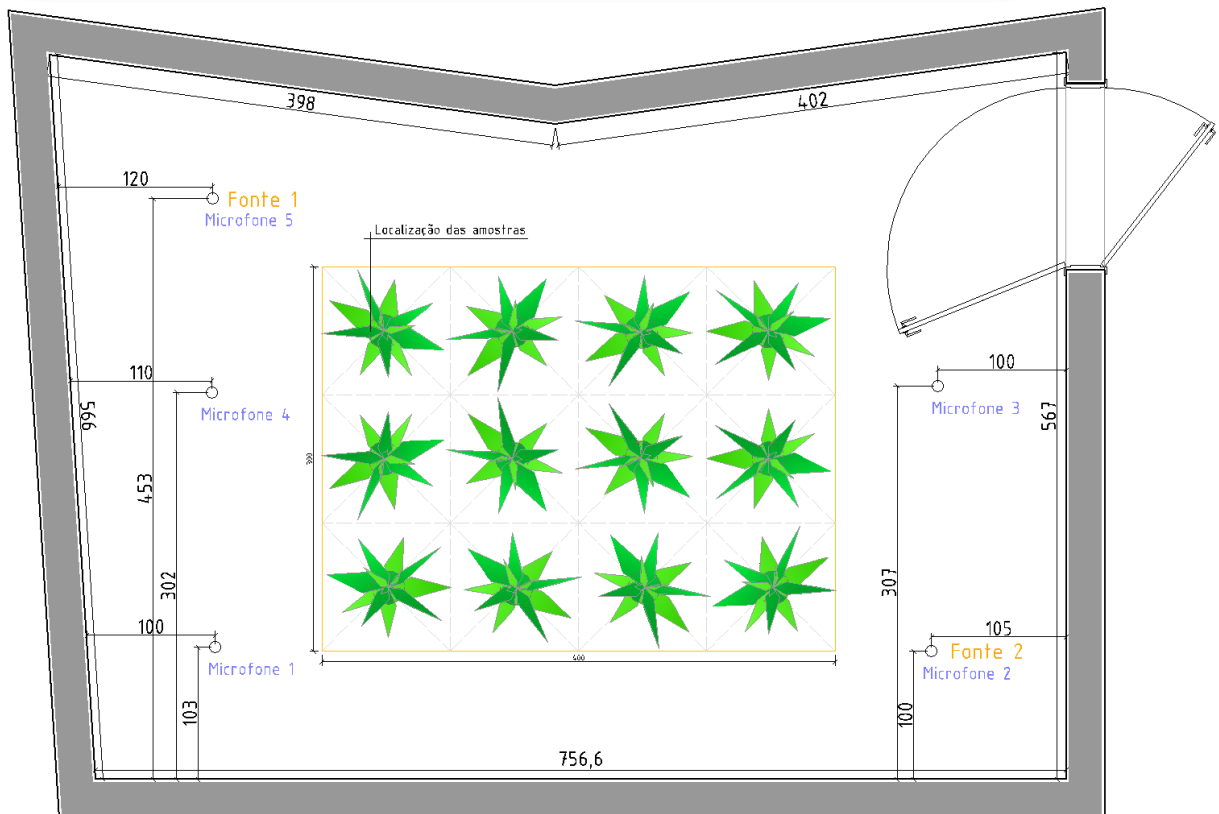


Figura 3.10 – Planta baixa esquemática da terceira montagem do ensaio
Fonte: Autor

Na quarta e última montagem, foi proposta a composição, contendo as mudas de Buriti e os cachepôs de MDF previamente ensaiados conforme mostra a figura 3.13. Foi adicionado a eles, com o objetivo de complementar a percepção estética do arranjo, outra planta utilizada com frequência na composição de arranjos florais, a *Tillandsia usneoides*, também conhecida como Barba-de-velho ou Barba-de-pau, conforme pode ser visualizado na figura 3.11. Essa planta foi proposta pela suas características de delicadeza e grande porosidade, se considerada a apresentação comercial da mesma, em formato de buchas, conforme pode ser identificado na figura 3.11.

Uma curiosidade interessante em relação à Barba-de-pau é que apesar da mesma ser encontrada sobre outras plantas, ela não se caracteriza como uma planta parasita, pois não conta com a seiva de outra planta para viver. Ela apenas utiliza a outra planta como apoio, extraindo do ar todos os nutrientes necessários para sua sobrevivência, incluindo a água, retida em suas pequenas folhas.

O uso popular da Barba-de-pau ultrapassa as expressões estéticas, sendo cogitado inclusive o seu emprego em travesseiros, isso deve-se ao fato que alguns usuários da barba-de-pau acreditam que a planta apresenta propriedades medicinais.



Figura 3.11 – Barba-de-pau em sua apresentação comercial
Fonte: Site bicho brasileiro alimento vivo

Essas plantas são elementos muito nobres em arranjos florais pois apresentam grande potencial estético. No entanto o acesso a estas plantas é muito restrito devido à dificuldade de cultivo ou extração das mesmas, já que são encontradas apenas em locais onde não há, ou ainda é identificada muito pouco potencial de poluição atmosférica. É encontrada em locais afastados dos grandes centros, como pode ser percebido na figura 3.12.



Figura 3.12 – Barba-de-pau em seu habitat nativo
Fonte: Site bolsa de mulher



Figura 3.13 – Foto da quarta montagem, composição completa
Fonte: Autor

A montagem final do experimento contou com a colocação de todos os elementos anteriormente estudados, juntos. O posicionamento das mudas de Buriti, bem como dos cachepôs, se deu de acordo com as marcas previamente efetuadas com fita crepe no piso da câmara reverberante, desta forma, garantiu-se que as distâncias solicitadas pela norma ISO 354/2003 fossem adotadas. Foi necessário dispersar manualmente a Barba-de-pau, já que a mesma veio em embalagens plásticas bem compactada



Figura 3.14 – Foto da quarta montagem, apresentando os cachepôs e as duas plantas
Fonte: Autor

A figura 3.15 mostra a planta baixa esquemática com a disposição das amostras completas, de arranjos vegetados, no piso da câmara reverberante, bem como as posições da fonte sonora e do microfone utilizado para a aquisição dos dados.

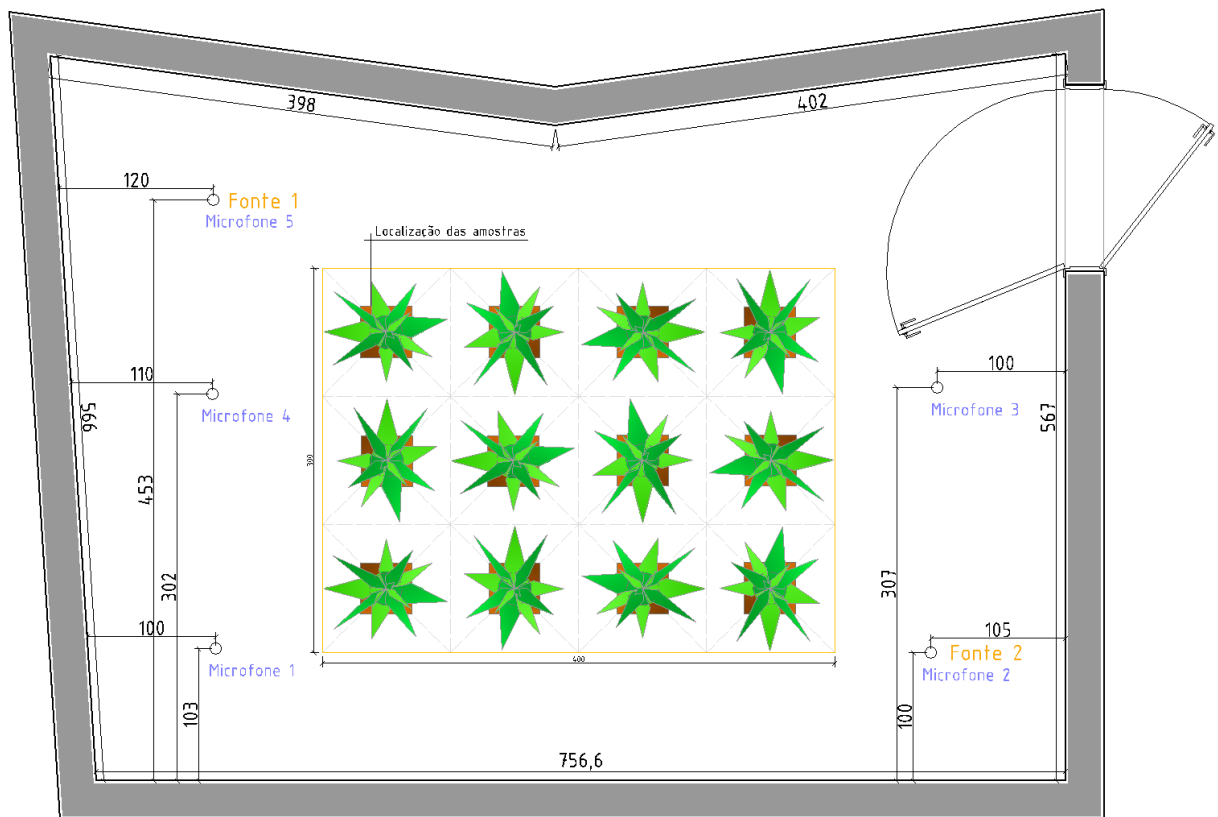


Figura 3.15 – Planta baixa esquemática da quarta montagem
Fonte: Autor

3.1.5. Cálculo do coeficiente de absorção sonora na câmara reverberante.

As medições foram conduzidas de acordo com as exigências das ISO 354/2003, em bandas de 1/3 de oitava, de 100 Hz a 5KHz, desta forma, abordando toda a gama de frequências audíveis, desde as baixas até as altas. Conforme a exigência da norma, utilizaram-se duas posições para a fonte sonora e três posições de microfones para cada posição de fonte. Foram efetuados 3 decaimentos para cada posição de microfone, totalizando 18 curvas de decaimento.

A figura 3.16 mostra o esquema utilizado para as medições onde aparecem as duas posições de fonte e seis posições de microfone. Também são mostrados os decaimentos, em número de três, realizados em cada conjunto fonte-microfone.

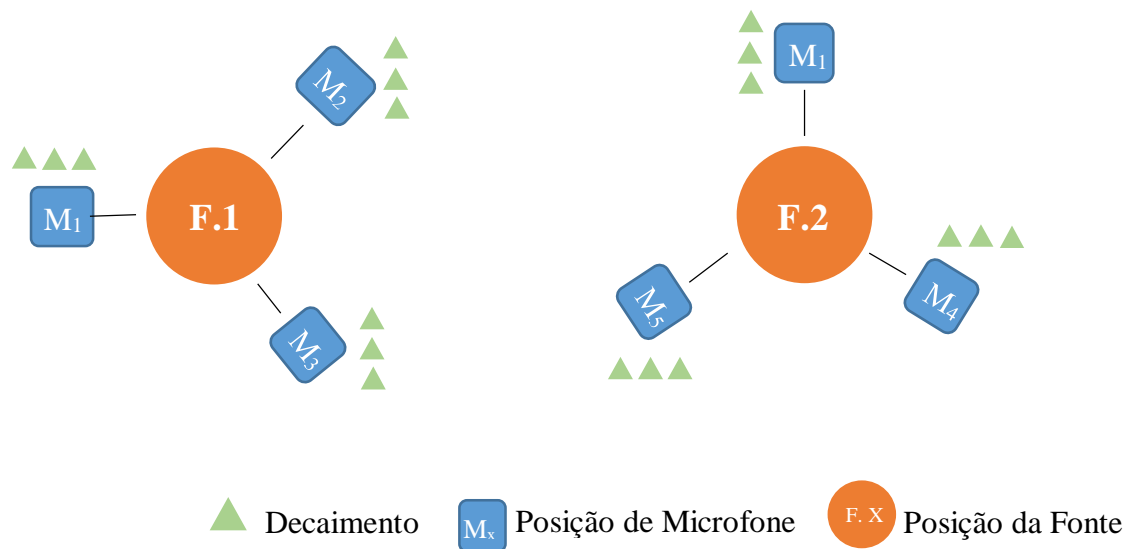


Figura 3.16 – Diagrama da montagem do ensaio. Relação Fonte-Microfone-Decaimento
Fonte: Autor

Conforme a legenda, F.1 e F.2 corresponde às posições da fonte. Para a fonte F1, foram utilizados a posição 1, a posição 2 e a posição 3 de microfones. Para a fonte F.2, foram utilizadas a posição 1, a posição 4 e a posição 5 de microfone.

Os ensaios consistiram no posicionamento das amostras no piso da câmara reverberante observando as distâncias contidas na norma ISO 354/2003, conforme as marcações previamente realizadas. Após o correto posicionamento das mesmas, iniciaram-se as medições do tempo de reverberação através de decaimentos contínuos contando com o método de ruído interrompido (item 7.2 da norma ISO354/2003). A fonte sonora produziu ruído branco durante os primeiros 20 segundos, até que a pressão sonora se tornasse constante no interior da câmara. Então este ruído foi interrompido e o decaimento do nível de pressão sonora, foi medido pelo Medidor de Nível de Pressão Sonora - MNPS.

Após coletar os dados provenientes da média aritmética de todos os decaimentos em todas as posições de fontes e microfones, foram utilizados estes dados para calcular a área de absorção equivalente a partir da equação proposta pela normativa ISO354/2003. Procedeu-se então, com o cálculo da área equivalente através da equação 3.1.

$$A_n = \frac{55,3 V}{c T_n} - 4V m_n \quad (\text{Eq 3.1})$$

Onde A_n é a Área de absorção equivalente, sendo medida em m^2 , V é o volume da sala ou recinto onde foram conduzidos os experimentos e é medido em m^3 , no caso a câmara reverberante do LEAC. T_n é o tempo de reverberação registrado no ensaio, para cada frequência ou banda de frequência, medido em segundos e m_n é o coeficiente de atenuação de potência, este varia de acordo com a temperatura e umidade do ar dentro do recinto, no momento do ensaio, que é regido pela ISO 9613-1. Por fim, C equivale à velocidade de propagação do som no ar, que é calculado a partir da equação 3.2 e é medido em m/s.

$$C = 331 + 0,6 t \quad (\text{Eq 3.2})$$

Onde t é a temperatura registrada no momento em questão. Neste caso, durante as medições na câmara reverberante. Esta equação deve ser usada apenas para determinar a velocidade do som no ar, entre temperaturas de 15°C a 30°C . Após a aplicação desta equação, se busca calcular o α a partir da equação 3.3, encontrada na norma ISO 354/2003.

$$\alpha_n = \frac{A_t}{N} \quad (\text{Eq 3.3})$$

Onde α_n é o coeficiente de absorção sonora do material ensaiado, determinado por banda de frequência. N é o número de espécies ou arranjos que a amostra é composta. (No caso deste estudo. Para absorventes planos, ou seja, em outros tipos de ensaios, N pode representar a área da amostra ensaiada). A_t corresponde à área de absorção equivalente do material por banda de frequência analisada. Para que encontrar o valor de A_t é necessário que se aplique a equação 3.4.

$$A_t = A_2 - A_1 \quad (\text{Eq 3.4})$$

A equação 3.4 objetiva encontrar o resultante da subtração entre o A_1 , que foi gerado a partir das medições efetuadas com a câmara reverberante vazia e os A_{2n} correspondentes à todos os outros ensaios realizados posteriormente. Estes ensaios foram com os cachepôs individualmente, denominado A_{2a} , com as mudas de buriti individualmente, denominado A_{2b} e com a composição completa, que foi denominado como A_{2c} .

Através do emprego da metodologia descrita nesse capítulo objetivou-se conhecer o coeficiente de absorção sonora de cada elemento em separado (cachepôs ou plantas) e, posteriormente, do conjunto, ao qual foi agregado, ainda, a barba-de-pau, caracterizando um arranjo decorativo que deverá ser largamente utilizado.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Este capítulo compreende a análise dos resultados obtidos durante a parte experimental do trabalho. Foram ensaiados os arranjos vegetados contendo as duas plantas e os cachepôs bem como, também foram analisados individualmente os Buritis e os cachepôs.

Devido à presença do ruído de fundo durante a elaboração dos ensaios, optou-se por gerar a medição do T_{30} , utilizando decaimentos de apenas 30dB. Conforme já é sabido, o T_{20} o T_{30} e o T_{60} são linearmente equivalentes, logo, optou-se pela adoção do T_{30} em todos os ensaios, caracterizando-o e denominando-o como tempo de reverberação, ou TR .

A análise do tempo de reverberação dos elementos ensaiados, foi realizada a partir da diferença entre o TR medido com a câmara reverberante vazia e o TR obtido quando a câmara estava com a amostra em seu interior. A partir dos valores obtidos para TR , procedeu-se com o cálculo da área de absorção sonora equivalente. Primeiramente foram calculados os valores de c , conforme a equação 3.2, ou seja, a velocidade de propagação do som no ar de acordo com a temperatura no momento dos ensaios. Estes resultados são expressos na tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Relação entre a temperatura e a velocidade de propagação do som no ar

Ensaio	Umidade relativa em %	Temperatura em °C	c (velocidade de propagação) em m/s
Câmara Vazia	71	16,6	340,96
Cachepôs	72	16,8	341,08
Buritis	76	17,0	341,20
Composição Completa	74	17,6	341,56

Fonte: Autor

Após a aquisição destes dados, procedeu-se com a aplicação da equação 3.1, substituindo as incógnitas pelos dados obtidos. Conforme a tabela 4.1, não se obteve variação significativa de umidade relativa do ar. Optou-se, então, por não utilizar as correções propostas pela norma ISO 9613-1 já que os valores são os mesmos. A partir da aplicação da equação 3.1, obtiveram-se os resultados para a área de absorção sonora equivalente A_2 de cada ensaio.

4.1. Análise dos resultados tabulados

Para o bom entendimento dos resultados determinou-se que, A_1 é correspondente à área de absorção sonora da câmara reverberante sem a amostra, como se pode verificar na tabela 4.2. Posteriormente, para a obtenção dos valores de α foi necessário definir o A_t para cada amostra, a partir da equação 3.4. Após a definição destes coeficientes, aplicou-se a equação 3.3 para definição do α_n .

Tabela 4.2 – Dados do ensaio com a câmara reverberante vazia

Data: 22/07/14	Câmara vazia			
Frequência	T20	T30	A1	α_1
100	16,47	17,11	1,96	-----
125	15,51	16,55	2,03	-----
160	18,02	19,27	1,74	-----
200	16,56	17,93	1,87	-----
250	16,12	16,77	2,00	-----
315	17,13	17,64	1,90	-----
400	14,9	15,43	2,18	-----
500	14,32	14,66	2,29	-----
630	13,41	13,54	2,48	-----
800	12,7	12,6	2,66	-----
1K	10,92	10,98	3,06	-----
1.25K	9,49	9,42	3,56	-----
1.6K	8,78	8,79	3,82	-----
2K	7,6	7,61	4,41	-----
2.5K	6,4	6,45	5,21	-----
3.15K	5,2	5,25	6,39	-----
4K	4,11	4,15	8,09	-----
5K	3,29	3,3	10,17	-----
Equipamento: MNPS 2270				
UR: 70%	T: 16,6°C	Instrumento de medição – Higo Thermometer		

Fonte: Autor

Determinou-se também que A_{2a} corresponde à área de absorção sonora equivalente da câmara contendo apenas a amostra de cachepôs em seu interior. A tabela 4.3 traz dados interessantes em relação ao tempo de reverberação apresentado no ensaio contendo apenas os cachepôs. Nesta é possível perceber resultados interessantes nas baixas frequências. Em 160 Hz foi apresentado um pico de absorção, que acredita-se ter sido causado pela dimensão do comprimento de onda, em função do espaço aberto no interior dos cachepôs.

Tabela 4.3 – Dados do ensaio contendo apenas a amostra dos cachepôs

Data: 22/07/14	Apenas cachepôs			
Frequência	T₃₀	A_{2a}	A_t (A_{2a}-A₁)	α_a
100	14,21	2,819	0,4	0,033
125	12,92	2,663	0,569	0,047
160	8,99	2,186	1,991	0,166
200	9,31	2,502	1,732	0,144
250	13,05	2,846	0,57	0,047
315	14,01	3,229	0,492	0,041
400	11,86	3,856	0,654	0,054
500	10,44	4,285	0,925	0,077
630	10,74	4,855	0,645	0,054
800	10,01	5,3	0,688	0,057
1K	9	5,959	0,671	0,056
1.25K	7,98	6,617	0,642	0,053
1.6K	7,56	7,063	0,62	0,052
2K	6,69	7,608	0,605	0,05
2.5K	5,77	8,325	0,611	0,051
3.15K	4,76	9,504	0,656	0,055
4K	3,79	10,96	0,765	0,064
5K	2,98	13,21	1,089	0,091
Equipamento: MNPS 2270				
UR: 71%	T: 16,8°C	Instrumento de medição – <i>Higro Thermometer</i>		

Fonte: Autor

Em relação à área de absorção equivalente da amostra de Buritis, determinou-se que A_{2b} é, conforme mostra a tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Dados do ensaio contendo apenas a amostra dos Buritis

Data: 22/07/14	Apenas Buriti			
Frequência	T₃₀	A_{2b}	A_t (A_{2b}-A₁)	α_b
100	11,9	2,819	0,857	0,071
125	12,6	2,663	0,634	0,053
160	15,35	2,186	0,443	0,037
200	13,41	2,502	0,629	0,052
250	11,79	2,846	0,844	0,07
315	10,39	3,229	1,326	0,11
400	8,7	3,856	1,68	0,14
500	7,83	4,285	1,995	0,166
630	6,91	4,855	2,376	0,198
800	6,33	5,3	2,636	0,22
1K	5,63	5,959	2,901	0,242
1.25K	5,07	6,617	3,053	0,254
1.6K	4,75	7,063	3,244	0,27
2K	4,41	7,608	3,196	0,266
2.5K	4,03	8,325	3,12	0,26
3.15K	3,53	9,504	3,109	0,259
4K	3,06	10,96	2,874	0,239
5K	2,54	13,21	3,035	0,253
Equipamento: MNPS 2270				
UR: 78%	T: 17,0°C	Instrumento de medição – <i>Higro Thermometer</i>		

Fonte: Autor

A tabela 4.5 apresenta os dados coletados a partir dos ensaios com a composição completa. Os dados de TR apresentaram grande diferença em relação aos obtidos no primeiro ensaio, com a câmara vazia.

É possível perceber essa grande diferença ao comparar as baixas frequências. As maiores variações localizam-se por volta de 160Hz e 200Hz e podem variar mais de 10 segundos. Foi convencionado também que a área equivalente A_{2c} corresponde à composição completa, conforme a tabela 4.5

Tabela 4.5 – Dados do ensaio contendo apenas a amostra da composição completa

Data: 22/07/14	Composição completa			
Frequência	T₃₀	A_{2c}	A_t (A_{2c}-A₁)	α_c
100	10,04	3,338	1,376	0,115
125	9,08	3,691	1,662	0,139
160	8,82	3,8	2,058	0,171
200	7,46	4,493	2,62	0,218
250	9,45	3,546	1,544	0,129
315	8,82	3,8	1,897	0,158
400	6,82	4,914	2,738	0,228
500	7,75	4,324	2,034	0,17
630	7,67	4,37	1,89	0,157
800	6,65	5,04	2,375	0,198
1K	5,94	5,642	2,584	0,215
1.25K	5,4	6,206	2,642	0,22
1.6K	5,11	6,559	2,739	0,228
2K	4,68	7,161	2,749	0,229
2.5K	4,2	7,98	2,774	0,231
3.15K	3,54	9,467	3,072	0,256
4K	3,02	11,1	3,007	0,251
5K	2,49	13,46	3,286	0,274
Equipamento: MNPS 2270				
UR: 76%	T: 17,6°C	Instrumento de medição – <i>Higro Thermometer</i>		

Fonte: Autor

Na tabela 4.6 é apresentada o comparativo contendo os dados de tempo de reverberação e coeficiente de absorção sonora de todas as amostras ensaiadas. É possível perceber já nestes dados, a diferença significativa entre cada um dos ensaios realizados.

Com exceção das bandas de 160 e 200 Hz, os ensaios contendo a amostra de Buriti, apresentaram melhores resultados que quando avaliados apenas os cachepôs. Nestas bandas, acredita-se que os cachepôs interferiram graças às suas dimensões.

Outra percepção interessante a ser feita é a comparação entre os dados de tempo de reverberação obtidos dos ensaios com a composição completa e os dados dos ensaios dos Buritis. Em algumas frequências a adição de novos elementos, como o cachepôs e a Barba-de-pau causou aumento do TR. Este aumento foi verificado nas frequências de 630 Hz, 800Hz, 1250 Hz, 1600 Hz, 2000 Hz, 2500 Hz e 3150 Hz. Estas informações podem ser visualizadas na tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Apresenta o TR e o α de todos os elementos ensaiados

Data: 22/07/14	Apenas cachepôs		Apenas Buriti		Composição completa	
	TR	α	TR	α	TR	α
100	14,21	0,033	11,9	0,071	10,04	0,115
125	12,92	0,047	12,6	0,053	9,08	0,139
160	8,99	0,166	15,35	0,037	8,82	0,171
200	9,31	0,144	13,41	0,052	7,46	0,218
250	13,05	0,047	11,79	0,070	9,45	0,129
315	14,01	0,041	10,39	0,110	8,82	0,158
400	11,86	0,054	8,70	0,140	6,82	0,228
500	10,44	0,077	7,83	0,166	7,75	0,170
630	10,74	0,054	6,91	0,198	7,67	0,157
800	10,01	0,057	6,33	0,220	6,65	0,198
1K	9,00	0,056	5,63	0,242	5,94	0,215
1.25K	7,98	0,053	5,07	0,254	5,40	0,220
1.6K	7,56	0,052	4,75	0,270	5,11	0,228
2K	6,69	0,050	4,41	0,266	4,68	0,229
2.5K	5,77	0,051	4,03	0,260	4,20	0,231
3.15K	4,76	0,055	3,53	0,259	3,54	0,256
4K	3,79	0,064	3,06	0,239	3,02	0,251
5K	2,98	0,091	2,54	0,253	2,49	0,274
Equipamento: MNPS 2270			Equipamento de medição: Hygro Thermometer			
T: 16,8 °C UR: 71%			T: 17,0 °C UR: 78%		T: 17,6 °C UR: 76%	

Fonte: Autor

4.2. Análise dos resultados gráficos

A seguir, são apresentados os gráficos dos coeficientes de absorção sonora das amostras ensaiadas. Os gráficos mostram o coeficiente de absorção sonora em relação às bandas de 1/3 de oitava, de acordo com os dados anteriormente expostos nas tabelas.

O primeiro gráfico trata dos coeficientes de absorção sonora correspondente ao ensaio dos Cachepôs. O mesmo possui ênfase nas baixas frequências, mais especificamente entre 140Hz e 200Hz. Fenômenos dessa ordem podem ser verificados no caso do uso de ressonadores ou equipamentos específicos com esta função. Este comportamento também pode ser apresentado devido à vibração uniforme do material por ter sido confeccionado sem encaixes e colados com cianoacrilato.

Logo, percebe-se que o cachepô de madeira funcionou como um absorvedor de membrana, apresentando absorção significativa nas baixas frequências, em torno de 160 Hz e mantendo-se próximo de zero em todas as outras. No gráfico da figura 4.1 é possível perceber essa característica de absorção sonora, do cachepô produzido em MDF.

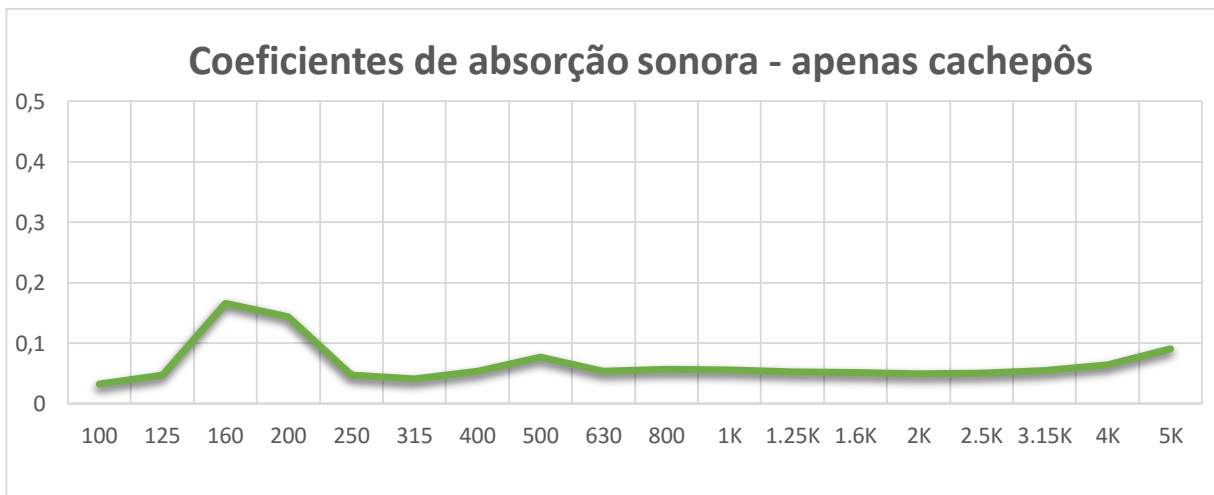


Figura 4.1 – Gráfico contendo os coeficientes de absorção da amostra do cachepô.
Fonte: Autor

Ao analisar o gráfico da medição contendo a amostra de buriti, pode-se perceber que o mesmo apresenta pequena absorção sonora nas baixas frequências, ascendendo linearmente a partir de 200Hz, até encontrar sua posição de maior valor em 1.6 kHz, onde atinge valores próximos de 0,3. Após esta banda

de frequência, inicia-se um novo declínio até 4 kHz e posteriormente uma pequena ascensão nos 5KHz. No entanto, após 800Hz os valores do coeficiente de absorção sonora permanecem entre 0,2 e 0,3.

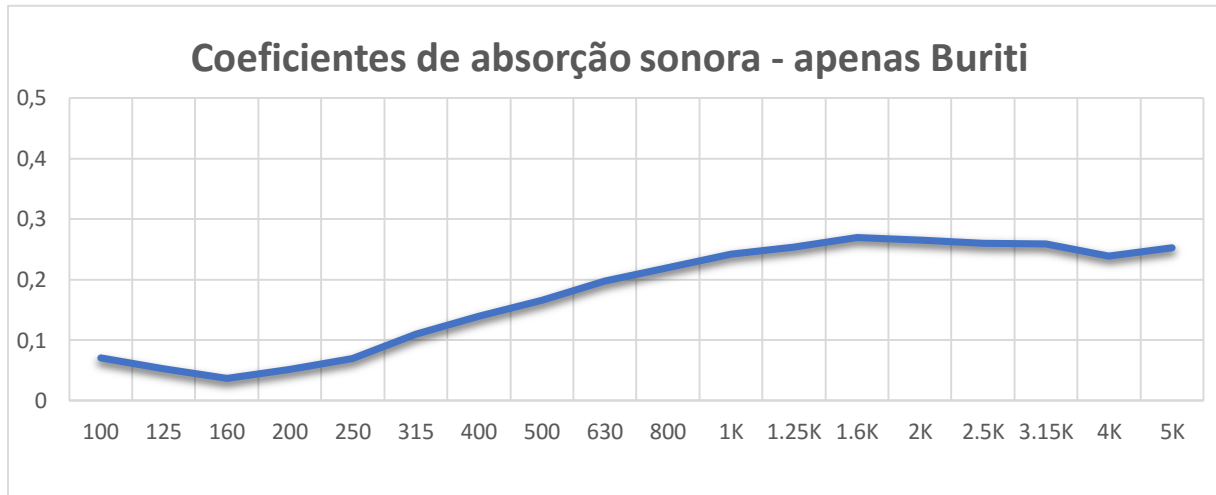


Figura 4.2 – Gráfico contendo os coeficientes de absorção da amostra de Buriti
Fonte: Autor

Acredita-se ser possível fazer uma relação entre o espalhamento de energia causado pelas folhas da planta e o coeficiente de absorção sonora da mesma, principalmente nas altas frequências. Segundo Aylor (1972), é possível fazer a relação de acordo com a equação 2.1. Para tanto, é necessário compreender a relação entre comprimento de onda λ , a frequência e a velocidade de propagação do som (em um meio elástico, que neste caso, é o ar). Para se determinar os valores de comprimento de onda λ é preciso utilizar a equação 4.1.

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (\text{Eq 4.1})$$

Onde λ é o comprimento de onda, que é dado em metros, c é a velocidade de propagação do som no ar, dada, conforme a temperatura, em m/s, de acordo com a equação 3.2, e f corresponde a frequência a ser analisada, em Hertz.

Acredita-se então, que os sons que possuem comprimentos de onda menores de 40 cm, ou seja, frequências a partir de 800 Hz, até 5 KHz, possam apresentar maior facilidade na obtenção de coeficientes

de absorção sonora maiores. Se levada em consideração a teoria de Aylor em relação à atenuação por meio de espalhamento.

Ao analisar a figura 4.3, que corresponde à amostra completa, contendo os buritis, os cachepôs e a barba-de-pau, é possível perceber que os valores de absorção sonora nas altas frequências reduziram de forma sutil, no entanto, nas baixas e médias frequências, houve um crescimento significativo em 200Hz e em 400Hz.

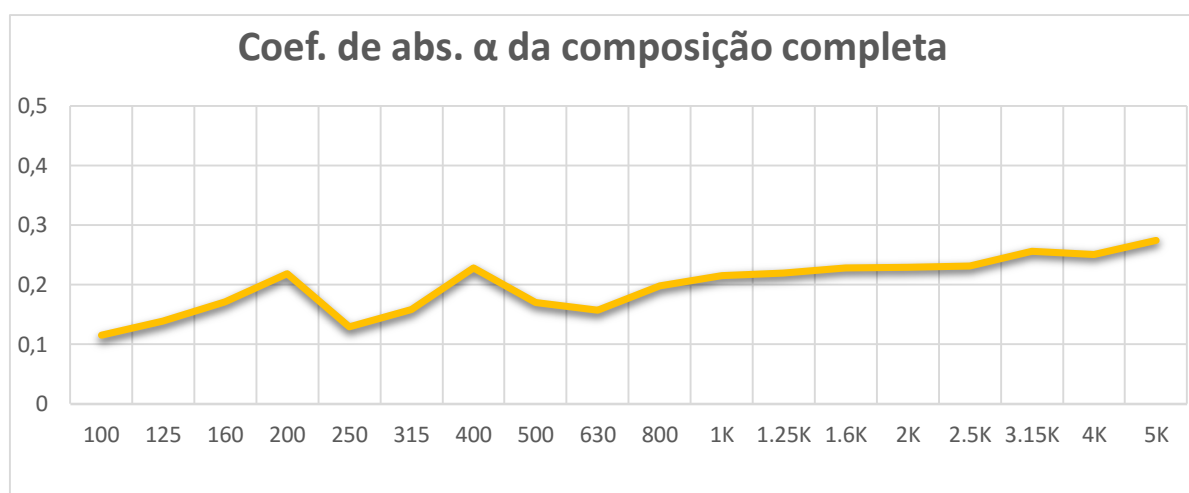


Figura 4.3 – Gráfico contendo os coeficientes de absorção da composição completa
Fonte: Autor

Ao observar os dados em conjunto, conforme o gráfico da Figura 4.4, é possível identificar na linha que representa o coeficiente de absorção sonora da amostra completa, a origem de cada um dos coeficientes previamente estudados. A complementariedade entre as medições envolvendo apenas os cachepôs ou ainda apenas as mudas de Buriti é nítida. A amostra completa denota a absorção resultante da soma de ambas.

É possível visualizar que houve um significativo aumento no coeficiente de absorção sonora por volta de 200 Hz. Acredita-se que este seja resultante da adição dos cachepôs à composição, pois os mesmos apresentaram ganho significativo em torno destas frequências anteriormente, quando analisados de forma isolada, como mostrado na figura 4.1.

Outra variação que pode ser observada é o aumento do coeficiente de absorção sonora em 400 Hz. Existe a possibilidade que este aumento seja decorrente da adição da outra espécie (Barba-de-pau) à composição. No entanto, para confirmar esta suposição seria necessário montar um experimento específico para analisar mais espécies como a Barba-de-pau.

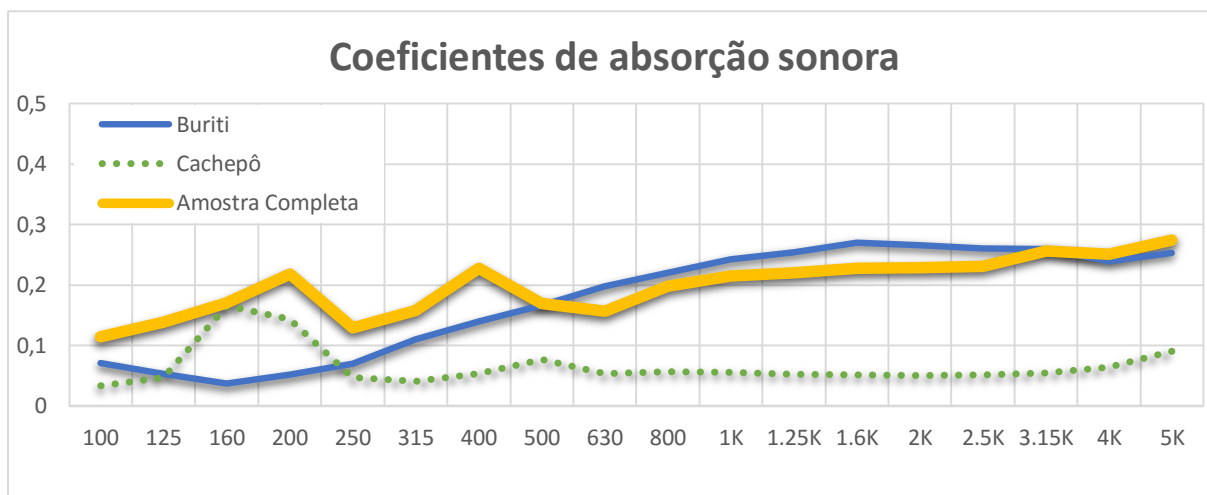


Figura 4.4 – Gráfico contendo os coeficientes de absorção sonora de todos os ensaios.
Fonte: Autor

Considerando as frequências de centro de banda, é possível gerar os dados contidos na tabela 4.7. Além do desempenho final da amostra da composição de arranjo de plantas com fins estéticos, também é possível visualizar o coeficiente de absorção sonora α de outros materiais conhecidos, já estudados neste trabalho.

Tabela 4.7 – Coeficientes de absorção sonora de materiais conhecidos

Materiais	Coeficientes de absorção sonora α					
	125	250	500	1k	2k	4k
Arranjo decorativo (objeto do estudo)	0,14	0,13	0,17	0,22	0,23	0,25
Tapete de veludo	0,02	0,06	0,10	0,24	0,42	0,6
Cadeira estofada	0,13	-	0,20	-	0,25	-
Feltro de fibra natural (5mm de espessura)	0,09	0,12	0,18	0,30	0,55	0,6
Público (por pessoa) em ambiente grande	0,13	0,31	0,45	0,51	0,51	0,43

Fonte: Autor

Observa-se que os valores obtidos para o objeto de estudo desta pesquisa corresponde à coeficientes de absorção sonora de elementos frequentemente empregados nas edificações como elementos construtivos e/ou decorativos.

A banda de frequência escolhida para a análise foi a de 500 Hz. O objetivo nesta parte do estudo foi aplicar a metodologia de cálculos matemáticos criada por Sabine para o cálculo do tempo de reverberação. Esta metodologia tem como base o volume do recinto, os coeficientes de absorção sonora e a área de absorção. Como referência destes, é possível coletar os dados fornecidos pela autora, conforme mostra a tabela 4.8.

Tabela 4.8 – Dados da sala de vídeo ou S4

Superfície	Material	Área S (m²)	α (500 Hz)
Parede	Tijolo Rebocado	49,00	0,017
Piso	Madeira Tipo Parquet	29,59	0,080
Teto	Laje rebocada pintada	29,59	0,014
Porta	Madeira compensada	1,89	0,030
Janelas	Vidro simples	9,18	0,027
Mesa	Chapas madeira leve	1,28	0,032
Volume da sala: 81,37 m³			TR: 3,308s

Fonte: Gaida, C. R., (2012)

A autora (GAIDA, C. R., 2012) apresenta valores ideais de tempo de reverberação **TR** em salas para o ensino de música de acordo com referências nacionais e internacionais. Foram consideradas normativas de países como Itália, Portugal, França, Estados Unidos, entre outros, se considerar os dados coletados a partir de todas estas normas, pode-se dizer que estes valores estão entre 0,4 e 2 segundos, na banda de frequência de 500 Hz, dependendo do volume da sala.

Para efetuar os cálculos de **TR**, utilizou-se a equação 2.3 contendo os dados fornecidos pela tabela 4.7. A proposta consistiu em posicionar 5 arranjos decorativos, o objeto de estudo desta pesquisa, na referida Sala de Vídeo ou S4. A decisão pela quantidade de arranjos a ser colocados no interior da sala partiu da análise do espaço disponível com o mobiliário posicionado no interior da sala, através de fotos fornecidas pela autora.

O coeficiente de absorção sonora α dos arranjos decorativos na banda de frequência de 500 Hz é 0,17 para cada unidade. Logo, ao posicionarmos 5 espécimes, podemos chegar ao valor de absorção de 0,85. Então ao aplicar a equação 2.3, somando este valor à área de absorção total, que é calculada através dos dados da tabela 4.7, é possível chegar ao valor de $TR = 2,72s$.

Apesar da proposta de colocar cinco espécimes dentro da sala ter trazido uma redução significativa no tempo de reverberação da mesma, ainda não foi possível atingir os valores mínimos ideais para uma sala onde ocorra o ensino da música. Para tanto, seria necessário posicionar dezesseis unidades do arranjo, que fossem capaz de gerar um tempo de reverberação de 1,96s.

Mesmo que a aplicabilidade do objeto de estudo tenha parecido um pouco restrita, deve-se lembrar que os arranjos estudados aqui, tem como função primária o apelo estético que transmitem, tratando-se de uma alternativa aos absorvedores convencionais que não apresentam aspecto visualmente atrativo para colocação em alguns ambientes.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1. Conclusão

Cada vez mais é evidenciada a preocupação com a preservação natural, a busca por alternativas que causem menor impacto ambiental está presente em todas as esferas do conhecimento. Essa busca pode passar pela escolha de materiais que tenham menor potencial poluente, bem como a utilização de materiais que apresentem menor gasto energético durante todo seu ciclo de vida. Mesmo que alguns materiais com grande potencial de destruição ambiental ainda sejam utilizados por apresentar maior eficiência desempenhando sua função, paralelamente está acontecendo a pesquisa por alternativas menos poluentes. É possível observar isto na indústria de energia, bem como, na automobilística, por exemplo.

Durante a realização deste trabalho, procurou-se evidenciar, entre outras questões, o esforço para encontrar alternativas que aumentem o conforto ambiental dos espaços de convivência. Partiu-se rumo ao conforto acústico, aliado à sustentabilidade, propondo que fossem estudados arranjos vegetados que tenham características de absorvedores sonoros.

Durante estes estudos, foi despertado também, o interesse pela percepção estética. Nossa pesquisa deu-se, então, através de materiais que apresentassem bons resultados na atenuação sonora e que utilizassem composições vegetais com um bom apelo visual. O intuito desta pesquisa foi encontrar uma alternativa (vegetal) para controle ou atenuação de ruído que pudesse ser aplicado tanto à ambientes internos quanto externos.

Foi estudada então, uma composição utilizando as plantas *Trithrinax brasiliensis* Mart. (Buriti) e *Tillandsia usneoides* (Barba-de-pau), bem como cachepôs de MDF construídos especialmente para abrigar as referidas amostras durante os ensaios na câmara reverberante do Laboratório de Engenharia Acústica da Universidade Federal de Santa Maria.

Ao analisar os dados coletados durante a análise experimental das amostras, pode ser percebido que o sistema completo, composto das duas plantas, bem como os cachepôs, confeccionados em MDF, apresentam coeficientes de absorção sonora com valores entre 0,11 e 0,27 no intervalo de 100Hz até 5000Hz, para um arranjo.

Estes valores, se comparados aos absorvedores sonoros que usualmente são propostos dentro da área de acústica de salas, não apresentam grande capacidade de absorção sonora, no entanto, se o espaço comportar a aplicação de uma composição contendo várias amostras dessas, o resultado já se torna significativo.

Acredita-se que é possível, a partir da aplicação combinada destes arranjos, atingir altos coeficientes de absorção sonora para tratamento acústico dentro de espaços que necessitem reduzir o *TR* sem prejudicar a percepção estética do mesmo. Bem como, a aplicação destas plantas, ou até os arranjos completos, em locais ao ar livre que necessitem desta atenuação, a exemplo de intervenções urbanas como nos *Parklets* em espaços públicos ou ainda em espaços privados, como jardins frontais de residências.

Ao se comparar os resultados obtidos na tabela 4.7 é possível perceber que nas baixas frequências, como 125 Hz e 250 Hz o arranjo decorativo, estudado nesta pesquisa, apresentou dados muito expressivos. Se for efetuada uma comparação com um tapete, que é um objeto amplamente utilizado como composição estética, o arranjo decorativo apresenta valores de coeficiente de absorção mais relevantes no campo das baixas frequências. O mesmo ocorre se for comparado à uma cadeira estofada, bem como ao coeficiente de absorção sonora de uma pessoa em um ambiente grande em 125Hz. Logo, pode-se concluir que a utilização do objeto de estudo como absorvedor sonoro apresenta relevância na absorção de baixas frequências.

É bastante complicado a obtenção de um grande coeficiente de absorção sonora nas baixas frequências. Normalmente é necessário desenvolver absorvedores de grande dimensão e consequentemente caros, em virtude do comprimento de onda muito grande nessas frequências. No entanto, o objeto de estudo desta pesquisa apresentou grande potencial de absorção, inclusive nestas, já que também apresenta coeficientes de absorção sonora razoáveis nas médias e altas frequências.

Acredita-se que dentro da proposta de encontrar uma alternativa sustentável para atenuação de ruído que pudesse ser utilizada tanto em áreas externas como em áreas internas, a pesquisa foi bem sucedida.

5.2. Sugestão para novos trabalhos

De acordo com a pesquisa bibliográfica realizada, o tipo de plantas que apresentariam o melhor rendimento em coeficiente de absorção sonora seriam as da família das trepadeiras. No entanto para desenvolver a pesquisa com estas, necessitaria cultivá-las até que atingissem a dimensão necessária para ser ensaiadas. Este cultivo demandaria, em se construir um espaço adequado, bem como realizar o planejamento da montagem e modulação para que fosse possível movê-las e montá-las no interior da câmara reverberante. Este trabalho demandaria a dedicação de até quatro anos, dependendo da espécie à ser estudada, bem como a obtenção de recursos, ainda que humanos, para realizar o plantio, a poda e a manutenção das espécies durante este tempo.

Desta forma, como sugestão inicial, poder-se-ia os mesmos ensaios feitos durante este trabalho, com as espécies propostas inicialmente na revisão bibliográfica: Primavera ou Três Marias, Alamanda, Tumbergia, Glicinia, Sete léguas, Jasmim de Madagascar, Hera.

Outra proposta que poderia ser abordada em novos trabalhos é a adição de outras espécies aos arranjos propostos nesta, bem como a adição de outros materiais que possuam as mesmas características sustentáveis à composição. Há também a possibilidade de ensaiar novas espécies em separado ou propondo associações entre elas. Gerando novos sistemas sustentáveis de absorção sonora.

Um alternativa distinta das demais consistiria em forrar os cachepôs interna e externamente com materiais que possuam maior coeficiente de absorção sonora para aumentar os coeficientes gerais. Ou projetar cachepôs com formatos e materiais distintos, para avaliar a sua participação específica na absorção sonora.

Utilizando os mesmos elementos, poder-se-ia ensaiar as duas plantas através do outro método presente na norma ISO 354/2003. Através do método do tubo de impedância, com o objetivo de analisar o comportamento de partes distintas das plantas, como os caules e as folhas do Buriti, bem como a bucha de Barba-de-pau e efetuar um comparativo aos resultados obtidos neste. Além das amostras in natura, poder-se-ia efetuar o ensaio das amostras molhadas, buscando entender a diferença de absorção das amostras vegetadas, contendo diversas concentrações de água.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A Sobreposição, Lacunas e Relações entre os Elementos da Competitividade E Sustentabilidade de Cidades. **Revista de Administração de Roraima-RARR**, Boa Vista, v. 4, n. 2, p.74-96, 2014.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10151. **Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas Visando o Conforto da Comunidade- Procedimento**. Rio de Janeiro. 2000. 11p.

ALBUQUERQUE, M.L.S.; GUEDES, I.; JÚNIOR, P. Alcantara; MOREIRA, S.G.C. Infrared absorption spectra of Buriti (*Mauritia flexuosa* L.) oil. **Vibrational Spectroscopy**, Science Direct. v. 33, p. 127-131. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.179: – ABNT – Tratamento acústico em recintos fechados. Procedimento**. Rio de Janeiro. 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.575: – ABNT – Edificações habitacionais — Desempenho – Rio de Janeiro**. 2013.

AYLOR, Donald. Sound Transmission through Vegetation in Relation to Leaf Area Density, Leaf Width, and Breadth of Canopy. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 51 n.1, parte 2, p.411-414.1971.

AYLOR, D. Noise reduction by vegetation and ground. **Journal of the Acoustical Society of America**, v.51, p.197-205.1972.

AYLOR, D. Sound transmission through vegetation in relation to leaf area density, leaf width and breadth of canopy. **Journal of the Acoustical Society of America**, v. 51, p.411-414.1972.

AZKORRA, Z.; PÉREZ, G.; COMA, J.; CABEZA, L.F.; BURES, S.; ÁLVARO, J.E.; ERKOREKA, A.; URRESTARAZU, M. Evaluation of green walls as a passive acoustic insulation system for buildings. **Applied Acoustics**, n. 89 p.46-56. 2015.

Barba-de-pau em sua apresentação comercial. Fonte: Site bicho brasileiro alimento vivo. Disponível em: < http://loja.tray.com.br/loja/produto-117413-1886-musgo_barba_de_pau_25_gr>. Acesso em: 26 mai. 2015.

Barba-de-pau em seu habitat nativo. Fonte: Site bolsa de mulher. Disponível em: <<http://www.bolsademulher.com/decoracao/planta-barba-de-velho>>. Acesso em: 26 mai. 2015.

BARBOSA, Gisele Silva. O Desafio do Desenvolvimento Sustentável. **Revista Visões**. 4. Ed., n.4, v. 1. 2008.

Barreira acústica convencional no Japão. Fonte: Site Japandish. Disponível em:<<http://www.japandish.com/2010/07/japan-expressway>>. Acesso em: 14 mai. 2015.

Barreira acústica convencional em rodovia. Fonte: Site da empresa Sonotec. Disponível em:<<http://www.sonotec-acustica.com.br/produtos.htm>>. Acesso em: 14 mai. 2015.

BERGLUND, Birgitta; LINDVALL, Thomas; SCHWELA, Dietrich H.(edit.). Organización Mundial de la Salud, Ginebra Cluster of Sustainable Development and Healthy Environment (SDE), Department of the Protection of the Human Environment (PHE), Occupational and Environment Health (OEH). **Guías Para el Ruido Urbano**. 1999.

BEZERRA, M. C. L.; BURSZTYN, M. (cood.). Ciência e Tecnologia para o desenvolvimento sustentável. **Brasília: Ministério do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis: Consórcio CDS/ UNB/ Abipti, 2000.**

BISTAFA, S. R. **Acústica Aplicada ao Controle do Ruído**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

BOUTIN, C; ROYER, P.; AURIAULT, J. L. Acoustic Absorption of Porous Surfacing With Dual Porosity. **Pergamon**. Elsevier Science Ltda. Great Britain. Int. J. Solids Structures. v. 35 nos 23-24, p. 3698-3626, 1998.

BRASIL. Lei n. 10257, de 10 de julho de 2001. Estatuto da Cidade. Presidência da República Federativa do Brasil - **Casa Civil**, Brasília, DF, 11 jul. 2001. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/110257.htm>. Acesso em: 22 jun.2015.

BRÜEL & KJAER. **Architectural acoustics**. 2. ed. USA: Brüel &Kjaer, 1978. 170p.

BRÜEL & KJAER. **Technical Documentation**. Hand-held Analyzers Types 2250 and 2270. User Manual. Denmark: Brüel & Kjaer Sound & Vibration Measurement A/S, 2015. 300 p.

BULLEN, R.; FRICKE, F. Sound propagation through vegetation,” **Journal of Sound and Vibration**, v.80, p.11-23.1982.

BURN, S. H. The absorption of sound by pine trees. **Journal of the Acoustical Society of America**, v.65, p.658-661.1979.

CARVALHO, R. P. **Acústica Arquitetônica**. 2. ed. – Brasília: Thesaurus, 2010.

Caule do Buriti adulto. Fonte: Site Flora digital do RS, capturada por Marcio Verdi. Disponível em: <<http://sites.unicentro.br/wp/manejoflorestal/8115-2/>>. Acesso em: 26 mai. 2015.

CHAIR, Kent D. Lewis. Physical Acoustics: Propagation and Scattering in Random and Anisotropic Media. **Journal of the Acoustical Society of America**, n.1, v.88, 1990.

CONAMA- CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (Brasil). Câmara Técnica de Assuntos Jurídicos. Resolução n. 01, de 8 de março de 1990. Dispõe sobre critérios de padrões de emissão de ruídos decorrentes de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas, inclusive as de propaganda política. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, Seção 1, p. 6408. 8 abr. 1990.

CONNELLY, Maureen; HODGSON, Murray. Sound transmission loss of green roofs. Thermal and acoustical performance of green roofs. **Sixth Annual Greening Rooftops for sustainable communities, conference, awards e trade show Baltimore, MD**. Session 1.5. 2008.

D’ALESSANDRO, Francesco; PISPOLA, Giulio. Sound absorption properties of sustainable fibrous materials in an enhanced reverberation room. Congress and Exposition on Noise Control Engineering 07-10 august 2005, Rio de Janeiro, Brazil. **Environmental Noise Control**, p. 1-10. 2005.

DANTAS, Ivan Coelho; SOUZA, Cinthia Maria Carlos. Arborização urbana na cidade de Campina Grande - PB: Inventário e suas espécies. **Revista De Biologia e Ciências da Terra**, v. 4, n.2, 2º Sem. 2004.

DING, Lei; RENTERGHEM, Timothy Van; BOTTELDOOREN, HOROSHENKOV, Dick Kirill; KHAN, Amir. Sound absorption of porous substrates covered by foliage: Experimental results and numerical predictions. **Journal Acoustical Society of America**, v. 134 (6), Pt. 2, p. 4599-4609. 2013.

EBADI, Ladan; SHAFRI, Helmi Z. M. A stable and accurate wavelet-based method for noise reduction from hyperspectral vegetation spectrum, **Springer-Verlag Berlin Heidelberg**, jun.2014. Disponível em:<<http://link.springer.com/search?query=A+stable+and+accurate+wavelet-based+method+for+noise+reduction+from+hyperspectral+vegetation+spectrum#page-1>>. Acesso em: 10 mai. 2015.

EMBLETON, T. F. W. Scattering by an array of cylinders as a function of surface impedance, **Journal of the Acoustical Society of America**, v. 40, p.667-670.1966.

EMBLETON, T. F. W. Sound propagation in homogeneous deciduous and evergreen woods. **Journal of the Acoustical Society of America**, v. 35, p.1119-1125.1963.

Equipamento utilizado para medir temperatura e umidade. Site Home made solar projects. Disponível em: <<http://homemadesolarprojects.com/shop/>>. Acessado em: 26 mai. 2015.

FERRAZ, Rafaela. **Atenuação De Ruído De Impacto Em Pisos de Edificações de Pavimentos Múltiplos.** 2008. 156 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas)-Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

FIEDLER, Paulo Eduardo Kirrian. **Poluição Sonora Nos Eixos Estruturais De Transporte Da Cidade De Curitiba, PR.** 2013. 167 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

FILETTO, Ferdinando; MACEDO, Renato Luiz Grisi. Desenvolvimento de indicadores de sustentabilidade para o Ecoturismo em Unidades de Conservação. **Revista Brasileira de Ecoturismo**, São Paulo, v.8, n.1, p.11-30. 2015.

FRAGOSO, José M. V.; HUFFMAN, Jean M. Seed-dispersal and seedling recruitment patterns by the last Neotropical megafaunal element in Amazonia, the tapir. **Journal of Tropical Ecology**, v. 16, Issue 03, p. 369-385. 2000.

FRICKE, F. Sound Attenuation in Forests. **Journal of Sound and Vibration**, v. 91, Issue 1, p.149-158. 1984.

Fruto do Buriti. Site do Laboratório de manejo florestal. Disponível em:<<http://casa.abril.com.br/materia/casapro-45-jardins-para-areas-internas-e-externas>>. Acesso em: 26 mai. 2015.

FUJIMOTO, B. Fluid Mechanics. **Revised edition**, Yokendo, Tokyo, p.45. 1965.

GAIDA, Claudia Rogeria. **Caracterização das condições acústicas de salas de aula destinadas ao ensino da música na educação básica**. Santa Maria: UFSM, 2012. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental)- Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

GOMES, L.R.P.; LOPES, M.T.G.; BENTES, J.L.S.; BARROS, W.S.; NETO, P.Q.C.; CONTIM, L.A.S. Genetic diversity in natural populations of Buriti (*Mauritia flexuosa* L. f.). **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, n.11, p.216-223, Brazilian Society of Plant Breeding. Printed in Brazil. 2011.

Guidelines on Design of Noise Barriers Noise Barriers Environmental. Environmental Protection Department. **Barriers Environmental Protection Department Highways Department Government of the Hong Kong SAR**, Highways Department. Second Issue, p.38. 2003.

HINZ, Roberta Tomasi Pires; VALENTINA, Luiz V. Dalla; FRANCO, Ana Claudia. Sustentabilidade ambiental das organizações através da produção mais limpa ou pela Avaliação do Ciclo de Vida. **Estudos tecnológicos**, v. 2, n.2, p.91-98, 2006.

HOGAN, D.J. Mobilidade populacional, sustentabilidade ambiental e vulnerabilidade social. **Revista Brasileira de Estudos de População**, São Paulo, v. 22, n. 2, p. 323-338, jul./dez. 2005.

HONG, Zhou; BO, Li; GUANGSU, Huang. Sound absorption behavior of multiporous hollow polymer micro-spheres. **Science Direct. Materials Letters**, n. 60, p. 3451-3456. 2006.

HOROSHENKOV Kirill V.; KHAN, Amir; BENKREIRA, Hadj. Acoustic properties of low growing plants. **Journal of the Acoustical Society of America** 133 (5), p. 2554-2565, 2013.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO 9613 - 1: 1993(E) – **Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors** - Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere,.1993.

_____. **ISO 9613**. Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors - Parte 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere. 1993.

_____. **ISO 354** – Acoustics – Measurement of sound absorption in a reverberation room, 2003.

JACOBI, Pedro. Educação Ambiental, Cidadania e Sustentabilidade. **Cadernos de Pesquisa**, n. 118, p. 189-205, 2003.

JÚNIOR, Olímpio de Melo Alvares. O desafio do Controle do Ruído em Rodovias. **Projeto de regulamentação para mitigação de ruídos nas margens de rodovias, conduzido pelo Grupo Técnico de Licenciamento e Fiscalização de Obras Rodoviárias da SMA-GTR com Suporte Técnico da CETESB**, do Plano Estadual de Controle da Poluição por Veículos em uso, PCPV. São Paulo. SP. p.4. 2000.

JIMÉNEZ, Antonio Moreno; SUÁREZ, Pedro Martínez. El ruido ambiental urbano en Madrid. Caracterización y evaluación cuantitativa de la población potencialmente afectable. Dpto. de Geografía. Universidad Autónoma de Madrid. **Boletín de la A.G.E**, n. 40, p. 153-179. Madrid. Espanha. 2005.

JOBIM, Marco Félix; JOBIM, Betânia Silva D'almeida. A responsabilidade civil dos fornecedores de produtos e serviços em eventos: uma análise de casos concretos. **Revista Jurídica**, v. 59, n. 404, p. 45. 2011.

KASHIMA, N.; TAMURA, A. Noise reduction by planting belts-Insertion loss by real belts. **The Journal of The Acoustical Society of Japan (J)**, v.47, p.729-737.1991.

KASHIMA, N.; TAMURA, A. Noise reduction by planting belts (2nd report)-Experiments with scale model planting composed of seedlings," **The Journal of The Acoustical Society of Japan (J)**, v.49, p.711-720.1993.

KRAUSE, C. B.; SANTOS, M. J.O.; NIEMEYER, M.L.; PORTO, M. M.; GOMES, A. M. R. C.; TEIXEIRA, K.C.; GOMES, J.C.P. **Apostila básica de conforto ambiental**. 2005. Disponível em: <<http://pt.slideshare.net/Jho05/apostila-basicaconfortoambiental>>. Acesso em: 10 mai. 2015.

KOOLEN, Hector H.F.; SILVA, Felipe M.A.; GOZZO, Fábio C.; SOUZA, Antonia Q.L.; SOUZA, Afonso D.L. Antioxidant, antimicrobial activities and characterization of phenolic compounds from buriti (*Mauritia flexuosa* L. f.) by UPLC-ESI-MS/MS. **Food Research International**, n.51, p.467-473, 2013. Disponível em:<<http://www.elsevier.com/locate/foodres>>. Acesso em: 10 mai 2015.

La Contaminación Acústica: La vegetación, la solución, del Colegio Retamar de Pozuelo de Alarcón. **Revista Escritura Pública**. Espanha. p.50-53. Disponível em:<http://www.notariado.org/liferay/c/document_library/get_file?folderId=12092&name=D_LFE-10521.pdf>. Acesso em: 10 mai. 2015.

LANDAU, L. D.; LIFSHITZ, E. M. **Fluid Mechanics**. Japanese edition Tokyo. Tosho, Tokyo, p.99. 1970.

LI, H.N.; CHAU, C.K.; TANG, S.K. Can surrounding greenery reduce noise annoyance at home? **Science of the Total Environment**, n.408, p.4376-4384, 2010.

LIVRO VERDE DA COMISSÃO EUROPEIA. Futura Política de Ruído, **Comissão das Comunidades Européias**, COM, (96), 1996.

LONG, M. **Architectural acoustics**. Londres: Elsevier Academic Press, 2006.

MADRID, Christian Matus. De la Blondie a Bellavista: dos aproximaciones a los rituales Del consumo juvenil nocturno. Centro de Investigación Sociedad y Políticas Públicas (CISPO). **Polis Revista Latinoamericana**, p 1-16. 2012.

MARCHIORI, José Newton Cardoso. O Buriti (*Trithrinax Brasiliensis* Mart.) na Obra de Antigos Cronistas do Rio Grande Do Sul. **Balduinia**. Santa Maria. RS. n. 46, p. 01-10, 30-VII-2014.

MARTENS, M. J. M. Foliage as a low-pass filter: Experiments with model forests in an anechoic chamber. **Journal of the Acoustical Society of America**, v.67, p.66-72.1980.

MARTENS, M. J. M.; MICHELSEN, A. Absorption of acoustic energy by plant leaves. **Journal of the Acoustical Society of America** 69 (1), p.303-306. 1981.

MORILLAS, J.M.B.; GÓMEZ, R.V.; ESCOBAR, V.G.; SIERRA, J.A.M.; VIDAL, C. T.; BUENO, L.A.; M., J.M.V. Presentación de una encuesta para la realización de estudios sociales sobre el impacto del ruido urbano. Este trabajo se enmarca en el proyecto IPR98A071, financiado por la Junta de Extremadura. Universidad de Extremadura - Escuela Politécnica. Departamento de Física. Departamento de Técnicas, Medios y Elementos de la Construcción. Av. de la Universidad, s/n. Cáceres. Espanha. **Revista de Acústica**. v. 33, n. 1 - 2, p. 27-33. 2002.

MUEHLEISEN, Ralph T. Measurement of the Acoustic Properties of Acoustic Absorbers. **Illinois Institute of Technology**. Illinois, Chicago.

NIERMANN, A. Measurement of sound absorption acc. to EN ISO 354 and air flow resistance acc. to EN 29053. Test Report nº M60 836/6. **Müller BBM**. p. 1-16. 2005.

PADIAL, ANA Molina. Taller sobre contaminación acústica y luminosa. Revista **Digital Innovación y Experiências Educativas**. Granada. Espanha. n. 21. 2009.

PAIXÃO, Dinara Xavier. **Caracterização do isolamento acústico de uma parede de alvenaria, utilizando análise estatística de energia(SEA)**. 2002.182 f. Tese. (Doutorado em engenharia de produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de produção. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC. 2002.

PAIXÃO, Dinara Xavier; GAIDA, Claudia; TAMIOSSO, Larissa. Caracterização acústica de espécies verdes através da determinação absorção sonora. **Euro-ELECS 2015** First Latin-American and European Conference on Sustainable Buildings and Communities. Guimarães, Portugal. 2015.

Palmeira Buriti adulta em seu habitat nativo. Site do Laboratório de manejo florestal. Disponível em: <<http://sites.unicentro.br/wp/manejoflorestal/8115-2/>>. Acesso em: 26 mai. 2015.

Palmeira Buriti nativa vista de baixo. Fonte: Site do Laboratório de manejo florestal Disponível em: <http://www.ufrgs.br/fitoecologia/florars/open_sp.php?img=2901>. Acesso em: 26 mai. 2015.

Parklet, na cidade de São Paulo. Site do Instituto Mobilidade Verde. Disponível em: <<https://institutomobilidadeverde.wordpress.com/>>. Acesso em: 14 mai. 2015.

PATHAK, Vinita; TRIPATHI, Brahma D.; MISHRA, Virendra Kumar. Dynamics of traffic noise in a tropical city Varanasi and its abatement through vegetation. **Environ Monit Assess. Springer Science**, n.146, p.67-75. 2008.

Plantas com finalidade estética, aplicada à uma parede em evento. Fonte: Site Adrea Rudge. Disponível em: <<http://www.andrearudge.com.br/2014/03/as-plantas-e-arranjos-lindos-da.html>>. Acesso em: 14 mai. 2015.

Plantas sendo descarregadas em evento. Site da Arbustus Paisagismo. Disponível em: <<http://www.organizandoeventos.com.br/arbustus>>. Acesso em: 14 mai. 2015.

PIMENTEL, C.E.; GUNTHER, H. Comportamento agressivo em shows musicais: analisando notícias de jornal impresso. **Arquivos Brasileiros de Psicologia**, Rio de Janeiro, 63(2), p.1-121. 2011.

PIOVESAN, Tenile Rieger. **Caracterização Acústica de Dois Sistemas Modulares de Telhados Verdes Brasileiros**. 2013. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

PRICE, Margaret A.; ATTENBOROUGH, Keith; HEAP, Nicholas W. Sound attenuation through trees: Measurements and models. **Journal of the Acoustical Society of America**, v. 84, n.5, p.1836-1844. 1988.

PRIETO, Luis Fernando Molina; GÓMEZ, Orlando Vargas. Gestión estratégica de la arborización urbana: beneficios ecológicos, ambientales y económicos a nivel local y global. **Revista Soluciones de Postgrado EIA**, n.9, p.39-61. Medellín, julio-diciembre de 2012.

RADICI, Camila; BURMANN, Lucas; AREND, Natan. Corredores Ecológicos. **Blog geração urbana**. Disponível em: < <https://geraurb.wordpress.com/2014/04/11/corredores-ecologicos/>>. Acesso em 10 mai.2015.

RENTERGHEM, Timothy Van; BOTTELDOOREN, Dick; HORNIKX, Maarten; Philippe Jean, DEFRANCE, Jerome; SMYRNOVA, Yuliya; KANG, Jian. Road traffic noise reduction by vegetated low noise barriers in urban streets. **EURONOISE Prague**. European Acoustics Association, n. 43-28, p. 43-50. 2012.

RENTERGHEM, Timothy Van; BOTTELDOOREN, Dick. In-situ measurements of sound propagating over extensive green roofs. **Building and Environment**. v. 46, p.729-738.2011.

RENTERGHEM, Timothy Van; BOTTELDOOREN, Dick. On the choice between walls and berms for road traffic noise shielding including wind effects. **Landscape and Urban Planning**, v. 105, p.199-210. 2012.

RENTERGHEM, Timothy Van ; FORSSÉN, Jens ; ATTENBOROUGH, Keith ; JEAN, Philippe; DEFRANCE, Jérôme ; HORNIKX, Maarten ; KANG, Jian. Using natural means to reduce surface transport noise during propagation outdoors. **Revista Applied Acoustics Science Direct**, v. 92, p. 86-101. 2015.

RENTERGHEM, T. V. Using natural means to reduce surface transport noise during propagation outdoors. **Applied Acoustics**. Journal homepage:www.elsevier.com/locate/apacoust, 2015.

RIO GRANDE DO SUL. Lei n. 11.520, de 3 de agosto de 2000. Código Estadual do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul. **Ministério Público do Estado do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, RS, 4 ago. 2000. Disponível em: < <http://www.mp.rs.gov.br/ambiente/legislacao/id628.htm>>. Acesso em: 22 jun. 2015.

ROSA, Roxaneh Khorsand; BARBOSA, Reinaldo Imbrozio; KOPTUR, Suzanne. How do habitat and climate variation affect phenology of the Amazonian palm, *Mauritia flexuosa*? **Journal of Tropical Ecology**, v. 29, Issue 03, p.255-259. 2013.

ROSSING, Thomas. Acoustics in Halls for Speech and Music. **Springer Handbook of Acoustics**. CCRMA. Part C., Chapter 9, 2 ed., p.301-350. 2014.

RUAS, Marta Sofia Gomes. **Concepção de uma linha de mobiliário com características acústicas**. 2013. 158 f. Dissertação (Mestrado em Design de Interiores)-Instituto Politécnico de Castelo Branco e à Faculdade de Belas-Artes da Universidade de Lisboa, Portugal, 2013.

SAMPAIO, Maurício Bonesso; SCHMIDT, Isabel Belloni; FIGUEIREDO, Isabel Benedetti. Harvesting Effects and Population Ecology of the Buriti Palm (*Mauritia flexuosa* L. f., Arecaceae) in the Jalapão Region, Central Brazil. **Economic Botany, by The New York Botanical Garden Press**, n.62, v.2, p. 171-18, Bronx, NY, U.S.A. 2008.

SEDDEQ, Hoda Soliman; ALY, Nermin M; MARWA, Ali; ELSHAKANKERY, MH. Investigation on sound absorption properties for recycled fibrous materials. **Journal of Industrial Textiles**. v.43, n.1, p.56-73.2013.

SILVA, Fábio Esteves. **ENERGIA, Meio Ambiente e Sustentabilidade: Proposta de Um Modelo Educacional para o Ensino Básico**. 2010. 254 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica)-Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, SP, 2010.

SILVA, G.C.C.; NUNES, M.A.A.; LOPES, R.V.; JÚNIOR, A.B.Almeida. Design and Construction of a low Cost Impedance Tube for sound absorption coefficients measurements. **22nd International Congress of Mechanical Engineering (COBEM 2013)**, Ribeirão Preto, SP, Brazil. 2013.

SMITH, Eric T.; SZYMANSKI, Jeff D.(Edit), PE. Practical Guidelines for Constructing Accurate Acoustical Spaces: Including Advice On The Proper Materials To Use, Version 3.0, **Auralex® Acoustics, Inc.** Indianapolis, USA. 2004.

Tabela de coeficientes de absorção sonora de materiais diversos. Apostila básica de conforto ambiental. FAU-UFRJ. Disponível em:< <http://pt.slideshare.net/Jho05/apostila-basicadeconfortoambiental>>. Acesso em: 14. mai. 2015.

TYAGI, Vikrant; KUMAR, Krishan; JAIN, Vinod Kumar. A study of the spectral characteristics of traffic noise attenuation by vegetation belts in Delhi. **Elsevier Applied Acoustics**, n. 67, p.926-935, 2006.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. EAC. Engenharia Acústica. UFSM. **Absorção sonora (ISO 354)**. Disponível em: <<http://www.eac.ufsm.br/ensaios/absorcao-sonora-iso-354>>. Acesso em: 10 mai. 2015.

Vista do corredor verde da rua Gonçalo de Carvalho, em Porto Alegre. Fonte: Blog Geração Urbana. Disponível em: <<https://geracaourbanapoa.wordpress.com/2014/04/11/corredores-ecologicos>>. Acesso em: 12 mai. 2015.

Vista do corredor verde da rua Marquês do Pombal, em Porto Alegre. Fonte: Blog Geração Urbana. Disponível em: <<https://geracaourbanapoa.wordpress.com/2014/04/11/corredores-ecologicos>>. Acesso em: 12 mai. 2015.

WATANABE, T.; YAMADA, S. Noise scattering by models of vegetation. **J. Acoust. Soc. Jpn.(J)**, v. 43, p.845-850.1987.

WATANABE, T.; YAMADA, S. Noise scattering by models of vegetation (2nd report)-Study on the phenomenon of insertion loss becoming negative. **The Journal of The Acoustical Society of Japan (J)**, v. 51, p.182-190.1995.

WATANABE, Toshio; YAMADA. Sound attenuation through absorption by vegetation. **Journal of the Acoustical Society of Japan (E)** v.17, n.4, p.175-182.1996.

WIESNER, D. Metodología para la definición de la estrategia de arborización. **Memorias del foro de arborización urbana**, Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá. 2000.

WIENER, F. M.; KEAST, D. N. Experimental study of the propagation of sound over ground. **Journal of the Acoustical Society of America**, v. 31, p. 724-733. 1959.

WHO. Guidelines for Community Noise, **Edited by Birgitta Berglund**, World Health, 1999. Disponível em <<http://whqlibdoc.who.int/hq/1999/a68672.pdf>> Acesso em: 22 jun. 2015.

WONG, N. H. et al. Acoustics evaluation of vertical greenery systems for building walls. **Building and Environment**, v. 45, p. 411-420, fev. 2010.

YAMADA, S.; WATANABE, T.; NAKAMURA, S.; YOKOYAMA, H.; TAKEOKA, S. Noise reduction by vegetation,” **Proc. Inter-Noise**, v.77, p.599-607.1977

YANG, Hong-Seok; KANG, Jian; CHEAL, Chris; RENTERGHEM, Timothy Van; BOTTELDOOREN, Dick. Quantifying scattered sound energy from a single tree by means of reverberation time. **Journal of the Acoustical Society of America**.(J.Acoust.Soc.Am.), n.134, v.1, p. 264-274. 2012.

ZIELINSKI, Tomasz G. Numerical investigation of active porous composites with enhanced acoustic absorption. Department of Intelligent Technologies, Institute of Fundamental Technological Research, Polish Academy of Sciences, ul. Pawinskiego 5B, 02-106. **Journal of Sound and Vibration**. Warszawa, Poland. 2010.

ZHOU, Guang-zhu; YANG, Feng-jie; WANG, Cui-zhen. Vegetation field spectrum denoising via lifting wavelet transform. **Journal Of Coal Science & Engineering**, v.14, n.1, p.131-135. CHINA. 2008.