



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

NATANAEL DIAS MONTEIRO

ROBERTA PIMENTEL LISBOA

**ANÁLISE DA ABSORÇÃO SONORA DE PAINÉIS EM DIFERENTES
GEOMETRIAS COM ACABAMENTO SUPERFICIAL PRODUZIDOS COM A
FIBRA DO CAROÇO DO AÇAÍ**

TUCURUÍ
2020

NATANAEL DIAS MONTEIRO

ROBERTA PIMENTEL LISBOA

**ANÁLISE DA ABSORÇÃO SONORA DE PAINÉIS EM DIFERENTES GEOMETRIAS COM
ACABAMENTO SUPERFICIAL PRODUZIDOS COM A FIBRA DO CAROÇO DO AÇAÍ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Engenharia
Civil, pela Universidade Federal do Pará.

Orientadora: Prof. Msc. Grazielle Tigre de Souza
Coorientador: Prof. Dr. Leopoldo Pacheco Bastos

NATANAEL DIAS MONTEIRO

ROBERTA PIMENTEL LISBOA

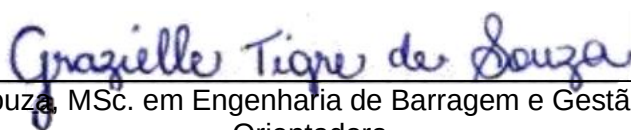
**ANÁLISE DA ABSORÇÃO SONORA DE PAINÉIS EM DIFERENTES GEOMETRIAS COM
ACABAMENTO SUPERFICIAL PRODUZIDOS COM A FIBRA DO CAROÇO DO AÇAÍ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Engenharia
Civil, na Faculdade de Engenharia Civil da
Universidade Federal do Pará.

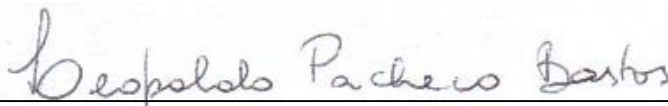
Orientadora: Prof. Msc. Grazielle Tigre de Souza
Coorientador: Prof. Dr. Leopoldo Pacheco Bastos

Tucuruí, 17 de fevereiro de 2020.

Aprovado por:



Grazielle Tigre de Souza, MSc. em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental (UFPA)
Orientadora



Leopoldo Pacheco Bastos, Dr. em Engenharia Mecânica (UFPA)
Coorientador



Marlon Braga dos Santos, MSc. em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental (UFPA)
Examinador Interno



Renato José Sousa Martins, Engenheiro Civil
Examinador Externo

FICHA CATALOGRÁFICA

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

M772a Monteiro, Natanael Dias
Análise da absorção sonora de painéis em diferentes
geomterias com acabamento superficial produzidos com a
fibra do caroço do açaí / Natanael Dias Monteiro, Roberta
Pimentel Lisboa . — 2020.
xvii, 91 f. : il. color.

Orientador(a): Profª. MSc. Grazielle Tigre de Souza
Coorientador(a): Prof. Dr. Leopoldo Pacheco Bastos
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -
Faculdade de Engenharia Civil, Campus Universitário de
Tucuruí, Universidade Federal do Pará, Tucuruí, 2020.

1. Fibras do caroço do açaí. 2. Painel acústico. 3.
Geometria. 4. Revestimento interno. I. Título.

CDD 620.23

“Nem tão longe que eu não possa ver
Nem tão perto que eu possa tocar
Nem tão longe que eu não possa crer que um dia chego lá
Nem tão perto que eu possa acreditar que o dia já chegou.”

Engenheiros do Hawaii – A Montanha

DEDICATÓRIA

À Deus, por nunca nos abandonar, mesmo nos momentos difíceis e aos nossos pais, pelo apoio e incentivo que sempre nos deram.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de poder citar algumas pessoas que compartilharam desse sonho, e agradecer pelos conselhos, a primeira delas é minha mãe: Maria do Socorro, que é a pessoa em quem eu mais confio e tenho gratidão por fazer parte de tudo isso, com toda certeza nada disso teria sentido ou chegaria a conclusão sem essa pessoa maravilhosa. Aos meus irmãos, Ruanderson e Raira, que sempre estiveram em meus pensamentos, muito obrigado pelos conselhos e incentivos a continuar os estudos e parar um tempo da minha vida pra dedicar a isso, agora nossa família está um pouco maior e eu não podia deixar de citar os meus sobrinhos, é revigorante estar entre vocês. Ao meu pai, Alexandre, que fez muito por mim mesmo estando longe também, obrigado por acreditarem que eu chegaria até essa etapa e depositarem sua confiança em mim, amo vocês e nunca vou esquecer o que fizeram por mim.

Minha amiga e parceira de TCC: Roberta, posso dizer que você é uma das pessoas mais maravilhosas que já conheci e sempre vou ser grato por fazer parte disso, tenho muita admiração e respeito por você e sua família. Aos técnicos do laboratório e aos monitores que sempre estiveram ajudando nas etapas deste trabalho, muito obrigado pelas orientações e esclarecimentos nos Laboratórios de Mecânica e Civil.

A todos os companheiros de sala, muitos de vocês não sabem os momentos difíceis que passei internamente e só por estar ali fizeram com que eu me sentisse melhor. E fizeram muito mais do que estar presente, dividiram o lar, pratos de comida, carona, me deram abrigo em muitas noites viradas em disciplinas que nós conseguimos vencer. Não poderia deixar de citar o meu amigo Leonel que compartilhou suas experiências profissionais e me ajudou muito na minha vida dentro e fora de sala, você foi uma pessoa fundamental durante esses 5 anos de curso, meu muito obrigado. Ao Kaio, José e Cairo, esse grupo que se entende muito bem e sempre muito produtivo, foi muito bom ver a evolução de vocês no decorrer desses anos, obrigado por fazerem parte disso, levo vocês nos pensamentos e sei que nossa amizade vai durar muitos anos. Não poderia deixar de citar também minhas amigas de sala, Isabelle, Brenda e Izabella, companheiras e amigas que amo muito e que guardo a amizade de vocês, obrigado pelos momentos que passamos juntos e por tudo que fizeram por mim durante esse tempo. Aos orientadores: Grazi e Leopoldo, muito obrigado por serem os mentores do TCC.

A Tia Marilda, uma pessoa de coração grande que considero como uma segunda mãe aqui nessa cidade, muito obrigado por compartilhar uma parte da sua vida, você foi uma pessoa essencial em muitas fases da minha vida e momentos de dificuldade, tenho total gratidão pela sua família, guardo cada um de vocês em minhas memórias e não conseguiria de forma alguma retribuir o que já fizeram por mim, sou muito grato pela vida de vocês.

A todas as pessoas com quem já dividi um lar (que não foram poucas): Túlio, Jhonathan, Jacy, Tatá, Álvaro, Glauber, Kaio, Alexsandra, Renato, Thamy e Meriely. Tenho total gratidão por vocês, em especial a República na Furnas, foi o lar que me acolheu de uma forma que eu nem consigo explicar tamanha gratidão por poder fazer parte desse lugar e dividir esses momentos da vida de vocês, só tenho coisas positivas e admiração por vocês.

Aos meus amigos e amigas que frequentam minha casa, que não são poucos, tenho total gratidão pela amizade e companhia frequentemente, obrigado por compartilhar esses momentos, espero poder visita-los e compartilhar novos momentos também.

Aos meus camaradas de luta do PCdoB na cidade de Tucuruí, obrigado por tudo que vocês já fizeram por mim e pelos conselhos e incentivos que abrem mentes e desperta a responsabilidade para o coletivo, de que não estamos sozinhos na luta pela igualdade, obrigado por compartilhar esse sonho de um lugar melhor pra todos.

Natanael Dias Monteiro.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, à Deus por ter me guiado até aqui e não ter me deixado desistir nos momentos em que pensei que não seria possível continuar. Aos meus pais, Udecilda e Fernando Lisbôa, por todo sacrifício que fizeram em suas vidas para que hoje eu estivesse onde estou, pela educação e incentivo ao estudo que sempre me deram. À minha irmã, Fernanda, que sempre acreditou e cuidou de mim, mesmo de longe. Eu amo vocês.

Ao meu parceiro de TCC e amigo, Natan. Por ter me permitido fazer parte desse momento junto dele e pela pessoa que és. Eu realmente não poderia ter um parceiro com maior sintonia. Tenho muita admiração por ti e se não fosse você, esse TCC não teria sido concluído, obrigada.

Ao meu grupo de estudos, trabalhos, projetos, rolês e de qualquer outra coisa, pelo suporte e por fazerem os dias ruins, que foram muitos rs, se tornarem melhores. Sem vocês, Brenda, Izabella (e seus pais, Odair e Izabel, que foram anjos durante toda a graduação) e Isabelle, a faculdade teria sido impossível de ser concluída. Indo além, a bióloga mais engenheira, Mainara, por sua parceria. Sei que nossa amizade se perdurará por longos anos, amo vocês.

Aos meus colegas de curso – Marcos, José Neto e Kaio. Que ao longo desses cinco anos, se tornaram meus amigos. Marcos, agradeço por todas as conversas cabeça e as fúteis que tivemos e ainda temos, mesmo você nos deixando; por todas as caronas dadas pelo meu amigo J Neto e por sempre receber apoio de sua parte quando preciso; ao Kaio pela sua parceria durante a faculdade e por até hoje, nunca ter desistido de me ensinar a dançar rs.

À professora Grazielle e ao professor Leopoldo, que aceitaram ser orientadores desta pesquisa, obrigada pela ajuda na construção do tema, pelo conhecimento compartilhado e pela dedicação que tiveram conosco. E ainda, ao professor Wassim, por seu auxílio na etapa final da pesquisa e durante todo o curso.

Aos meus amigos do P&P, que apesar de não estudarem comigo, fizeram da graduação algo mais divertido, compartilhando ótimos momentos e trazendo leveza à minha vida. Em especial, Duda e Wesley, obrigada pelos puxões de orelha e por me incentivarem a terminar esse TCC, vocês foram imprescindíveis na minha vida desde que nos conhecemos.

Às minhas amigas de mais longa data, Ádria e Yngrid, que mesmo distante não deixaram de me apoiar e me fortalecer durante todo o curso e, principalmente, no período de TCC. Obrigada pela amizade, que seja pra sempre!

Ao corpo técnico, que tornou essa pesquisa real. Francirene, Riquelme, Mateus, Pablo e Victor, obrigada pelo tempo dedicado a nos ajudar nos laboratórios, vocês foram de suma importância para a conclusão deste trabalho.

À minha segunda família na UFPA, a Esquadro, que me trouxe além de experiência e desenvolvimento pessoal, pessoas que se tornaram mais que colegas de equipe, amigos. A todos que participaram deste projeto incrível desde sua fundação em 2017, obrigada pela troca de conhecimento.

À minha terceira família na UFPA, a Atlético Predadores. Obrigada pelos momentos de convívio, de lazer e aprendizado que tive durante os anos em que estive presente. Por fim, obrigada a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para conclusão desta etapa.

Roberta Pimentel Lisbôa.

RESUMO

O setor da construção civil, apesar de colaborar para a degradação ambiental quanto a geração de resíduos e utilização em larga escala dos recursos naturais não renováveis, também é responsável pela inclusão de produtos ecológicos produzidos a partir de resíduos na área. A partir dessa preocupação, a utilização de fibras vegetais se tornou frequente, uma vez que as fibras são biodegradáveis e de fácil acesso. Suas características fizeram com que seu uso fosse aplicado em painéis acústicos com o intuito de controle de ruídos em ambientes fechados. No estado do Pará, uma das fibras frequentemente encontradas devido seu alto consumo e produção, é a fibra do caroço do açaí. Devido sua abundância, o presente estudo teve como objetivo utilizar a fibra do caroço do açaí como matéria-prima na produção de painéis acústicos para avaliar seu desempenho acústico em diferentes geometrias. Dessa maneira, os painéis foram produzidos e passaram por caracterização de suas propriedades biológica, física e sensorial e, ainda, quanto à sua aderência no revestimento interno. Em seguida, os painéis passaram por aplicação de acabamento superficial a fim de aperfeiçoá-los quanto à estética e ainda, realizar a comparação entre os painéis com diferentes geometrias e variação do acabamento superficial quando atestada sua caracterização acústica através da câmara reverberante. Os resultados obtidos através da pesquisa atestaram a utilização da fibra do caroço do açaí na produção de painéis acústicos, de forma que as propriedades biológica, física e sensorial do painel alcançaram resultados satisfatórios para uso em ambientes internos, assim como sua avaliação quanto à aderência em revestimentos internos. Em relação à propriedade acústica, os painéis de ambas as geometrias e com diferentes acabamentos superficiais atingiram resultados satisfatórios, apesar dos painéis de geometria quadrada obterem desempenho superior ao painel de geometria circular. Assim, com base nos resultados da pesquisa é possível atestar a eficiência dos painéis acústicos produzidos com fibra do açaí como controlador de ruído de ambientes internos, utilizando diferentes geometrias e variações no acabamento superficial.

Palavras-chave: Fibras do caroço do açaí. Painel acústico. Geometria. Revestimento interno.

ABSTRACT

The civil construction sector, despite contributing to environmental degradation in terms of residue generation and large-scale use of non-renewable natural resources, is also responsible for the inclusion of ecological products produced from residue in construction. From this concern, the use of vegetable fibers has become frequent, since the fibers are biodegradable and easily accessible. Its characteristics meant that its use was applied to acoustic panels in order to control noise in closed environments. In the state of Pará, one of the fibers frequently found due to its high consumption and production, is the fiber from the açai core. Due to its abundance, the present study aimed to use açai seed fiber as a raw material in the production of acoustic panels to evaluate its acoustic performance in different geometries. In this way, the panels were produced and underwent characterization of their biological, physical and sensory properties, as well as their adhesion to the internal lining. Then, the panels went through the application of surface finish in order to improve them in terms of aesthetics and also perform the comparison between the panels with different geometries and variation of the surface finish when their acoustic characterization through the reverberating chamber is attested. The results obtained through the research attested to the use of fiber from the açai core in the production of acoustic panels, so that the biological, physical and sensory properties of the panel achieved satisfactory results for use in indoor ambiances, as well as its assessment of adherence in internal coatings. Regarding the acoustic properties of the panels, the panels of both geometries and with different surface finishes achieved satisfactory results, despite the square geometry panels obtaining superior performance to the circular geometry panel. Thus, based on the results of the research, it is possible to attest the efficiency of acoustic panels produced with açai fiber as a noise controller for indoor ambiances, using different geometries and variations in surface finish.

Keywords: Açai's seed fiber. Acoustic panel. Geometry. Internal coating.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ramificação dos frutos do açaí	31
Figura 2 – Classificação das fibras.....	38
Figura 3 – Classificação das fibras lignocelulósicas.....	39
Figura 4 – Painéis confeccionados a partir da fibra de coco.	41
Figura 5 – Painéis multicamadas unifibra: de açaí (1), dendê (2), coco (3) e sisal (4).	42
Figura 6 – Ecopainéis de fibras naturais.	43
Figura 7 – Painéis acústicos.....	44
Figura 8 – Painéis acústicos da Baux: (a) mix de geometrias; (b) painéis losangulares; (c) painéis hexagonais e; (d) painéis circulares.....	45
Figura 9 – Esquema metodológico do estudo.	48
Figura 10 – Fibra do caroço do açaí.....	49
Figura 11 – Siq Látex Pré-Vulcanizado.	50
Figura 12 – Fita Dupla-Face Espumada SQ-3969.	51
Figura 13 – Tinta Veloz Destack.	51
Figura 14 – Fibra do caroço do açaí durante ensaio de dimensão.....	52
Figura 15 – Picnômetro com a fibra e etanol.....	53
Figura 16 – Pesagem das fibras em balança de precisão.....	54
Figura 17 – Preparação para o ensaio de tração: (a) dimensões do molde; (b) fibra posicionada no molde.	55
Figura 18 – Fibra durante ensaio de tração.....	56
Figura 19 – Fibras espalhadas no molde.	56
Figura 20 – Equipamentos utilizados para produção de painéis acústicos: (a) compressor e (b) pistola.	57
Figura 21 – Painel durante processo de aplicação do aglomerante.....	57
Figura 22 – Representação das camadas do painel acústico.	57
Figura 23 – Painel após secagem e desmolde.....	58
Figura 24 – Amostra dos painéis acústicos: (a) quadrado; (b) redondo.	58
Figura 25 – Painéis em processo de pintura.	59
Figura 26 – Amostra armazenada para realização do ensaio olfativo.....	60
Figura 27 – Corpos de prova acondicionados para ensaio olfativo.	60
Figura 28 – Amostra do painel acústico durante ensaio de envelhecimento.....	61
Figura 29 – Amostra do painel acústico durante ensaio de fungamento.....	62
Figura 30 – Painéis em processo de ensaio de aderência: (a) painéis quadrados e (b) painéis redondos.	63
Figura 31 – Câmara reverberante: (a) e (b) parte externo; (c) e (d) parte interna.	65
Figura 32 – Arranjos com a fonte sonora no primeiro ponto.	66
Figura 33 – Arranjos com a fonte sonora no segundo ponto.....	66
Figura 34 – Painéis após ensaio de envelhecimento.	73
Figura 35 – Painel após ensaio de fungamento.	74
Figura 36 – Painéis após ensaio de aderência: (a) painéis circulares e (b) painéis quadrados.	74
Figura 37 – Amostras posicionadas na câmara reverberante sem coloração.....	76
Figura 38 – Amostras posicionadas na câmara reverberante com coloração.....	76

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Quantidade de açaí produzida no Pará entre 2009 - 2018.	32
Gráfico 2 – Produção de açaí no Pará em 2016.	32
Gráfico 3 – Coeficiente de absorção sonora das amostras sem coloração.....	77
Gráfico 4 – Coeficiente de absorção sonora das amostras com coloração.....	78
Gráfico 5 – Coeficiente de absorção sonora das amostras circulares sem coloração e com coloração.	79
Gráfico 6 – Coeficiente de absorção sonora das amostras quadrangulares sem coloração e com coloração.....	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Volume total de resíduos sólidos coletados.	27
Tabela 2 – Destino final dos resíduos sólidos, por unidades de destino dos resíduos, Brasil - 1989/2008.	27
Tabela 3 – Composição química e valor nutricional do açaí	33
Tabela 4 – Equipamentos utilizados para caracterização acústica.	67
Tabela 5 – Comprimentos médios da fibra do caroço do açaí.	68
Tabela 6 – Densidades da fibra do caroço do açaí.	69
Tabela 7 – Absorção de água da fibra do caroço do açaí.	70
Tabela 8 – Resistência a tração das fibras do caroço do açaí.	71
Tabela 9 – Resultado das amostras quanto ao ensaio olfativo.	72
Tabela 10 – Medições realizadas na câmara reverberante.....	76
Tabela 11 – Coeficiente de absorção sonora das amostras.	77

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
CNUMAD	Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento
DIN	Deutsches Institut für Normung
EEA	European Environment Agency
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ISO	International Organization for Standardization
LABEM	Laboratório de Engenharia Mecânica
LEC	Laboratório de Engenharia Civil
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NCA	Nível de Critério de Avaliação
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PNSB	Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
SESAN	Secretaria de Saneamento do Município de Belém
UFPA	Universidade Federal do Pará
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro

LISTA DE SÍMBOLOS

A	área
A_a	absorção sonora
Abs	absorção em porcentagem
c	velocidade do som no meio
D	diâmetro
G	gramatura
L	comprimento
L_c	nível de pressão sonora corrigido
L/D	razão de aspecto
m	massa
m_i	massa seca inicial
m_f	massa após imersão em água
P_s	peso seco da amostra
P_u	peso inicial da amostra
S	área superficial
S_a	sabines
T	temperatura
U	porcentagem da água retida
V	volume
V_{etanol}	volume do etanol
V_{fibra}	volume de fibra
V_{pic}	volume do picnômetro
α	coeficiente de absorção sonora
μ	densidade
ρ_{etanol}	densidade do etanol
ρ_{fibra}	densidade da fibra
$\bar{t}_1$	tempo de reverberação médio da câmara sem a amostra em seu interior
$\bar{t}_2$	tempo de reverberação médio da câmara com a amostra em seu interior

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	OBJETIVOS	19
1.1.1	Objetivo geral.....	19
1.1.2	Objetivos específicos.....	20
1.2	JUSTIFICATIVA	20
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	22
2	REFERENCIAL TEÓRICO	23
2.1	SUSTENTABILIDADE.....	23
2.1.1	Desenvolvimento sustentável	24
2.2	RESÍDUOS SÓLIDOS.....	24
2.2.1	Gestão de resíduos	26
2.2.2	Política Nacional de Resíduos Sólidos	28
2.2.3	Resíduos orgânicos	29
2.3	AÇAÍ.....	31
2.3.1	Aspecto histórico	32
2.3.2	Composição química	33
2.3.3	Caracterização geral do açaí	34
2.3.4	Fisiologia da semente.....	36
2.4	FIBRAS	36
2.4.1	Tipos e classificação.....	37
2.4.2	Fibras lignocelulósicas.....	38
2.4.3	Utilização da fibra do caroço do açaí.....	40
2.5	PAINÉIS SUSTENTÁVEIS.....	41
2.6	PAINÉIS ACÚSTICOS	43
2.6.1.1	<i>Conforto acústico</i>	<i>45</i>
2.6.1.2	<i>Absorção sonora</i>	<i>46</i>
3	PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	48
3.1	MATERIAIS.....	49
3.1.1	Fibra do caroço do açaí	49
3.1.2	Aglomerante	50
3.1.3	Fita adesiva dupla face	50
3.1.4	Tinta PVA	51
3.2	MÉTODOS	52

3.2.1	Caracterização da fibra do caroço do açaí	52
3.2.1.1	<i>Ensaio de determinação das dimensões</i>	52
3.2.1.2	<i>Ensaio de determinação da densidade</i>	52
3.2.1.3	<i>Ensaio de determinação da absorção de água</i>	54
3.2.1.4	<i>Resistência a tração</i>	55
3.2.2	Produção dos painéis	56
3.2.3	Propriedades do painel acústico.....	59
3.2.3.1	<i>Ensaio para determinação do odor</i>	59
3.2.3.2	<i>Ensaio para determinação do envelhecimento</i>	61
3.2.3.3	<i>Ensaio para determinação do fungamento</i>	62
3.2.3.4	<i>Aderência</i>	62
3.2.4	Caracterização Acústica	63
3.2.4.1	<i>Coeficiente de absorção sonora</i>	64
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	68
4.1	CARACTERIZAÇÃO DAS FIBRAS DO AÇAÍ	68
4.1.1	Dimensões.....	68
4.1.2	Densidade	68
4.1.3	Absorção da água.....	69
4.1.4	Resistência a tração	70
4.2	PROPRIEDADES DO PAINEL ACÚSTICO	71
4.2.1	Olfativo	71
4.2.2	Envelhecimento	72
4.2.3	Fungamento	73
4.2.4	Aderência	74
4.3	COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA	75
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	80
5.1	CONCLUSÕES	80
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	81
	REFERÊNCIAS	82

1 INTRODUÇÃO

Segundo Ferri *et al.* (2012), o meio ambiente em que vivemos sempre foi considerado, pela sociedade, como fonte inesgotável de recursos naturais. Esse julgamento trouxe consequências negativas para o meio ambiente, fazendo com que ocorresse a disseminação da poluição ambiental e a depredação do meio ambiente.

Ao decorrer dos anos, a preocupação da sociedade tem crescido acerca da questão ambiental. Segundo Teixeira e Cesar (2005), a crescente necessidade da preservação ambiental tem levado ao uso de novas tecnologias que utilizam os recursos naturais de maneira mais econômica e menos destruidora.

A preocupação da sociedade em relação à questão ambiental fez com que as empresas sentissem a necessidade de criar produtos que fossem ecologicamente corretos e não agredissem o meio ambiente. Conforme Bertolini *et al.* (2012), o principal motivo das empresas se preocuparem com a questão ambiental está relacionada ao mercado, pois influi diretamente na sobrevivência da empresa podendo ser utilizada como vantagem e competitividade no meio.

O setor da construção civil se destaca pelo desperdício de material e recursos naturais e pela geração de resíduos, entretanto, o mesmo tem buscado fomentar a utilização de resíduos nos produtos utilizados no setor, a fim de baratear os materiais, diminuir o impacto gerado pelas construções e conter a utilização de recursos naturais (MENEZES *et al.*, 2009).

Nesse sentido, as fibras vegetais tem sido amplamente empregadas nos materiais de construção civil, principalmente, como reforço de compósitos. A utilização das fibras vegetais tem como vantagens serem provenientes de fonte renovável, além da sua abundância na região, seu baixo custo e alto índice de biodegradabilidade (CUNHA, 2012).

Devido suas características acústicas, as fibras vegetais vêm sendo utilizadas em pesquisas como a de Vieira (2008) e Bastos (2009) para a confecção de novos produtos utilizando como matéria prima as fibras encontradas abundantemente na região como coco, açai, sisal e dendê para controle de ruídos. Seus resultados foram considerados

satisfatórios quando comparados aos produtos já presentes no mercado provenientes, principalmente, de rocha.

Além das suas propriedades acústicas quando empregadas objetivando a melhora da absorção sonora de um local, atuando a favor do controle de ruído, a utilização de fibras vegetais em painéis possui como atrativo a possibilidade de contribuir para o design da área em que os mesmos são aplicados (MARROQUIM, 1994).

A fibra do caroço do açaí é uma das mais populares no estado do Pará devido sua produção em larga escala. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no ano de 2018 foram produzidos no Brasil 221.646 toneladas do fruto, sendo que o estado do Pará foi o responsável por 95% da produção nacional, atingindo o valor de 147.730 toneladas neste ano.

Apesar de a fibra do caroço do açaí ser considerado um material lignocelulósico, estes resíduos muitas vezes são dispostos de maneira inadequada no meio ambiente, tornando-se poluentes quando descarregados às margens de mananciais, sendo responsáveis pela redução das taxas de oxigênio dissolvido na água e pela eutrofização (LIMA JUNIOR, 2007; MARANHO, *et al.*, 2012; MARTINS, *et al.*, 2009; GEHLEN, 2014).

Dessa forma, objetivando solucionar o problema do descarte inadequado para os resíduos gerados da extração da polpa do açaí e, propor a criação de um produto fabricado através de material ecologicamente correto, este trabalho aborda a utilização das fibras do caroço do açaí como matéria prima para a produção de painéis acústicos, a fim de analisar sua aplicação no revestimento interno e verificando a absorção sonora do material, comparando os resultados quando sua geometria é modificada, além de avaliar variação do acabamento superficial.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar a viabilidade técnica da produção de painéis acústicos fabricados com a utilização da fibra do caroço açaí para aplicação em revestimentos internos.

1.1.2 Objetivos específicos

- Produzir painéis acústicos em diferentes geometrias com a fibra do caroço do açaí;
- Avaliar as propriedades sensoriais, biológicas e acústicas dos painéis confeccionados;
- Avaliar tecnicamente o emprego dos painéis enquanto materiais para controle de ruído em ambientes internos;
- Avaliar a influência do acabamento superficial empregado sobre o desempenho acústico dos painéis.

1.2 JUSTIFICATIVA

O Estado do Pará, de acordo com o IBGE (2019), é o responsável pela maior produção de açaí do país, assim como, pelo seu consumo. Costumeiramente, os paraenses consomem a polpa do açaí, extraído do fruto, gerando assim, resíduo através do caroço e da fibra do açaí.

São produzidos diariamente na capital do estado, Belém, e seus distritos em torno de 350 toneladas de resíduo, segundo a Secretaria de Saneamento Municipal de Belém (SESAN). Apesar da intensa geração de resíduos após a extração da polpa, não há políticas públicas nas cidades paraenses, visando o controle do descarte inadequado.

Nesse sentido, tem-se a preocupação com os resíduos gerados a partir do consumo de açaí, uma vez que sua utilização em diversas áreas após o beneficiamento da fruta é comprovada pelos autores a seguir.

Segundo Tinoco (2005), o caroço corresponde a 85% do peso total, do qual a borra é utilizada na produção de cosméticos; as fibras em móveis, placas acústicas, xaxim, compensados, indústria automobilística, entre outros; os caroços limpos na industrialização de produtos A4, como na torrefação de café, panificação, extração de óleo comestível, fitoterápicos e ração animal, além de uso na geração de vapor, carvão vegetal e adubo orgânico.

Como já posto anteriormente, a utilização do fruto é vasta e, por isso, sua aplicação na construção civil é conveniente, uma vez que este é um dos setores com maior potencial de aproveitamento de resíduos, devido sua ampla atuação, grande diversidade de matérias primas utilizadas e a escassez de matérias primas tradicionais (PAIVA, 2007).

De acordo Campos (2012), a indústria da construção civil tem realizado diversos feitos para intensificar a utilização de matérias primas fibrosas em produtos inovadores que possam contribuir para o desenvolvimento sustentável. Devido a esse incentivo da indústria, o surgimento de materiais alternativos para produção de diferentes produtos está presente na atualidade e, alguns destes no meio acústico.

A utilização de fibras naturais em diversos contextos, segundo Vieira (2008), é resultado das favoráveis condições climáticas brasileiras, que possui ainda, solos férteis e abundantes, permitindo a existência de uma flora extensa e variada de espécies vegetais, em consequência disso, são extraídos produtos e subprodutos das mesmas.

Sua característica de absorção é convenientemente utilizada na produção de painéis acústicos, uma vez que, para se controlar ruídos é de extrema importância a utilização de materiais que absorvam a energia sonora (BASTOS, 2009; NUNES, 2001; TARNOW, 1996). Os materiais considerados bons absorvedores são, principalmente, os materiais fibrosos e porosos, leves e que apresentem melhor estrutura de espaços vazios (BASTOS, 2009; TEODORO, 2005).

Quanto aos tratamentos acústicos, as fibras vegetais podem ser utilizadas como matéria prima na produção de painéis e mantas, cujo objetivo é o controle de ruídos de recintos, sendo empregados como revestimento interno das paredes do ambiente, proporcionando maior conforto acústico (BASTOS, 2009; MAFRA 2004).

Neste contexto, a presente pesquisa propõe o aproveitamento da fibra do caroço do açaí, como material alternativo, para confecção de painéis acústicos, com o intuito de desenvolver uma solução eficiente para este resíduo em abundancia com a necessidade urgente de viabilizar uma destinação adequada e atribuir a este material valor agregado, buscando, portanto uma alternativa sustentável, economicamente viável e com desempenho satisfatório.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente estudo está disposto em cinco tópicos, sendo estes:

Tópico 1 – refere-se acerca do tema abordado na pesquisa através da **Introdução**, apresentado as problemáticas e **Justificativas** da necessidade da pesquisa, bem como os **Objetivos** a serem atingidos por esta.

Tópico 2 – permite, através do **Referencial teórico**, compreender a respeito do tema analisado, a partir de aspecto histórico, dados estatísticos e informações em geral sobre o material estudado.

Tópico 3 – **Programa experimental**: expõe a metodologia, materiais e equipamentos necessários para elaboração da pesquisa, assim como as etapas detalhadas deste estudo, destacando os processos de produção e caracterização do painel acústico fabricado a partir da fibra do caroço do açaí.

Tópico 4 – **Resultados e discussão**: fornece as informações adquiridas através do programa experimental realizado anteriormente, compreendendo a caracterização acústica do painel através da análise de suas propriedades.

Tópico 5 – **Conclusões e sugestões para trabalhos futuros**: apresenta as principais conclusões através dos resultados, além de recomendar sugestões para futuras pesquisas na área estudada a fim de preencher as lacunas encontradas no estudo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 SUSTENTABILIDADE

Segundo Lindsey (2011), na literatura existe uma vasta diversidade de conceitos, relacionada, de forma predominante, com o desenvolvimento sustentável. Entretanto, os termos sustentável, sustentabilidade e desenvolvimento sustentável, embora muito utilizados na literatura científica, no setor privado e nas políticas públicas, ainda não possuem um consenso em termos de conceito (FEIL e SCHREIBER, 2017).

Apesar da ausência de consenso sobre o conceito destes termos, existe a aceitação geral em relação à busca do equilíbrio entre as necessidades do ser humano e o meio ambiente, e em entender suas complexas dinâmicas de interação, para aprofundar e ampliar seu significado (BARBOSA, DRACH e CORBELLA, 2014).

Outro aspecto de consenso sobre os termos é que representam algo positivo e bom (BAÑON GOMIS et al., 2011). Apesar da aceitação global da ideia de sustentabilidade, uma gama de estudiosos contesta a abrangência do conceito e esforça-se em preencher lacunas para evitar interpretações enganosas (MAZLOOMI e HASSAN, 2008).

A interpretação desse termo é considerada inconsistente e com elevado grau de ambiguidade e apresenta, ainda, uma incompreensão dos problemas relacionados a pobreza, degradação ambiental e papel do crescimento econômico (MORI e CHRISTODOULOU, 2012; SLIMANE, 2012).

A sustentabilidade é um processo que deve ser estabelecido em longo prazo, pois é fato que para haver um desenvolvimento sustentável é necessário trocar o atual modelo de desenvolvimento, ou seja, deve-se desenvolver, mas considerando o pleno desenvolvimento, dos seres humanos, dos animais, das plantas, de todo o planeta Terra (ROOS e BECKER, 2012).

2.1.1 Desenvolvimento sustentável

Conforme Rabelo (2008), o termo desenvolvimento sustentável surgiu das muitas reflexões sobre a sociedade e sua possibilidade de colapso investigadas a partir de estudos científicos e divulgadas nos diversos encontros internacionais na década de 1970.

O conceito de desenvolvimento sustentável só tomou força após sua repercussão através da Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD), realizada em 1992 no Rio de Janeiro (BARBIERI *et al.*, 2010).

Após a Rio-92, a sociedade em geral e as empresas em particular, passaram a compreender a necessidade de implementar uma nova visão de desenvolvimento econômico, algo que pudesse garantir a produção de bens e serviços e, ao mesmo tempo, atender às necessidades básicas do ser humano e preservar o meio ambiente (NASCIMENTO, 2012).

A realidade atual exige uma reflexão cada vez menos linear, e isto se produz na interrelação dos saberes e das práticas coletivas que criam identidades e valores comuns e ações solidárias diante da reapropriação da natureza. A preocupação com o desenvolvimento sustentável representa a possibilidade de garantir mudanças sociopolíticas que não comprometam os sistemas ecológicos e sociais que sustentam as comunidades (JACOBI, 2003).

Segundo Nascimento (2012), o desenvolvimento sustentável trata de como aprender a valorizar, manter e desenvolver o nosso patrimônio ambiental (ou capital natural) de tal maneira que possamos viver de sua renda e não de seu capital.

2.2 RESÍDUOS SÓLIDOS

Os resíduos sólidos urbanos constituem uma preocupação ambiental. Os problemas relacionados aos resíduos sólidos, na atualidade, estão ligados ao aumento na geração, à variedade de materiais descartados, e a dificuldade em

encontrar áreas para seu depósito, visto que a geração e a deposição são atividades diárias da população (LEME, 2009).

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) Norma Brasileira Regulamentadora (NBR) 10004:2004, resíduos no estado sólido ou semissólido são aqueles que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ainda estão inclusos na definição proposta pela ABNT os lodos provenientes do sistema de tratamento de água, além dos gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição.

Além da definição de resíduos sólidos, a ABNT NBR 10004:2004 classifica os mesmos da seguinte maneira:

- a) Classe I – Perigosos: resíduos que, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas, podem apresentar:
 - i. Risco à saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices;
 - ii. Riscos ao meio ambiente, quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada.
- b) Classe II – Não perigosos: podem ainda ser divididos entre:
 - i. Resíduos Classe II A – Não inertes: que podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água;
 - ii. Resíduos Classe II B – Inertes: resíduos que, quando amostrados em forma representativa e, submetidos a contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, não tiveram nenhum de seus componentes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

De acordo com Leme (2009, *apud* Quirino e Pereira, 2016) os resíduos sólidos urbanos constituem uma preocupação ambiental. Os problemas relacionados aos resíduos sólidos, na atualidade, estão ligados ao aumento na geração, à variedade de materiais descartados e a dificuldade em encontrar áreas para seu depósito.

Segundo Smith & Scott (2005, apud Deus; Battistelle; Silva, 2015), quanto ao termo e definição de resíduos sólidos, inclui-se nesse tópico os resíduos comerciais, de construção e demolição, domésticos, de jardim, industriais, dentre outros. Entretanto, o termo pode excluir alguns resíduos que são sólidos e têm características importantes, como os resíduos perigosos e radioativos.

Conforme Pitchel (2005), o resíduo sólido pode ainda ser considerado como um material sólidos com valor econômico negativo, que tornam o descarte mais barato que o seu uso. Apesar da afirmação do autor, a sentença difere do que pauta a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

2.2.1 Gestão de resíduos

Para o Brasil, o investimento na gestão de resíduos sólidos é essencial para seu desenvolvimento e crescimento, principalmente para a solidificação de sua infraestrutura. É possível utilizar o potencial de biogás para a geração de energia, evoluir na questão da reciclagem, que envolve aspectos sociais, ambientais e econômicos, criar parcerias público-privadas, entre outros desafios (CAMPOS, 2013; KRULJAC, 2012; LINO & ISMAIL, 2011; OLIVEIRA & ROSA, 2003).

A primeira etapa da gestão de resíduos sólidos diz respeito à sua geração. Por diversos motivos – tais como disposição irregular, coleta informal ou insuficiência do sistema de coleta pública – não necessariamente todo o resíduo sólido gerado é coletado (IPEA, 2012).

De acordo com a Constituição Federal, o gerenciamento do manejo de resíduos sólidos é de competência do poder público local, ainda que possa ser exercido por empresas particulares por meio de concessão pública. Neste último caso, caberá ao poder público o gerenciamento das atividades realizadas por essas empresas privadas (NETA, 2008).

A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) 2008, apresenta estatísticas sobre a natureza das empresas prestadoras desse tipo de serviço. Observa-se a predominância no País das entidades de administração direta do poder

público como entidades prestadoras, embora haja diferenciações entre as Grandes Regiões e também dentro de cada uma delas.

A Região Norte se destaca como a de maior percentual de prestadoras de serviço de natureza pública (mais de 80%), enquanto na Região Sul está o maior percentual de prestadores de serviço de natureza privada (56,3%). Os Estados do Pará, Amazonas, Pernambuco, Bahia, São Paulo, Rio Grande do Sul e ainda o Distrito Federal se destacam em suas regiões quanto ao volume de resíduos sólidos coletados por dia (NETA, 2008).

Tabela 1 – Volume total de resíduos sólidos coletados.

Grandes Regiões	Volume total de resíduos sólidos coletados (t/dia)
Brasil	183.488
Norte	14.639
Nordeste	47.206
Sudeste	68.181
Sul	37.342
Centro-Oeste	16.120

Fonte: Adaptado de IBGE, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008.

A Tabela 1 mostra a distribuição espacial do volume total coletado entre as Grandes Regiões. Os volumes totais apresentados englobam resíduos sólidos coletados em domicílios e em vias e logradouros públicos.

Segundo a European Environment Agency (EEA), Apesar das grandes diferenças regionais, a produção de resíduos tem crescido em todas as regiões e estados brasileiros. A geração média de resíduos sólidos urbanos é próxima de 1 Kg por habitante/dia no país, padrão já similar ao de alguns países da União Europeia.

De acordo com Gouveia (2010), boa parte dos resíduos produzidos não possui destinação sanitária e ambientalmente adequada. Embora tenha havido progresso nos últimos vinte anos, os resíduos ainda são depositados em vazadouros a céu aberto, os chamados lixões, em mais da metade dos municípios brasileiros, como expõe a Tabela 2.

Tabela 2 – Destino final dos resíduos sólidos, por unidades de destino dos resíduos, Brasil - 1989/2008.

Ano	Vazadouro a céu aberto (%)	Aterro controlado (%)	Aterro sanitário (%)
1989	88,2	9,6	1,1
2000	72,3	22,3	17,3
2008	50,8	22,5	27,7

Fonte: Adaptado de IBGE, 2010.

Um dos principais instrumentos da Política Nacional é o Plano Nacional de Resíduos Sólidos, que estabelece diretrizes e metas essenciais à gestão de resíduos sólidos no Brasil (JESUS, 2013).

2.2.2 Política Nacional de Resíduos Sólidos

Para reduzir o impacto dos resíduos sólidos no meio ambiente, em 2010 foi instituída no Brasil a Política Nacional de Resíduos Sólidos, uma Lei Federal que determina uma série de diretrizes e metas de gerenciamento ambiental que devem ser cumpridas em todo o território nacional.

A Lei nº 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos é bastante atual e contém instrumentos importantes para permitir o avanço necessário ao País no enfrentamento dos principais problemas ambientais, sociais e econômicos decorrentes do manejo inadequado dos resíduos sólidos.

Prevê a prevenção e a redução na geração de resíduos, tendo como proposta a prática de hábitos de consumo sustentável e um conjunto de instrumentos para propiciar o aumento da reciclagem e da reutilização dos resíduos sólidos (aquilo que tem valor econômico e pode ser reciclado ou reaproveitado) e a destinação ambientalmente adequada dos rejeitos (aquilo que não pode ser reciclado ou reutilizado).

Institui a responsabilidade compartilhada dos geradores de resíduos: dos fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, o cidadão e titulares de serviços de manejo dos resíduos sólidos urbanos na Logística Reversa dos resíduos e embalagens pós-consumo.

Cria metas importantes que irão contribuir para a eliminação dos lixões e institui instrumentos de planejamento nos níveis nacional, estadual, microrregional, intermunicipal e metropolitano e municipal; além de impor que os particulares elaborem seus Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos.

2.2.3 Resíduos orgânicos

Os resíduos orgânicos são constituídos basicamente por restos de animais ou vegetais descartados de atividades humanas. Podem ter diversas origens, como doméstica ou urbana (restos de alimentos e podas), agrícola ou industrial (resíduos de agroindústria alimentícia, indústria madeireira, frigoríficos...), de saneamento básico (lodos de estações de tratamento de esgotos), entre outras.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA), os resíduos orgânicos representam metade dos resíduos sólidos urbanos gerados no Brasil e podem ser tratados em várias escalas, desde a escala doméstica, passando pela escala comunitária, institucional (de um grande gerador de resíduos), municipal até a escala industrial, para a produção de fertilizante orgânico.

O resíduo orgânico, por não ser coletado em separado, acaba sendo encaminhado para disposição final junto com os resíduos perigosos e com aqueles que deixaram de ser coletados de maneira seletiva. Esta forma de destinação gera, para a maioria dos municípios, despesas que poderiam ser evitadas caso a matéria orgânica fosse separada na fonte e encaminhada para um tratamento específico, por exemplo, via compostagem (Massukado, 2008)

Segundo a caracterização nacional de resíduos publicada na versão preliminar do Plano Nacional de Resíduos Sólidos, os resíduos orgânicos correspondem a mais de 50% do total de resíduos sólidos urbanos gerados no Brasil. Somados aos resíduos orgânicos provenientes de atividades agrosilvopastoris e industriais, os dados do Plano Nacional de Resíduos Sólidos indicam que há uma geração anual de 800 milhões de toneladas de resíduos orgânicos (MMA, 2017).

A Lei nº 12.305/2010, em seu Artigo 3º, inciso VII, considera a compostagem como uma forma de destinação final ambientalmente adequada de resíduos. Cabe destacar que esta mesma lei estabelece como prioridade para a gestão e o gerenciamento dos resíduos sólidos (Artigo 9º) “a não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos” (IPEA, 2012).

De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), as pesquisas sobre aproveitamento de resíduos orgânicos englobam as ações relacionadas ao desenvolvimento de tecnologias que utilizam processos biológicos para o aproveitamento de coprodutos e resíduos.

Segundo o IBGE (2007), o Brasil produziu em 2005, aproximadamente, 105.000 toneladas de frutos de açaí, sendo que cerca de 90% deste volume corresponde aos resíduos gerados após o processamento agroindustrial do fruto. Estes resíduos são constituídos basicamente do caroço e de fibras. Apesar de ser uma fonte de material lignocelulósicos renovável, este resíduo representa, atualmente, um grave problema ambiental (Rogez, 2000; Rodrigues et al., 2006).

Somente na cidade de Belém, são comercializados de 100.000 a 120.000 toneladas de frutos de açaí por ano, o que gera cerca de 300 toneladas por dia de lixo orgânico constituído de caroço (Rogez, 2000; MARTINS *et al.*, 2009). Diferentes métodos têm sido investigados para a utilização do resíduo da agroindústria do açaí, como a sua utilização para geração de energia (Reis et al., 2002; Rodrigues et al., 2002), para produção de adubo (Teixeira et al., 2004) e para extração de antioxidante.

De acordo com Sato (2018), na maioria dos casos, a destinação deste material é inadequada e estes resíduos são comumente encontrados amontoados em frente aos estabelecimentos de extração e comércio da polpa ou são descartados deliberadamente nas ruas das cidades, nas redes de esgoto e nos rios da região, gerando um grande passivo ambiental (TOWNSEND et al., 2001).

Dessa forma, o resíduo de açaí, é um enorme inconveniente ao bem-estar e higiene sanitária das cidades no norte do Brasil, onde o resíduo de processamento encontra poucas alternativas tecnológicas para seu aproveitamento (CORDEIRO, 2017).

O baixo rendimento do fruto associado, a crescente demanda pela polpa de açaí e a ausência de um destino adequado para os resíduos de seu processamento, resultam em um problema que requer soluções passíveis de valorização econômica, com novos usos e produtos para a sociedade (FARINAS et al., 2009).

Com essa preocupação, alguns estudos têm sido realizados a fim de caracterizar e identificar o potencial de uso desses resíduos, formado basicamente pelas sementes e fibras do fruto (SATO, 2018).

2.3 AÇAÍ

O Açaí consiste em um pequeno fruto oriundo da planta do açaizeiro (Figura 1), seu nome científico é *Euterpe Oleracea*, sendo nativa de espécies de palmeiras e encontrada na região Amazônica, onde essa característica traz determinada influencia para os diversos âmbitos na região Norte do País (LIRA, 2018).

Figura 1 – Ramificação dos frutos do açaí



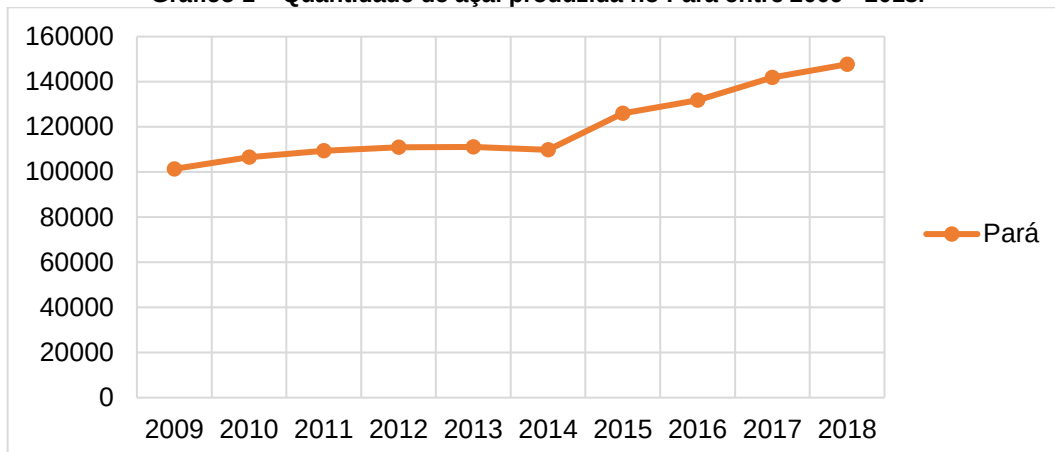
Fonte: Mesquita (2013).

Este ocupa um largo espaço na vida amazônica, principalmente no estuário do rio Amazonas. É um alimento abundante, barato, de consumo diário e tradicional. Tornou-se um símbolo da cultura nortista e está presente no cotidiano tanto do ribeirinho como do citadino, independente das posses (GONÇALVES *et al.*, 2018). Esta influência é refletida na economia, nas paisagens, nos cartões postais, nos dizeres populares, nas manifestações artísticas, nas estratégias de ocupação do solo (CANTO, 2001).

Segundo os dados do IBGE, entre 2009 e 2018, o Estado do Pará destacou-se como maior produtor nacional com 61,2%, onde foram produzidas 131 836 toneladas do açaí extrativo, aumento de 4,6% no ano. O acréscimo na produção paraense de açaí foi observado em razão do crescimento da demanda do produto,

com consequente elevação dos preços, o que torna a atividade mais atrativa aos extrativistas.

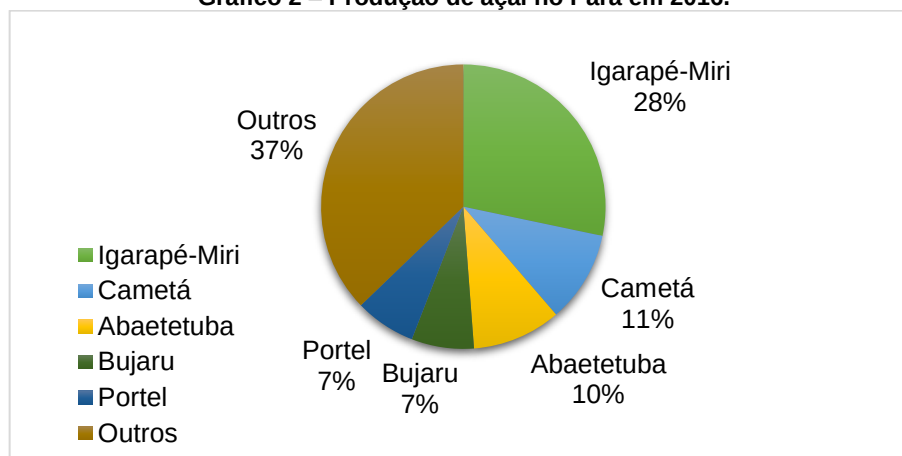
Gráfico 1 – Quantidade de açaí produzida no Pará entre 2009 - 2018.



Fonte: Adaptado de IBGE, 2019.

Segundo o IBGE (2017), os 20 maiores municípios produtores de açaí em 2016 foram paraenses, com destaque para Igarapé-Miri, o maior produtor mundial, com 305,6 mil toneladas, 28% da produção do país. Juntos, os cinco maiores municípios produtores (Igarapé-Miri, Cametá, Abaetetuba, Bujaru e Portel) representam 62,7% da produção do estado, como pode ser observado no Gráfico 2.

Gráfico 2 – Produção de açaí no Pará em 2016.



Fonte: Adaptado de IBGE, 2017.

2.3.1 Aspecto histórico

Segundo Homma *et al.* (2006), o açaí se popularizou apenas a partir da década de 1990. Nessa época, as pressões internacionais voltadas à preservação da Amazônia, redução de queimadas e desmatamento, aumentaram. Desta maneira,

produtos florestais não madeireiros tiveram destaque no mercado, principalmente as frutas regionais, como o açaí.

No fim da década 1990, o açaí deixou de ser apenas uma fruta exótica da Amazônia e conquistou adeptos em todas as regiões do Brasil, principalmente em meio a grupos de esportistas e praticantes de atividade física (COUTINHO, 2017).

Yamanaka (2012) ressalta que, a partir deste período, houve um incentivo para a abertura de agroindústrias processadoras de frutas ampliado as possibilidades de transporte desses produtos para outros estados e também para a exportação a outros países.

De acordo com Nogueira e Santana (2009), no período de 2004 a 2007 a demanda pelo açaí cresceu mais rápido que a oferta. Além dessa tendência não linear entre oferta e demanda, os mesmos também constataram a existência de uma expressiva oscilação de preços do fruto devido aos períodos de safra e entressafra.

2.3.2 Composição química

O açaí é considerado alimento de alto valor calórico, com elevado percentual de lipídeos, e nutricional, pois é rico em proteínas e minerais. Nas áreas de exploração extrativa, o açaí representa a principal base alimentar da população, notadamente dos ribeirinhos da região do estuário do Rio Amazonas (NOGUEIRA *et al.*, 2005). A composição química e o valor nutricional do açaí são discriminados na Tabela 3.

Tabela 3 – Composição química e valor nutricional do açaí

Composição	Unidade	Quantidade na matéria seca
pH	-	5,80
Matéria seca	%	15,00
Proteína	g/100 g ⁽¹⁾	13,00
Lipídios totais	g/100 g ⁽¹⁾	48,00
Açúcares totais	g/100 g ⁽¹⁾	1,50
Açúcares redutores	g/100 g ⁽¹⁾	1,50
Frutose	g/100 g ⁽¹⁾	0,00
Glicose	g/100 g ⁽¹⁾	1,50
Sacarose	g/100 g ⁽¹⁾	0,00
Fibras brutas	g/100 g ⁽¹⁾	34,00
Energia	Kcal/100 g	66,30
Cinzas	g/100 g ⁽¹⁾	93,50
Sódio	mg/100 g ⁽²⁾	56,40
Potássio	mg/100 g ⁽²⁾	932,00

Cálcio	mg/100 g ⁽²⁾	286,00
Magnésio	mg/100 g ⁽²⁾	174,00
Ferro	mg/100 g ⁽²⁾	1,50
Cobre	mg/100 g ⁽²⁾	1,70
Zinco	mg/100 g ⁽²⁾	7,00
Fósforo	mg/100 g ⁽²⁾	124,00
Vitamina B1	mg/100 g ⁽²⁾	0,25
Vitamina E	mg/100 g ⁽²⁾	45,00

Fonte: Adaptado Rogez., 2000.

⁽¹⁾ Matéria seca. ⁽²⁾ Cálculo por diferença.

O óleo extraído do açaí é composto de ácidos graxos de boa qualidade, com 60% de monoinsaturados e 13% de poli-insaturados. Com relação às proteínas, possui teor superior ao do leite (3,50%) e do ovo (12,49%), enquanto o perfil em aminoácidos é semelhante ao do ovo.

O açaí possui elevado teor de antocianinas, contendo cerca de 1,02 /100 g de extrato seco. As antocianinas são pigmentos naturais, pertencentes à família dos flavonoides, sendo estes responsáveis pela cor do açaí. Além disto, possuem função antioxidante, que assegura melhor circulação sanguínea e protegem o organismo contra o acúmulo de placas de depósito de lipídeos, causadores da arteriosclerose.

O consumo diário de um litro de açaí do tipo médio, com 12,5% de matéria seca, contém 65,8 g de lipídios, o que corresponde a 66% da ingestão diária requerida; 31,5 g de fibras alimentares totais, o que equivale a 90% das recomendações diárias e 12,6 g de proteínas, o que corresponde de 25% a 30% da quantidade nutricional diária necessária. O açaí é rico em minerais, principalmente potássio e cálcio e, dentre as vitaminas, pode ser destacada a vitamina E, um antioxidante natural que atua na eliminação dos radicais livres.

2.3.3 Caracterização geral do açaí

A investigação da palmeira açaí, *Euterpe oleraceae* Mart., teve início no século passado com Spix e Martius (1820) e La Condamine (1944) e Chaves e Pechnik (1945), analisaram a composição dos frutos do açaí e seu valor nutritivo. Entretanto, foi nas três últimas décadas do século XX que se intensificou o estudo sobre os açaís do estuário amazônico (MOURÃO, 2004).

Segundo Mesquita (2013), as regiões onde o açaizeiro é nativo as chuvas são abundantes, atingindo 2.000 a 2.700 mm anuais e bem distribuídas durante o ano, e a umidade relativa do ar comumente ultrapassa 80%. A temperatura média gira em torno de 28°C.

Euterpe oleracea Mart. é uma das espécies comerciais mais conhecidas, sendo também chamada de açaí-do-pará, é nativa da Amazônia Oriental, e encontrada ao longo dos igarapés, terrenos de baixada e áreas com umidade permanente. Possui farto perfilhamento desde o 2º a 3º ano de idade, permitindo nessa fase a exploração de suas populações nativas para a produção de palmito e fruto (BENTES-GAMA *et al.*, 2005).

No Pará há o registro da ocorrência de pelo menos sete tipos ou variedades de açaí. É uma espécie de uso múltiplo, de cujas partes é possível um integral aproveitamento, tais como:

- (a) Fruto: através do despoldamento obtém-se o tradicional “vinho de açaí”; o caroço (endocarpo e a amêndoa), após sua decomposição é largamente utilizado como adubo orgânico; as sementes secas e polidas são utilizadas na confecção de artesanato e bijuterias (biojóias).
- (b) Estipe: é o caule do açaizeiro, utilizado como esteio para construções rústicas, ripas para cercados, currais, paredes, caibros para cobertura de barracas e lenha; é matéria-prima para a produção de papel e produtos de isolamento elétrico.
- (c) Raízes: possuem propriedades medicinais (tratamento de verminoses).
- (d) Folhas: cobertura de barracas, fechamento de paredes, ração para animais, fabricação de papel;
- (e) Palmito: localizado no ápice da copa, é a gema apical que se encontra envolvida pela bainha das folhas do açaizeiro. É um produto comumente utilizado na culinária regional, sendo que grande parte da produção é destinada à exportação.
- (f) Planta: ornamentação (paisagismo); proteção do solo; recomposição de matas ciliares; reflorestamento.

De acordo com Rocha *et al.* (2008), as sementes do açaizeiro perdem rapidamente o poder germinativo, após 15 dias do beneficiamento, porém, é possível armazená-las por até cinco meses, desde que acondicionadas em sacos plásticos bem fechados e mantidos sob refrigeração (temperatura entre 5 °C a 10 °C), do contrário deverão ser colocadas imediatamente para germinar diretamente no solo, em sementeira ou em sacos de polietileno.

2.3.4 Fisiologia da semente

A testa da semente do açaizeiro é do tipo ruminada, endosperma é formado por células de diversos tamanhos e formas, com paredes espessas e muitas pontuações; embrião formado pelo hipocótilo-radicular, procâmbio e parênquima com numerosos idioblastos com ráfides e o endosperma da semente, a base do caulículo e o haustório são os locais de acúmulo de amido (NETO, 2004).

As sementes e plântulas de açaizeiro podem tolerar até quatro meses de anoxia (ausência de oxigênio) germinando após transferência para condições normóxicas (presença de oxigênio). A tolerância das mesmas está relacionada com a manutenção da atividade amilolítica (carboidrato), sendo o haustório o sítio inicial de síntese da endo- β -mananase, porém não consegue excretá-las para o endosperma durante a germinação (GOUVÊA, 2010).

2.4 FIBRAS

Fibra é um termo geral que designa um corpo flexível, cilíndrico, pequeno, de reduzida seção transversal e elevada razão entre o comprimento e o diâmetro (superior a 100), podendo ou não ser polimérico. As fibras industriais, naturais e sintéticas, representam uma vasta proporção do total de polímeros consumidos no mundo (MANO e MENDES, 2004).

As fibras tem seu espaço na Amazônia desde sua utilização pelos povos indígenas, que já tinham o conhecimento do uso de algumas plantas fibrosas. A exploração desse recurso natural na atualidade vem tomando importância para o

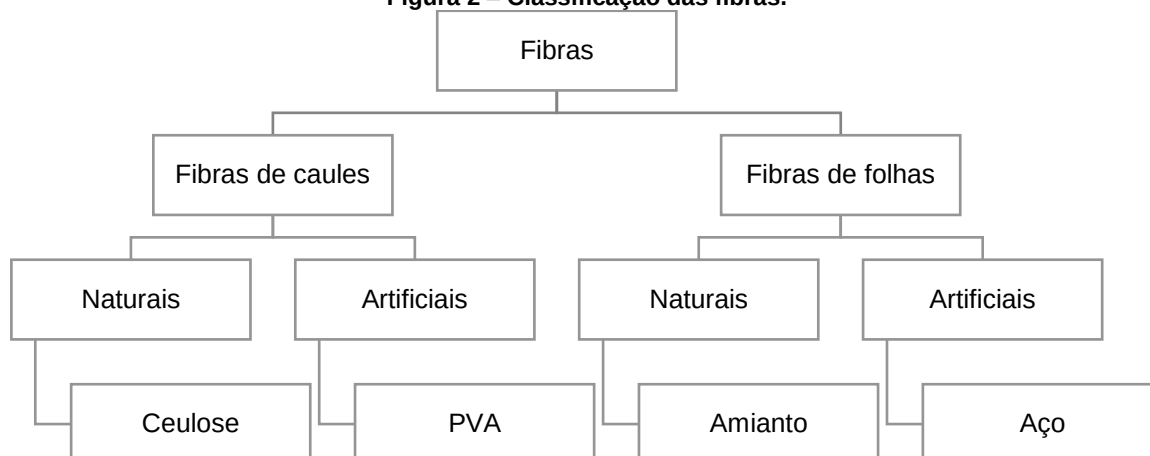
auxílio socioeconômico e ambiental, porém, é necessário conhecer a sua eficiência, sendo necessário estudos que apontem as suas diferentes aplicações, além de tratamentos que destaquem ou ainda resguardecem as suas diversas propriedades (HAGE, 2012).

2.4.1 Tipos e classificação

Em relação à composição, as fibras podem ser orgânicas ou inorgânicas. As fibras orgânicas se dividem, ainda, em naturais ou artificiais. Existem controvérsias relativas a alguns tipos de fibras e suas classificações, principalmente no que se refere às fibras de celulose. Apesar de provenientes da natureza (plantas fibrosas ou madeira), o pré-tratamento antes do seu emprego ainda sugere opiniões contraditórias (BLEDZKI, *et al.*, 1996).

As fibras classificadas como naturais podem ser subdivididas em vegetais, animais e minerais. As fibras minerais são formadas por cadeias cristalinas com grande comprimento. As fibras de origem animal têm cadeias proteicas, enquanto as fibras vegetais apresentam natureza celulósica. Dentre as últimas se destacam as fibras de sisal, bambu, coco e bananeira (BARBOSA, 2011).

As fibras podem se dividir, de acordo com sua elasticidade, em fibras de baixo e alto módulo, diferindo, assim, suas aplicações. As fibras de alto módulo melhoram a resistência do compósito, principalmente à tração, enquanto as de baixo módulo propiciam melhores resistências ao impacto e permitem ao compósito trabalhar no estágio pós fissurado (CAETANO *et al.*, 2004). A Figura 2, adaptada a partir de Zhu *et al.* (1994), apresenta um diagrama de classificação de algumas fibras.

Figura 2 – Classificação das fibras.

Fonte: Adaptado de Zhu et al. (1994).

O estudo do processo investigativo tem sido marcado pela manipulação e modificação de certas propriedades específicas dos materiais, de forma a adequar seu uso a diversas situações. A descoberta de novas propriedades em novas fibras naturais produz novos processos investigativos e comparativos com as demais classificações de fibras sendo estas: vegetais, animais ou minerais (BARBOSA, 2014).

2.4.2 Fibras lignocelulósicas

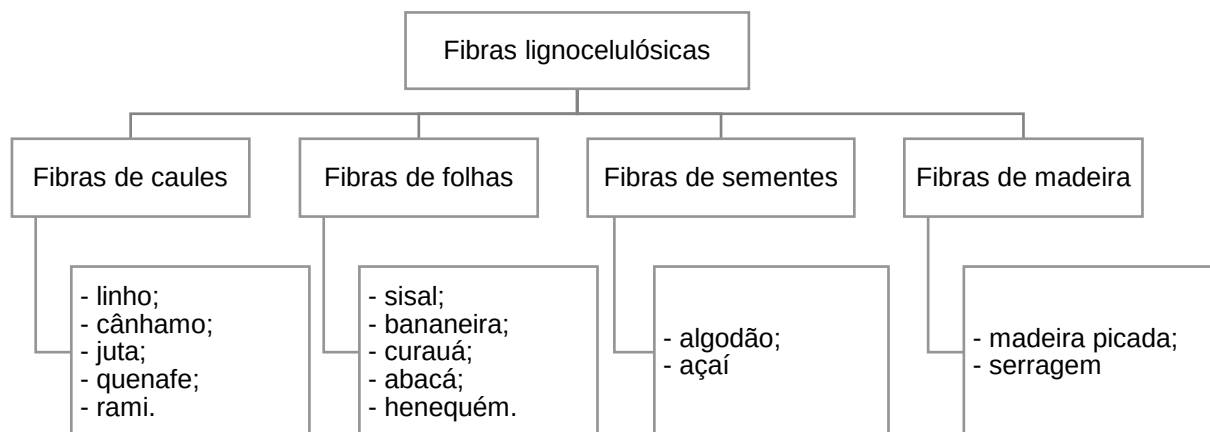
Fibras naturais, também chamadas de fibras lignocelulósicas ou vegetais, morfologicamente são células esclerenquimatosas de forma tipicamente prosenquimatosas, ou seja, de comprimento igual a muitas vezes a largura (MEDINA, 1959).

As fibras lignocelulósicas oferecem as seguintes vantagens em relação às fibras sintéticas: fonte natural abundante e renovável, baixo custo e baixa densidade, alta resistência e módulo de elasticidade, menor abrasividade. Dentre as desvantagens pode-se citar a falta de uniformidade das propriedades, como condições regionais onde a planta de extração for cultivada, habilidade manual ou processo mecânico da extração e a absorção de umidade, entre outros (SILVA, 2003).

Segundo Silva (2003), as fibras lignocelulósicas podem ser classificadas segundo a sua origem, como fibras de sementes, fibras de caule, fibras de folhas, fibras de fruto e fibras de raiz. O organograma da Figura 3, adaptado de Schuh (1997),

mostra as principais categorias de fibras lignocelulósicas de boa disponibilidade e relativo baixo custo.

Figura 3 – Classificação das fibras lignocelulósicas.



Fonte: Adaptado de Schuh (1997).

Segundo Medina (1959) apud. Hage (2012), as fibras são essencialmente de uso local e, na maioria das vezes, meramente de interesse botânico e etnográfico, sendo que o uso das plantas fibrosas caminha junto ao desenvolvimento das sociedades, constituindo o segundo grupo de plantas mais importante para o homem após as espécies alimentares, e uma das principais matérias-primas para o setor industrial.

A crescente conscientização em relação ao meio ambiente fez com que a indústria priorizasse a utilização de materiais naturais, entre eles, as fibras vegetais, entretanto com muito mais conhecimento das mesmas e com o avanço da tecnologia, o que permite seu melhor aproveitamento, juntamente com a constante busca por novas metodologias e por processos não poluentes e eficazes (COIMBRA, OLIVEIRA, 2005, apud GONÇALVES, 2017).

As propriedades físicas das fibras naturais são determinadas principalmente pela composição química e física, como a estrutura das fibras, o teor de celulose, o ângulo das fibrilas, a seção transversal e o grau de polimerização. Apenas alguns valores característicos, mas especialmente as propriedades mecânicas específicas, podem atingir valores comparáveis das fibras de reforço tradicionais (BLEDZKI; GASSAN, 1999)

2.4.3 Utilização da fibra do caroço do açaí

Em sua pesquisa, Lima Júnior (2007) se propôs a investigar a utilização das fibras da polpa do açaí como material alternativo na construção civil. Para isso, o mesmo determinou as propriedades físico-químicas da fibra, além da produção de corpos de prova com diferentes teores de fibras incorporados à matriz cimentícia. Os compósitos passaram por ensaios físicos e mecânicos a fim de avaliar o desempenho do melhor traço.

Como resultado, o autor identificou que ao utilizar as fibras como reforço aos compósitos cimentícios, a resistência a compressão não é afetada drasticamente, além de obter resultado satisfatório quanto à resistência a tração. Além dos ganhos citados anteriormente, a utilização das fibras reduz o custo final do produto.

Visando a diminuição dos transtornos ambientais causados pelo mal despejo da fibra do açaí, Quirino e Pereira (2010), produziram painéis a partir de fibra de açaí, com adesivo a base de mamona e resina poliuretana derivada de petróleo. Após a fase de produção, os painéis passaram por ensaios de flexão estática, tração perpendicular e arrancamento de parafuso da superfície. Os resultados obtidos no trabalho foram satisfatórios e atenderam os requisitos técnicos para a indústria moveleira e construção civil.

Com o objetivo de gerar novos meios de utilização para o resíduo gerado após a extração da polpa do açaí, Valença et al. (2011) analisou o comportamento mecânico de misturas areia-asfalto com inserção da fibra de açaí. Os resultados obtidos revelaram que a fibra do açaí proporcionou maior interação agregado-ligante, entretanto, quanto à resistência mecânica, não foi determinado desempenho satisfatório, sendo necessária a utilização de tratamentos para melhorar esta propriedade.

Gehlen (2014) realizou sua pesquisa a fim de analisar a viabilidade de utilizar fibras lignocelulósicas, como a fibra do açaí, como substituintes da fibra de vidro em compósitos de matriz polimérica. Para isso, a autora avaliou as propriedades físicas, químicas, morfológicas, mecânicas e térmicas das fibras e dos compósitos. Através dos resultados obtidos no estudo, foi possível determinar a viabilidade da utilização

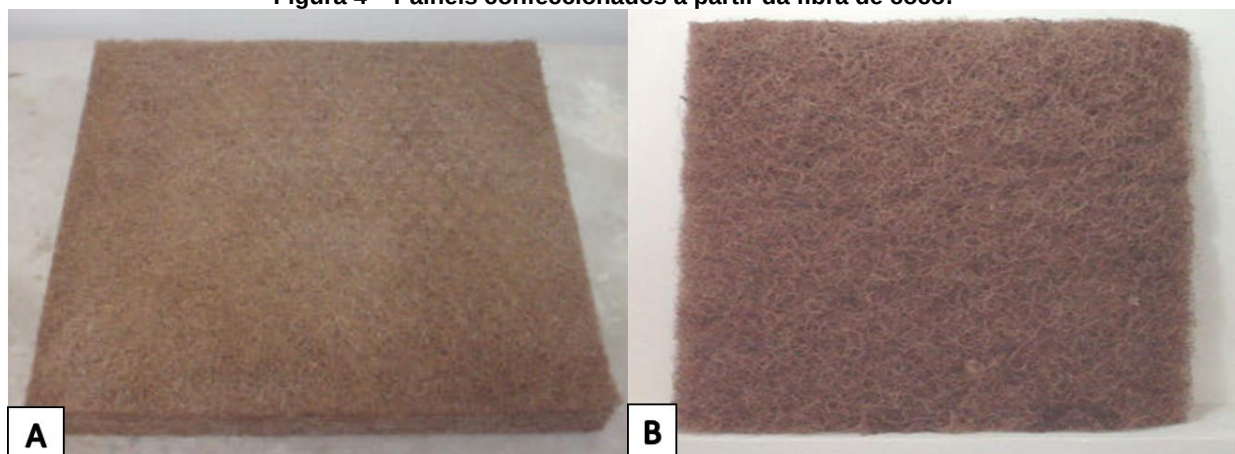
das fibras em compósitos poliméricos, com restrição para o uso estrutural devido à resistência mecânica.

Luz et al. (2014) desenvolveu seu trabalho com o intuito de produzir compósitos de matriz polimérica reforçados com fibras de açaí. Assim, foram confeccionadas placas com diferentes percentuais de fibra em relação à matriz e, após foram realizados ensaios para avaliar as propriedades mecânica do produto. A partir dos resultados, observou-se a influência da fibra do açaí, indicando viabilidade na utilização sob baixa solicitação mecânica.

2.5 PAINÉIS SUSTENTÁVEIS

A utilização da fibra do açaí no desenvolvimento de painéis vem sendo alavancada ao longo dos anos através de pesquisas como a de VIEIRA (2008), que investigou acusticamente painéis de fibra de coco de diferentes espessuras e densidades (Figura 4), com a finalidade de utiliza-los para o controle acústico de recintos.

Figura 4 – Painéis confeccionados a partir da fibra de coco.



Fonte: Adaptado de Vieira (2008).

Após a produção dos painéis, foram analisadas as propriedades físicas, químicas, mecânicas e acústicas do material. Os painéis fabricados foram comparados a materiais comercialmente disponíveis e apresentaram comportamento similar.

Em seu estudo, Bastos (2009) propôs a elaboração de painéis acústicos confeccionados a partir de fibras vegetais como solução alternativa para controlar ruídos em ambientes internos. Assim, o referido autor fabricou painéis com fibras de coco, açai, sisal e dendê (Figura 5) e comparou seu desempenho acústico com painéis comercialmente disponíveis. Dessa forma, o autor observou desempenho acústico satisfatório para os painéis de fibras vegetais.

Figura 5 – Painéis multicamadas unifibra: de açai (1), dendê (2), coco (3) e sisal (4).



Fonte: Bastos (2009).

A partir da fibra de mandioca, Campos (2012), produziu painéis para tratamento acústico. Como consequência os resultados mostraram uma baixa qualidade de absorção acústica, assim, novas fibras foram utilizadas na pesquisa, como a fibra de aveia e cana-de-açúcar, que passaram por ensaios biológicos, mecânicos e acústicos, apresentando resultados preliminares satisfatórios, mas com a necessidade de comprovação da eficiência a partir de novos testes.

Visando o aproveitamento das fibras de açai, Mesquita (2013), realizou a caracterização física, química e mecânica, além de realizar tratamentos alcalinos e biológicos nas mesmas para, então, produzir eco painéis (Figura 6). Após a etapa de produção, o autor realizou ensaios a fim de caracterizar o resultado final da sua pesquisa a partir de ensaios físico-mecânicos e microestrutural.

Figura 6 – Ecopainéis de fibras naturais.



Fonte: Mesquita (2013).

Os resultados obtidos por Mesquita (2013) sugerem “potencialidade da fibra do açai, com tratamento alcalino e submetido a autoclave, como matéria prima na produção de eco painéis homogêneos particulados de média densidade para uso comercial na indústria da construção civil e moveleira.”

Durante sua pesquisa, Silva (2017) analisou a absorção acústica de um painel acústico fabricado a partir da fibra do pseudocaule da bananeira e, a partir do controle da porosidade, pôde determinar a eficiência do desempenho acústico do painel, produzido com dimensões de 30x30 cm e espessuras de 2cm e 5cm, concluindo que, a utilização de painéis com a maior espessura apresentam maior absorção.

2.6 PAINÉIS ACÚSTICOS

Os painéis acústicos utilizados para tratamento acústico em estúdios ou *home studios*, são fabricados, originalmente, com material absorvedor sonoro (lã de rocha, lã de PET, entre outros) em uma estrutura de madeira, com acabamento em tecido ortofônico (MAZZEU, 2018).

Além disso, apresenta resiliência, de forma que, recupera a espessura original após a retirada da força que causou a deformação. E ainda, apresenta resistência à água devido aos interstícios presentes na estrutura do material, preservando as características originais depois da secagem (SPEEDDRY).

O objetivo de utilizar os painéis é diminuir o tempo de reverberação, parâmetro responsável pela inteligibilidade da fala, e reduzir reflexões, para que os ouvidos possam ser capazes de interpretar o que está sendo reproduzido no ambiente, ou seja, o painel acústico dissipa a energia da onda sonora em calor (MAZZEU, 2018).

As principais vantagens da utilização de painéis acústicos se dão pela redução de ruídos, alta absorção acústica em médias e altas frequências, que são importantes para inteligibilidade da fala, além de ser resistente ao fogo, dessa forma, garantindo o conforto acústico dos ambientes onde é empregado (SPEEDDRY).

Figura 7 – Painéis acústicos.



Fonte: SPEEDDRY (2019).

Apesar dos painéis, originalmente, serem fabricados a partir de lã de rocha e tecido ortofônico, diversas pesquisas surgiram a fim de analisar a viabilidade acústica de painéis produzidos a partir de outros materiais, principalmente, os sustentáveis, a fim de auxiliar na diminuição de resíduos descartados no meio ambiente.

Como exemplo da utilização de materiais sustentáveis na produção de painéis acústicos, pode-se citar a Baux, líder mundial em absorvedores acústicos sustentáveis. A empresa sueca trabalha com painéis e telhas acústicas de diferentes materiais, geometrias e colorações, como pode ser observado na Figura 8.

Figura 8 – Painéis acústicos da Baux: (a) mix de geometrias; (b) painéis losangulares; (c) painéis hexagonais e; (d) painéis circulares.



Fonte: Baux Collection (2015).

2.6.1.1 Conforto acústico

O ruído como poluente ambiental foi negligenciado durante muito tempo, pelo menos quando colocado ao lado da poluição do ar ou da água. Várias razões para essa negligência vêm à mente. A única definição de ruído que temos é "som indesejado", mas isso é altamente subjetivo. Além disso, o som é difícil de medir.

De acordo com Oliveira (2018), os ruídos causam deterioração na qualidade de vida, reduzindo a capacidade de comunicação e memorização, provocando a perda ou diminuição da audição e do sono, envelhecimento precoce, distúrbios neurológicos, cardíacos, gástricos e circulatórios, sem que, em muitos casos, a própria vítima se dê conta.

A Organização Mundial de Saúde (OMS), segue nesse sentido considerando que o ruído excessivo prejudica seriamente a saúde humana e interfere nas atividades diárias das pessoas na escola, no trabalho, em casa e no lazer.

O impacto humano das tonalidades indesejadas do som, do mero aborrecimento ao sono perturbado, estresse, danos auditivos, hipertensão e até doenças cardíacas isquêmicas, mas a força das evidências varia, assim como as configurações, que variam desde a exposição no local de trabalho, morando perto de

estradas movimentadas ou perto de um aeroporto ou apenas vizinhos barulhentos (SHARP, 2010).

O conforto acústico existe quando o ambiente proporciona boa inteligibilidade da fala (ou clareza musical) e ausência de sons indesejáveis no ambiente, criando uma sensação de paz e bem-estar. Dependendo do caso, o conforto acústico pode depender de uma boa absorção sonora, de um eficiente isolamento acústico, ou de ambos simultaneamente.

Consciente ou não, a expectativa do ouvinte em um local é que esta propicie condições acústicas para uma adequada inteligibilidade da fala. Isso irá certamente requerer baixos níveis de ruído, porém algo mais necessário para a comunicação é que o local deve ser imune a ecos, pois a inteligibilidade da fala é deteriorada por ecos (BISTAFA, 2006).

Cavanaugh (2009), afirma que o ambiente acústico dentro e ao redor dos edifícios é influenciado por inúmeros fatores inter-relacionados e interdependentes associados ao processo de planejamento de projeto e construção de edifícios. Desde o início de qualquer desenvolvimento do edifício, a seleção do local, a localização dos edifícios no local e até a organização espaços dentro do edifício podem, e frequentemente influenciam, a extensão dos problemas acústicos envolvidos.

O controle efetivo da acústica ambiente nos edifícios envolve pelo menos os conceitos e compreensão das propriedades básicas do som, como é propagada por espaços típicos de edifícios e como é influenciado por vários materiais de construção do sistema construtivo (CAVANAUGH, 2009).

2.6.1.2 Absorção sonora

Existe a constante preocupação com o controle de ruídos que varia de acordo com as necessidades humanas, sendo necessário a busca de soluções através do emprego de materiais que auxiliem e mitiguem essa problemática visando o seu comportamento ao estímulo de ondas sonoras. A ABNT NBR 15572:2017 estabelece os níveis de ruído compatíveis com o conforto acústico em ambientes diversos, tendo em vista a preocupação com perdas auditivas e combate à poluição sonora.

Segundo Cox e D'Antonio (2009), quando o som se propaga em pequenos espaços, tais como em poros interconectados de materiais absorvedores, a energia é dissipada. Essa energia dissipada é caracterizada pelo coeficiente de absorção sonora.

Nesse sentido, os ruídos desses pequenos espaços podem ser minimizados através de absorvedores de som, que podem ser usados para controlar a resposta dos espaços de performance artística a fontes sonoras estáveis e transitórias, afetando, assim, o caráter do ambiente auditivo, a inteligibilidade de fala e a qualidade do som musical não reforçado (FAHY, 2000).

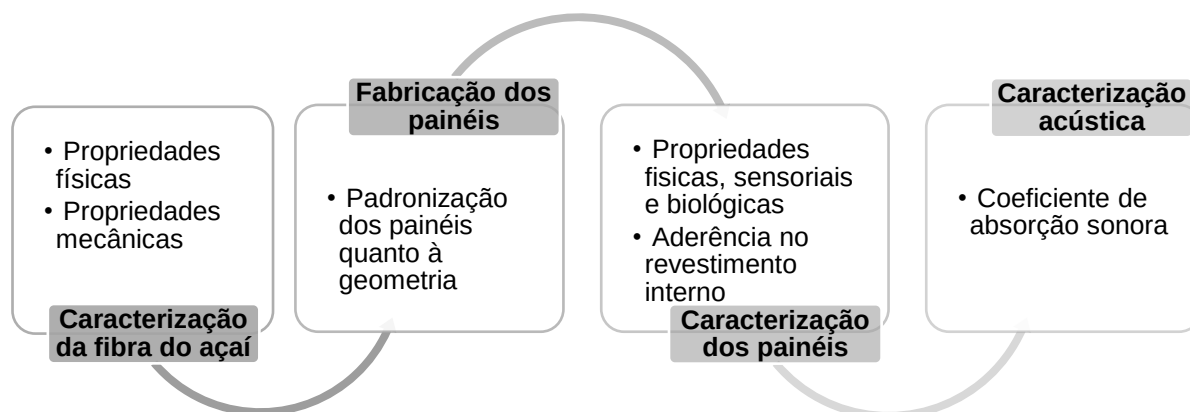
Brandão (2008) afirma que existem vários mecanismos capazes de absorver energia de um campo acústico através da transformação da energia acústica em calor. Estes dispositivos podem ser usados na atenuação dos campos acústicos encontrados no dia a dia. Tal atenuação faz com que o ruído reverberante em ambientes diminua o que os torna acusticamente mais confortáveis. Em ambientes de audição crítica como estúdios, cinemas e casas de espetáculo, estes dispositivos acústicos têm importância fundamental na qualidade do som em seu interior.

As fibras de muitos dos materiais absorventes disponíveis são em camadas, tornando esses materiais anisotrópicos, ou seja, certas propriedades dependem da direção em que são medidas, além da variação no tamanho da fibra e na distribuição do agente de ligação é inerente ao processo de produção (DELANY, 1969).

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

O programa experimental foi dividido em quatro etapas, sendo estas: caracterização da fibra do caroço do açaí, produção dos painéis acústicos, caracterização do painel e determinação do coeficiente de absorção dos painéis, conforme ilustra o esquema metodológico na Figura 9.

Figura 9 – Esquema metodológico do estudo.



Fonte: Autores (2019).

Conforme demonstrado na Figura 9, a primeira etapa para a realização da pesquisa consistiu na caracterização da fibra do caroço do açaí, onde foram realizados ensaios das propriedades físicas – determinação das dimensões, densidade e absorção de água – e mecânica – resistência a tração – da fibra.

Correspondente a segunda etapa, tem-se a produção dos painéis acústicos a partir da fibra do caroço do açaí, de maneira a padronizar as diferentes geometrias utilizadas – circular e quadrado.

A terceira etapa foi constituída dos ensaios relacionados às propriedades física – envelhecimento; sensorial – odor, e biológica – fungamento – do painel. Além disto, foi realizado ensaio acerca da eficácia do painel quanto à sua aderência no revestimento interno.

Na quarta etapa determinou-se o coeficiente de absorção sonora através do ensaio de reverberação, analisando as diferentes geometrias e colorações propostas no estudo.

O programa experimental proposto na pesquisa foi desenvolvido no período entre maio de 2019 a janeiro de 2020 no Laboratório de Engenharia Civil (LEC) e no Laboratório de Engenharia Mecânica (LABEM), ambos pertencentes à Universidade Federal do Pará (UFPA) – Campus Tucuruí.

3.1 MATERIAIS

3.1.1 Fibra do caroço do açaí

Para a produção dos painéis acústicos foram utilizadas fibras do caroço do açaí, sendo estas provenientes de uma empresa da região da cidade de Belém, que tem por objetivo realizar o desfibramento para posterior venda. Sendo que a fibra do caroço do açaí (Figura 10) é extraída manualmente do caroço do fruto após extração da polpa.

Para a utilização nesta pesquisa, as fibras foram previamente lavadas e, em seguida, foram secas em estufa a 80° C a fim de evitar o apodrecimento ou alterações nas propriedades deste material.

Figura 10 – Fibra do caroço do açaí.



Fonte: Autores (2019).

3.1.2 Aglomerante

O aglomerante utilizado na pesquisa foi o Siq Látex Pré-Vulcanizado do fabricante Siquiplás (Figura 11), sendo que, a proporção utilizada entre o aglomerante e a água foi de 1:1, tal proporção teve como objetivo estabelecer uma viscosidade que proporcionasse a aglomeração ideal entre as fibras.

Figura 11 – Siq Látex Pré-Vulcanizado.



Fonte: Autores (2019).

De acordo com o fabricante, o material é uma mistura de látex natural centrifugado a 60% com dispersões aquosas, ativadores, aceleradores de vulcanização, antioxidante e estabilizada com amônia. Ele é totalmente vulcanizável, de fácil fluidez, seca a temperatura ambiente, além de produzir películas de borracha de alta elasticidade.

Para a escolha do aglomerante, baseou-se no estudo de Matos e Pereira (2019), que comprovaram que a utilização do látex pré-vulcanizado melhorou, significativamente, o aspecto visual e a agregação dos painéis quando comparado aos painéis produzidos com cola branca. Além de oferecer a secagem mais rápida e melhor desempenho quanto à flexibilidade e resistência a deformações dos painéis.

3.1.3 Fita adesiva dupla face

Para promover a aderência do painel acústico ao revestimento interno, utilizou-se a Fita Dupla-Face Espumada SQ-3969 (Figura 12).

Figura 12 – Fita Dupla-Face Espumada SQ-3969.



Fonte: SQ (2020).

Optou-se por utilizar a fita dupla face como opção de material colante entre o painel e o revestimento interno a fim de que o substrato não sofresse agressões por parte do material colante, de forma que, ao retirar o painel do revestimento interno, o mesmo continuasse intacto.

3.1.4 Tinta PVA

A tinta aplicada aos painéis foi definida devido a sua composição, que contém látex econômico, substância similar à que está presente no aglomerante utilizado para a produção dos painéis. Assim, utilizou-se a Tinta Veloz Destack (Figura 13) nas cores azul e verde na pesquisa na proporção de 1:1 a fim de obter viscosidade ideal.

Figura 13 – Tinta Veloz Destack.



Fonte: Tinta Veloz (2020).

De acordo com o fabricante, a composição da tinta é feita a partir de água, emulsão estireno-acrílico, pigmentos orgânicos e/ou inorgânicos, cargas minerais

inertes e aditivos. Além disso, é desenvolvida a partir do látex econômico, como estabelece a ABNT NBR 15079:2019 e a ABNT NBR 11702:2019.

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Caracterização da fibra do caroço do açaí

3.2.1.1 *Ensaio de determinação das dimensões*

O ensaio de determinação da dimensão das fibras tem por objetivo classificar as fibras através de seu tamanho. Este ensaio é realizado com a utilização de um microscópio óptico para indicar o diâmetro das mesmas e do paquímetro digital para definir o comprimento.

Porém, vale ressaltar que, na presente pesquisa, devido à ausência de equipamento para realização completa do ensaio, foi determinado então, apenas o comprimento das fibras, por meio de paquímetro analógico, como ilustra a Figura 14.

Figura 14 – Fibra do caroço do açaí durante ensaio de dimensão.



Fonte: Autores (2019).

3.2.1.2 *Ensaio de determinação da densidade*

Com o objetivo de determinar a densidade da fibra do caroço do açaí, fez-se uso das diretrizes prescritas na ANBT NBR 11936:1992. Dessa forma, inicialmente,

um picnômetro de 250 mL vazio foi pesado e, posteriormente, inserido etanol 99,3° (INPM) de densidade padrão 0,808 g/cm³ até completar o recipiente, sendo novamente pesado. A partir da obtenção dos valores, calculou-se o volume do picnômetro através da Equação 1.

Após determinação do volume do picnômetro, retirou-se uma pequena quantidade de etanol e adicionou-se uma massa conhecida da fibra, como esclarece a Figura 15.

Figura 15 – Picnômetro com a fibra e etanol.



Fonte: Autores (2019).

Em seguida, completou-se o recipiente com etanol e, novamente, foi pesado. Para a determinação da densidade, foram utilizadas das Equações 2, 3 e 4.

$$V_{pic} = \frac{m_2 - m_1}{\rho_{etanol}} \quad (1)$$

$$V_{etanol} = \frac{(m_4 - m_3 - m_1)}{\rho_{etanol}} \quad (2)$$

$$V_{fibra} = V_{pic} - V_{etanol} \quad (3)$$

$$\rho_{fibra} = \frac{m_3}{V_{fibra}} \quad (4)$$

Onde:

m₁ é a massa do picnômetro seco (g);

m₂ é a massa do picnômetro preenchido com etanol (g);

m₃ é a massa da fibra (g);

m_4 é a massa do picnômetro preenchido com etanol e fibra (g);

ρ é a densidade (g/cm³);

V é o volume (cm³).

3.2.1.3 Ensaio de determinação da absorção de água

Para a realização do ensaio de absorção de água, utilizou-se o método descrito no estudo de STRINGARI (2016). Assim, 5 gramas de fibra foram secas em estufa a 60° durante 24 horas e imediatamente pesadas. Após isso, as fibras foram imersas em água e retiradas em diferentes intervalos de tempo (15, 30 e 60 minutos; 24 e 48 horas). A cada intervalo de tempo as amostras foram secadas e pesadas em uma balança de precisão, assim como pode ser observado na Figura 16.

Figura 16 – Pesagem das fibras em balança de precisão.



Fonte: Autores (2019).

Com o valor das massas conhecidas, utilizou-se da Equação 5 para determinar a absorção de água da fibra.

$$Abs(\%) = \frac{m_i - m_f}{m_i} * 100 \quad (5)$$

Em que,

Abs é a absorção de água da fibra (%);

m_i é a massa seca inicial (g);

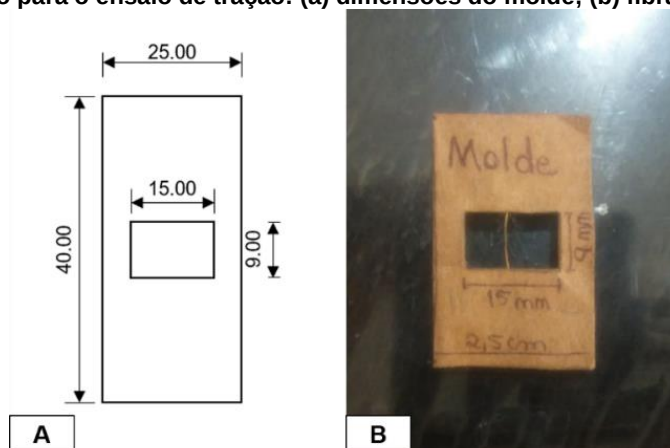
m_f é a massa após imersão em água (g).

3.2.1.4 Resistência a tração

A fim de determinar a resistência a tração das amostras de fibras do caroço do açaí, seguiu-se os parâmetros descritos na norma American Society for Testing and Materials (ASTM) D3822. Para a realização do ensaio foram utilizadas 50 amostras. As amostras foram inicialmente preparadas utilizando suporte de papel Kraft, o qual obedece a gramatura necessária para o ensaio e, são usados para distribuir uniformemente a carga aplicada na fibra, além de proteger de possíveis danos ocasionados pelas garras do equipamento.

Desta maneira, as fibras tiveram suas extremidades coladas com cianoacrilato (Superbond da Loctite) no suporte de papel Kraft, com dimensões adaptadas conforme recomendações da norma ASTM D3822, como pode ser observado na Figura 17.

Figura 17 – Preparação para o ensaio de tração: (a) dimensões do molde; (b) fibra posicionada no molde.



Fonte: Autores (2019).

O ensaio de tração nas fibras ocorreu utilizando a máquina de teste universal eletrônica controlada por computador de modelo WDW-100E, com capacidade máxima de 100kN, com sistema de aquisição de dados, célula de 100kN, a uma velocidade de 0,2 mm/min e garras pneumáticas para corpos de 0 a 7mm. A Figura 18 exibe a fibra durante o ensaio de tração.

Figura 18 – Fibra durante ensaio de tração.



Fonte: Autores (2019).

3.2.2 Produção dos painéis

A produção dos painéis acústicos seguiu o método aplicado por Bastos (2009). Assim, inicialmente, o molde metálico foi forrado com papel manteiga para que o painel não ficasse preso ao molde. Então, foram espalhadas em torno de 250g de fibras no molde de maneira uniforme para que todo o painel mantivesse aproximadamente a mesma espessura, conforme indica a Figura 19.

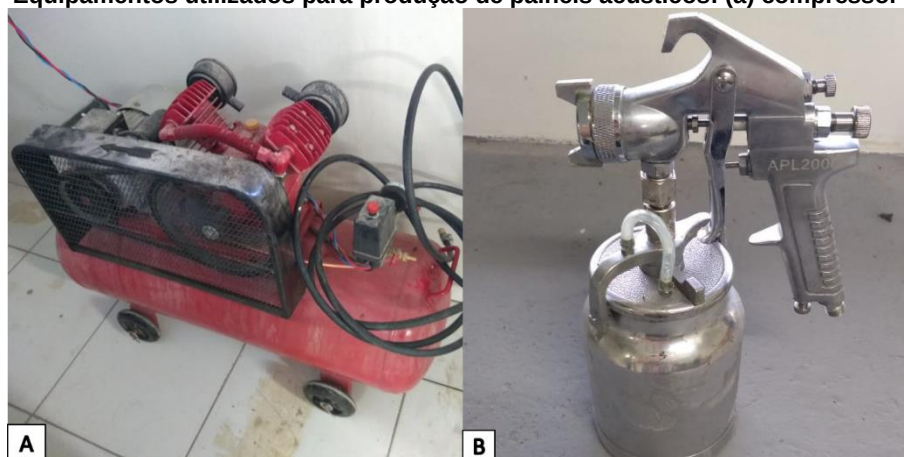
Figura 19 – Fibras espalhadas no molde.



Fonte: Autores (2019).

Logo após, foi aplicado o aglomerante através da pistola acoplada ao compressor (Figura 20), de forma que o mesmo seja aplicado em toda a camada de fibra, como ilustra a Figura 21.

Figura 20 – Equipamentos utilizados para produção de painéis acústicos: (a) compressor e (b) pistola.



Fonte: Autores (2019).

Figura 21 – Painel durante processo de aplicação do aglomerante.



Fonte: Autores (2019).

Em seguida, foi realizada a prensagem da primeira camada. Dessa forma, a tampa do molde metálico foi colocada, fechando-o e, posteriormente, foi aplicada a pressão para compactar a camada produzida. Após a prensagem, as fibras foram novamente espalhadas uniformemente pelo molde e em seguida, aplicado o aglomerante. O processo foi repetido três vezes, até que o painel atingisse 3 cm de espessura. A Figura 22 exemplifica as camadas de cada painel.

Figura 22 – Representação das camadas do painel acústico.



Fonte: Autores (2019).

A seguir, os painéis passaram pelo processo de secagem, sendo expostos ao ar livre, com ajuda do sol e do vento. Quando o aglomerante foi totalmente absorvido pelas fibras, indicou-se que o painel estava completamente seco, de maneira que, em média, o tempo para secagem durou 24 horas.

Depois do processo de secagem, os painéis foram desenformados, conforme ilustra a Figura 23.

Figura 23 – Pannel após secagem e desmolde.



Fonte: Autores (2019).

A presente pesquisa teve por finalidade testar novas geometrias para o painel acústico produzido a partir da fibra do açai. Dessa forma, foram fabricados moldes quadrados e circulares para cortar e deixar o painel com a geometria esperada. Os painéis de geometria quadrada apresentaram as dimensões 15x15 cm, enquanto os painéis de geometria circular ficaram com 15 cm de diâmetro e podem ser observados na Figura 24.

Figura 24 – Amostra dos painéis acústicos: (a) quadrado; (b) redondo.



Fonte: Autores (2019).

Após o corte dos painéis, os mesmos receberam acabamento superficial através da aplicação de tinta, com o objetivo de aperfeiçoá-los quanto à estética e ainda determinar a influência da camada de tinta quanto à propriedade acústica dos painéis. Dessa forma, foi utilizada a pistola acoplado ao compressor. Os painéis foram dispostos sobre uma lona limpa para o jateamento de tinta, como pode ser observado na Figura 25.

Figura 25 – Painéis em processo de pintura.



Fonte: Autores (2019).

Seguindo as instruções do fabricante, após a pintura os painéis foram deixados ao ar livre durante 3 horas para que a tinta secasse e em seguida, os painéis foram ensaiados quanto à propriedade acústica.

3.2.3 Propriedades do painel acústico

Para a determinação das propriedades físicas dos painéis foram consideradas as amostras originais do painel, sem considerar o formato ou a coloração dos mesmos. Assim, foram realizados os ensaios de odor, envelhecimento, fungamento e aderência no revestimento interno.

3.2.3.1 *Ensaio para determinação do odor*

O ensaio de determinação do odor tem por objetivo avaliar o comportamento olfativo do painel sob influência de temperatura e clima.

Baseando-se na norma Deutsches Institut für Normung (DIN 50011:1960) – *Testing of Materials, Structural Components and Equipment, Hot Cabinets, Directions for the Storage of Specimens* apresentado por VIEIRA (2008) e seguindo o estudo de CAMPOS (2012).

As amostras foram retiradas, segundo estabelece a norma, da área central dos painéis, medindo $50 \pm 5\text{cm}^3$ e foram armazenadas em uma câmara com temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 24 horas até o momento do ensaio, como retrata a Figura 26.

Figura 26 – Amostra armazenada para realização do ensaio olfativo.



Fonte: Autores (2019).

Para a execução do ensaio os corpos de prova foram acondicionados em béqueres, de forma que os mesmos ficassem em posição oblíqua. Com o objetivo de evitar o escapamento do ar, as tampas foram forradas com papel de filtro, antes de fechar o recipiente e serem colocados com a tampa para baixo, como ilustra a Figura 27, em estufa a uma temperatura de 70°C durante 24 horas.

Figura 27 – Corpos de prova acondicionados para ensaio olfativo.



Fonte: Autores (2019).

Para a avaliação do odor das amostras, foram utilizadas três pessoas aptas para a realização do teste, que atribuem notas de 0 a 3 para cada amostra, sendo que, o 0 significa “praticamente inodoro”; 1 “leve odor próprio, livre de odor adicional”; 2 “odores perceptíveis ou incômodos”; 3 “odores intensivos ou desagradáveis”.

A partir da classificação das notas, determinou-se que duas notas iguais determinam a nota média. Assim, considerando todas as notas diferentes, uma quarta pessoa deveria ser chamada para fazer a avaliação e determinar a nota média.

3.2.3.2 Ensaio para determinação do envelhecimento

O ensaio de envelhecimento foi realizado com o objetivo de analisar e avaliar a capacidade de deterioração do material em determinadas condições ambientais.

Utilizando como base, o estudo de VIEIRA (2008), fez-se uso de estufa com ar circulante, e seguiu-se as diretrizes determinadas pelo autor. Os corpos de prova foram condicionados por três dias, submetidos a uma temperatura de 23 ± 2 °C e à umidade relativa de 50 ± 5 %, sendo mantidos nessas condições até o momento da realização do ensaio.

Em seguida, os corpos de prova foram colocados em estufa a uma temperatura de 100 °C, por um período de 72 horas com ar circulante, como exibe a Figura 28. Após esta etapa, os painéis foram avaliados visualmente.

Figura 28 – Amostra do painel acústico durante ensaio de envelhecimento



Fonte: Autores (2019).

3.2.3.3 Ensaio para determinação do fungamento

O objetivo do teste de fungamento é verificar a suscetibilidade de aparecimento de fungos, bactérias ou qualquer organismo nocivo à saúde humana em determinadas condições ambientais (BASTOS, 2009).

Para a realização do ensaio baseou-se na pesquisa de Vieira (2008). Desta maneira, inicialmente, colocou-se as amostras em uma estufa com temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ e umidade relativa do ar a $50\% \pm 5\%$ por 48 horas, como ilustra a Figura 29. Em seguida, foi realizada a avaliação visual nos painéis.

Figura 29 – Amostra do painel acústico durante ensaio de fungamento.



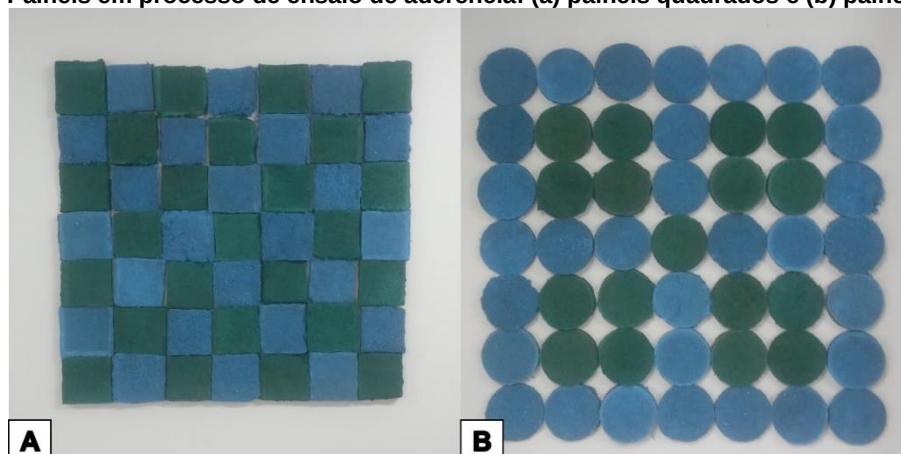
Fonte: Autores (2019).

3.2.3.4 Aderência

A análise da aderência é importante para verificar a interação entre os painéis em combinação com a fita dupla face e a superfície da parede. Desta maneira, para observar este parâmetro foi realizado o acompanhamento e análise visual dos painéis fixados na parede. Vale ressaltar que não foram encontrados estudos científicos ou normas que padronizam testes de aderência de painéis acústicos em substratos.

Portanto, foram coladas duas tiras de 15 cm de fita dupla face nas extremidades dos painéis e os mesmos foram fixados no substrato por 72 horas a fim de acompanhar o desempenho da aderência utilizando a fita selecionada para o estudo.

Figura 30 – Painéis em processo de ensaio de aderência: (a) painéis quadrados e (b) painéis redondos.



Fonte: Autores (2019).

Vale ressaltar também que, conforme pode ser observada na Figura 30 a configuração dos painéis foi planejada com o objetivo de definir um layout que favorecesse a estética do ambiente. Dessa forma, foram utilizadas duas cores de tintas para criar mosaicos a partir das colorações diferentes.

3.2.4 Caracterização Acústica

De acordo com Bastos (2009), o objetivo da caracterização acústica é determinar a viabilidade da sua utilização enquanto materiais para controle de ruído em ambientes internos. Assim, a eficácia do tratamento acústico é determinada a partir dos coeficientes de absorção, que representam uma medida da fração de energia acústica absorvida pelo sistema em relação à energia acústica incidente (VIEIRA, 2008).

Para a determinação da propriedade acústica dos painéis foram analisadas as duas geometrias produzidas, assim como, a influência da aplicação da tinta nos mesmos, formando as seguintes combinações:

- Amostra I – painel circular sem aplicação de tinta;
- Amostra II – painel circular com aplicação de tinta;
- Amostra III – painel quadrado sem aplicação de tinta;
- Amostra IV – painel quadrado com aplicação de tinta.

A escolha desta configuração se objetiva a analisar a influência da tinta na propriedade acústica dos painéis acústicos produzidos a partir da fibra do caroço do açaí.

3.2.4.1 Coeficiente de absorção sonora

O coeficiente de absorção sonora pode ser determinado de duas formas, diretamente pela câmara reverberante ou pelo tubo de impedância. Nesta pesquisa, utilizou-se uma minicâmara reverberante, desenvolvida no LABEM da UFPA.

A absorção sonora de um material é dada em metro quadrado ou em sabine, de acordo com a International Organization for Standardization (ISO) 354/2003, e foi calculada através da Equação 9.

$$A_a = \frac{55,3V}{c} \left(\frac{1}{\bar{t}_2} - \frac{1}{\bar{t}_1} \right) \quad (9)$$

Em que,

A_a é a absorção sonora (m^2 ou Sa);

$\bar{t}_2$ é o tempo de reverberação médio da câmara com a amostra em seu interior (s);

$\bar{t}_1$ é o tempo de reverberação médio da câmara sem a amostra em seu interior (s);

V é o volume da câmara reverberante (m^3);

c é a velocidade do som no meio (m/s).

Para determinar a velocidade do som no meio utilizou-se a Equação 10.

$$c = 331 + 0,6T \quad (10)$$

Onde “T” é a temperatura do meio ($^{\circ}C$).

Assim, calculou-se então, o coeficiente de absorção sonora, parâmetro adimensional, através da Equação 11, onde a absorção do material é fracionada pela área da amostra.

$$\alpha = \frac{A_a}{S} \quad (11)$$

Onde “S” é área superficial da amostra.

A câmara reverberante utilizada para os testes (Figura 31) apresenta as seguintes dimensões:

- Comprimento: 2,5 m;
- Largura: 1,6 m;
- Altura: 2,0 m;
- Volume total: 8 m³.

Figura 31 – Câmara reverberante: (a) e (b) parte externo; (c) e (d) parte interna.

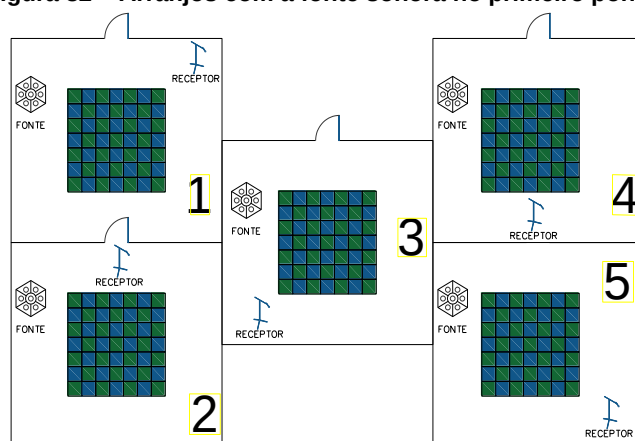


Fonte: Autores (2019).

A câmara é um ambiente construído para que a sensação do prolongamento sonoro seja aumentada, sendo assim a medição para o tempo de reverberação é possível através da fonte de ruído capaz de criar um campo sonoro difuso, ou seja, fazer com que as ondas sonoras se propaguem em todas as direções e a pressão sonora distribui-se uniformemente nesse ambiente onde realiza-se a medição.

O ensaio consistiu em 3 medições com a fonte e o microfone em uma posição, sendo trocado a posição do microfone a cada 3 medições.

Figura 32 – Arranjos com a fonte sonora no primeiro ponto.

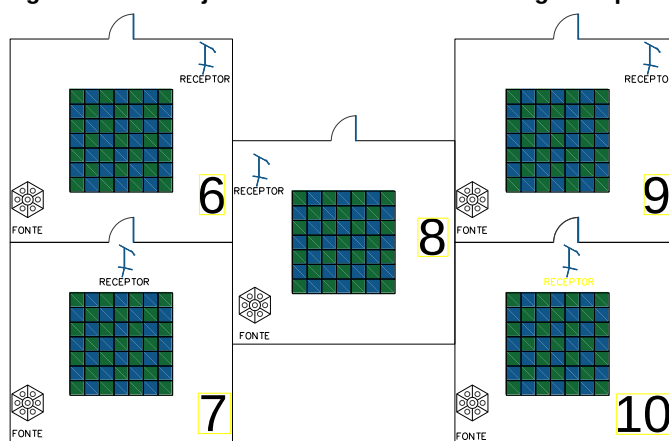


Fonte: Autores (2019).

Após 5 arranjos diferentes de posição do microfone foi realizada a troca de lugar da fonte sonora formando ao todo 5 posições sem alterar a fonte. Alterou-se a fonte e foi realizado mais 5 posições para o receptor com a fonte em outra posição, similar ao primeiro arranjo foi realizada 3 medições em cada ponto onde o microfone foi colocado com a nova posição da fonte sonora, como direciona a ISO 354/2003.

A variabilidade entre o receptor e a fonte foi necessária assim como as medições repetitivas para a maior confiabilidade dos dados, assumindo assim a média dos valores para a avaliação dos resultados.

Figura 33 – Arranjos com a fonte sonora no segundo ponto.



Fonte: Autores (2019).

Os equipamentos utilizados para auxiliar as medições na câmara reverberante estão dispostos na Tabela 4.

Tabela 4 – Equipamentos utilizados para caracterização acústica.

Equipamento	Modelo
Amplificador de Potência B&K	2716
Analizador de sinais B&K	4296
Fonte dodecaédrica B&K PULSE	3160-042
Tripés e suportes	-
1 Microfones Polarizados de Campo Difuso ½" B&K	4942
Anemômetro Termohidro Luxímetro Digital	LM-8000

Fonte: Autores (2019).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS FIBRAS DO AÇAÍ

4.1.1 Dimensões

Na Tabela 5 tem-se a especificação do resultado obtido experimentalmente, bem como alguns resultados observados na literatura para efeito de comparação.

Tabela 5 – Comprimentos médios da fibra do caroço do açaí.

Propriedade física	Valor (mm)
Comprimento médio experimental.	12,84
Lima Junior, 2007.	18,41
Mesquita, 2013.	22,00
Gehlen, 2014.	15,32

Fonte: Autores (2019).

O comprimento médio das fibras da amostragem utilizada no presente estudo foi de 12,84 mm, variando de 6,32 mm a 24,28 mm. Lima Jr (2007), afirma que na recente literatura de fibras vegetais abordadas como material de reforço para compósitos, a fibra de açaí se encontra na classe das fibras curtas.

Pôde ser observado também, que as fibras não possuem comprimentos fixos, variando de uma amostra para a outra e seu formato é elíptico. Durante a realização da verificação das dimensões das fibras, não foi possível realizar as medições quanto ao diâmetro da fibra devido a inexistência de microscópio, impossibilitando definir parâmetros relacionados às dimensões da fibra.

4.1.2 Densidade

Na Tabela 6, pode-se observar o valor da densidade encontrado para esta pesquisa, assim como o comparativo com os valores encontrados na literatura.

Tabela 6 – Densidades da fibra do caroço do açaí.

Propriedade física	Valor (g/cm³)
Densidade experimental.	1,079
Fagury, 2005.	1,308
Lima Junior, 2007.	1,110
Pereira <i>et al.</i> , 2011.	1,280
Mesquita, 2013.	1,362
Gehlen, 2014.	0,740

Fonte: Autores (2019).

A densidade experimental obtida através do ensaio apresentou o valor de 1,079 g/cm³, enquanto Mesquita (2013) atingiu o valor de 1,362 g/cm³, o maior em relação às densidades encontradas na literatura pesquisada. De maneira oposta, Gehlen (2014) obteve o valor de 0,740 g/cm³ para suas fibras.

Os demais resultados encontrados na literatura, como o de Fagury (2005) 1,308 g/cm³, Lima Júnior (2007) 1,110 g/cm³ e Pereira *et al.* (2011) 1,280 g/cm³ atingiram valores entres o máximo e mínimo discutido anteriormente.

Através da Tabela 6, pode-se verificar que o resultado obtido através desta pesquisa se encontra de acordo com as densidades encontradas na literatura. As fibras celulósicas possuem, dentre outras características, a baixa densidade (JOSEPH, MEDEIROS, CARVALHO, 1999).

Segundo Guimarães Jr *et al.* (2013), o comportamento apresentado pela densidade aparente é influenciado pelos espaços vazios e poros encontrados nas fibras vegetais. Assim, as variações encontradas na literatura são consideradas plausíveis (GEHLEN, 2014).

Devido a sua baixa densidade, a utilização de fibras aumenta seu potencial como matéria prima na utilização de compósitos, como os painéis acústicos, uma vez que, quando aplicada, não aumenta significativamente o peso do painel (MARQUES, 2009).

4.1.3 Absorção da água

A partir dos valores encontrados e com o auxílio da Equação 5 (pág. 55), foi possível determinar a porcentagem de absorção da água da fibra do caroço do açaí, assim como expõe a Tabela 7.

Tabela 7 – Absorção de água da fibra do caroço do açaí.

Tempo	Massa Após Imersão (g)	% Absorção
15 minutos	22,3457	52,22
30 minutos	21,0154	55,06
60 minutos	20,3300	56,53
24 horas	20,3295	56,53
48 horas	19,2383	58,86

Fonte: Autores (2019).

De acordo com os resultados, pode-se notar que as fibras do caroço do açaí atingiram mais que 50% de sua capacidade absorção em 15 minutos em imersão e, que apesar de se manterem imersas por até 48 horas, sua absorção não ultrapassou 60%.

Tais resultados podem ser comparados ao estudo realizado por Stringari (2016), cuja fibra de análise foi o pecíolo do butiá-anão. Nos resultados encontrados pela autora, as fibras analisadas atingiram mais que 70% de sua capacidade de absorção nos primeiros 15 minutos de ensaio, estabilizando ao chegar em 24 horas com aproximadamente 100% de absorção.

Segundo Savastano Jr e Pimentel (1997), usualmente, as fibras atingem mais que 50% de sua capacidade de absorção nos primeiros 15 minutos, assim como o resultado encontrado por Stringari (2016) e pelo programa experimental realizado.

A hemicelulose presente as fibras são as principais responsáveis pela absorção de água, mas a acessibilidade da celulose amorfa e lignina promovidas por possíveis tratamentos, também contribuem para este processo (SPINACÉ *et al.*, 2009). As fibras utilizadas neste estudo não passaram por tratamentos químicos, o que pode justificar o fato de a absorção não ter atingido sua totalidade.

4.1.4 Resistência a tração

Após medição da força de ruptura máxima atuante na fibra, com o auxílio da máquina de ensaios, foi possível determinar o alongamento máximo e, consequentemente, a deformação dada em mm/mm. O comprimento útil com o valor de 9 milímetros foi utilizado para conhecer a deformação, através da divisão do alongamento máximo pelo comprimento útil. O diâmetro adotado para fibra foi de 0,11 mm, considerando que o diâmetro da fibra de açaí da espécie *Euterpe oleraceae* varia

de 0,03 mm a 0,11 mm de acordo com Mesquita (2013) e que a área é aproximadamente circular, resultando na área do corpo de prova de 0,0094985 mm².

A Tabela 8 apresenta os resultados de resistência a tração máxima das fibras contendo a média, coeficiente de variação e os valores mínimos e máximos respectivamente.

Tabela 8 – Resistência a tração das fibras do caroço do açaí.

Média (MPa)	Coeficiente de Variação (%)	Mínimo (MPa)	Máximo (MPa)
296,88	26,24%	105,28	421,12

Fonte: Autores (2020).

Comparando os valores mínimos e máximos é possível perceber uma grande variação na obtenção dos dados. Considerando que os corpos de prova são fibras e que suas dimensões são bem pequenas (comprimento útil de 9 mm) comparado a corpos de provas massivos, essa variabilidade é compreensível, por isso a necessidade de um espaço amostral amplo, totalizando 50 corpos de prova.

Foi perceptível que o valor utilizado como área (0,0094985 mm²) para o cálculo da resistência a tração nas fibras gerou valores elevados, levando em conta que a área é inversamente proporcional a tensão, ou seja, quanto menor a área maior os valores para tensão.

Considerando o valor de tensão média encontrado nos ensaios, 296,88 MPa (Tabela 8), foi possível comparar aos de outras fibras vegetais apresentadas por Mesquita (2013), como é o caso do bagaço de cana que apresenta 222 Mpa, constando valores acima da mesma. Em contrapartida se apresenta inferior quando comparado as fibras de Curauá que variam de 500 MPa a 1150 MPa.

4.2 PROPRIEDADES DO PAINEL ACÚSTICO

4.2.1 Olfativo

Os resultados obtidos através do ensaio olfativo para os painéis sem tingimento encontram-se dispostos na Tabela 9.

Tabela 9 – Resultado das amostras quanto ao ensaio olfativo.

Avaliadores	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
1	0	0	1
2	1	0	0
3	1	0	1
Nota Final	1	0	1

Fonte: Autores (2019).

Dessa forma, de acordo com as notas finais descritas na Tabela 9, as amostras 1 e 3 foram consideradas com “leve odor próprio, livre de odor adicional” e a amostra 2 “praticamente inodoro”, sendo assim, consideradas aprovadas quanto ao odor.

Os resultados encontrados na pesquisa se assemelham à literatura, onde Bastos (2009), obteve a nota média de “1” para os painéis produzidos a partir da fibra do caroço do açaí. Da mesma forma, Campos (2012) e Vieira (2008), em seus resultados quanto ao odor dos painéis fabricados a partir de fibra de aveia e cana-de-açúcar e da fibra de coco, respectivamente, também obtiveram bons resultados, tendo confirmado o bom desempenho dos painéis.

Os resultados encontrados na pesquisa, demonstram a viabilidade da utilização de fibras como matéria prima de painéis acústicos, uma vez que a combinação com a resina epóxi não gera odor desagradável, possibilitando sua utilização em locais fechados.

4.2.2 Envelhecimento

Após o ensaio de envelhecimento, a amostra dos painéis encontrava-se como ilustra a Figura 34.

Figura 34 – Painéis após ensaio de envelhecimento.



Fonte: Autores (2019).

Os painéis não apresentaram nenhum tipo de desgaste, mantendo suas características iniciais, sem exibir sinais de fragilização, quebras ou destruição da peça. Dessa forma, pode-se considerar que os resultados obtidos foram satisfatórios.

Este resultado se equipara ao encontrado nas pesquisas de Vieira (2008), Bastos (2009) e de Campos (2012). Em suas respectivas pesquisas com resíduos de fibras vegetais, os autores obtiveram resultados semelhantes, considerando seus painéis aptos para utilização.

Vale ressaltar que, o aglomerante utilizado pode ter influenciado os resultados, devido sua natureza sintética, aumentando a resistência à umidade, ao calor dos painéis, além da sua vida útil, possibilitando a utilização do painel em locais fechados.

4.2.3 Fungamento

Após o tempo necessário de avaliação do ensaio de fungamento, observou-se que os painéis não apresentaram nenhum tipo de alteração relacionada à fungos, bactérias ou qualquer outro organismo, como pode ser analisado na Figura 35. Dessa forma, os resultados foram considerados satisfatórios para todos os painéis analisados.

Figura 35 – Painel após ensaio de fungamento.



Fonte: Autores (2019).

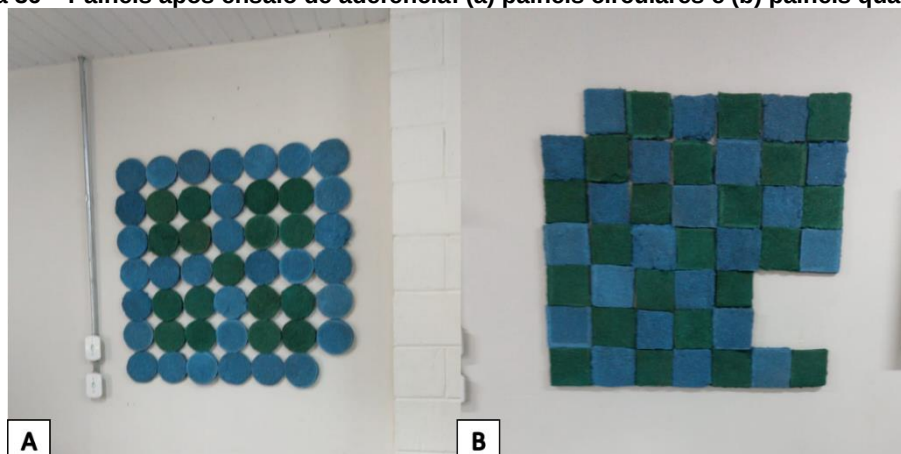
Assim como o resultado obtido, os autores de referência, Vieira (2008), Bastos (2009) e Campos (2012), possuíram resultados semelhantes, de forma que os painéis fabricados pelos autores citados, não apresentaram colônias de fungo que pudessem ser observadas a olho nu.

O ensaio realizado não contou com análise microscópicas para verificar a presença de colônias que não pudessem ser observadas a partir do ensaio visual. Apesar disso, o painel confeccionado foi considerado eficiente para a função proposta pelos autores.

4.2.4 Aderência

Ao longo do tempo de ensaio, 72 horas, os painéis mantiveram-se, em sua maioria, fixados ao revestimento, apresentando alguns descolamentos, como pode ser notado na Figura 36.

Figura 36 – Painéis após ensaio de aderência: (a) painéis circulares e (b) painéis quadrados.



Fonte: Autores (2019).

Apesar de apresentar alguns painéis soltos, pode-se notar que, em sua maioria, os painéis continuaram fixos no substrato. O deslocamento parcial das amostras pode ser determinado pela umidade do local, que gera influencia quanto à sua aderência, de forma que, seja necessário a utilização de material colante mais resistente, podendo ser empregada fitas dupla face com maior resistência disponíveis no mercado ou ainda, pesquisar novos métodos de fixar o painel ao revestimento interno.

Ainda assim, é possível atestar a funcionalidade do painel quando aderido ao revestimento interno, uma vez que, os painéis de formato circular apresentaram uma taxa de falha de aproximadamente 2%, enquanto os painéis quadrados apresentam 10% de taxa de falha. Dessa forma, os painéis circulares tiveram resultados superiores aos painéis quadrados quanto à aderência.

Vale ressaltar ainda, que os painéis mantiveram-se com a fita adesiva no produto, de forma que a fita adesiva não foi suficiente para manter a fixação no revestimento interno, reforçando a possibilidade de experimentar novos métodos de fixação entre o painel e o substrato.

4.3 COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA

O coeficiente de absorção sonora dos painéis foi obtido após a utilização do método da interrupção de ruído, sendo definido o decaimento sonoro por banda de frequência com o auxílio de um analisador de frequências para aferir os resultados. As amostras posicionadas tem a área conhecida e foi aferida em 1,1 m². A temperatura na câmara assumida com 28° C, sendo assim possível conhecer a velocidade do som através da Equação 10 (pág. 66).

Sendo conhecido o tempo de reverberação dentro câmara reverberante sem as amostras que é característico da própria câmara, levando em conta as suas dimensões, ao posicionar as amostras a área conhecida como refletora passa a absorver a energia sonora e minimiza as reflexões das ondas sonoras, reduzindo então o tempo de reverberação além de diminuir a pressão sonora e melhorar o nível de inteligibilidade.

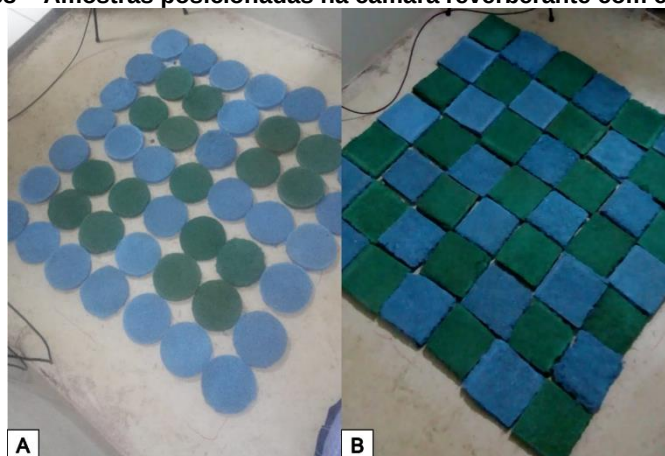
Figura 37 – Amostras posicionadas na câmara reverberante sem coloração.



Fonte: Autores (2019).

Os painéis circulares sem cores foram definidos como Amostra I, os painéis quadrados sem cores como Amostra III. Com a conclusão das amostras sem cores os painéis coloridos foram submetidos ao ensaio na câmara reverberante.

Figura 38 – Amostras posicionadas na câmara reverberante com coloração.



Fonte: Autores (2019).

Os painéis circulares coloridos foram definidos como Amostra II e Amostra IV para os quadrados com coloração, a Tabela 10 mostra o tempo médio em segundos para dissipação da energia sonora em cada frequência incluindo o tempo da para a câmara vazia.

Tabela 10 – Medições realizadas na câmara reverberante.

Freq. (Hz)	Câmara vazia (s)	Amostra I	Amostra II	Amostra III	Amostra IV
125	5.06	2.89	3.51	2.72	3.33
160	5.69	2.34	2.33	2.26	2.05
200	4.23	2.02	1.82	1.87	1.90
250	5.99	2.87	2.62	2.35	2.41
315	4.95	2.52	2.24	2.19	2.15
400	4.97	2.34	2.63	2.19	2.38
500	4.80	2.13	2.22	1.94	2.20
630	4.71	1.94	1.93	1.66	1.63
800	3.82	1.68	1.61	1.44	1.44

1000	3.94	1.58	1.46	1.33	1.20
1250	3.17	1.32	1.41	1.17	1.14
1600	2.53	1.15	1.11	0.96	0.95
2000	2.23	0.98	1.02	0.88	0.92
2500	2.08	0.89	0.92	0.85	0.82
3150	1.86	0.87	0.84	0.77	0.79
4000	1.74	0.80	0.80	0.77	0.80
5000	1.61	0.80	0.84	0.76	0.79

Fonte: Autores (2019).

A absorção sonora do material foi calculada através da Equação 10 (pág. 66). O coeficiente de absorção sonora foi calculado a partir da Equação 11 (pág. 66). Os respectivos valores para o coeficiente de absorção sonora de cada amostra são apresentados na Tabela 11.

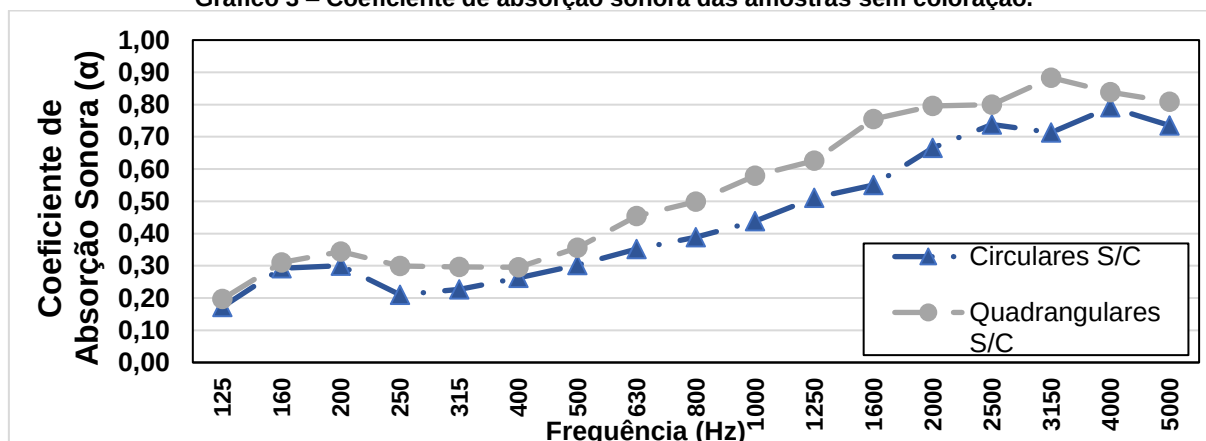
Tabela 11 – Coeficiente de absorção sonora das amostras.

Freq. (Hz)	Amostra I	Amostra II	Amostra III	Amostra IV
125	0.17	0.10	0.20	0.12
160	0.29	0.29	0.31	0.36
200	0.30	0.36	0.34	0.34
250	0.21	0.25	0.30	0.29
315	0.23	0.28	0.30	0.31
400	0.26	0.21	0.30	0.25
500	0.30	0.28	0.36	0.29
630	0.35	0.35	0.45	0.47
800	0.39	0.42	0.50	0.50
1000	0.44	0.50	0.58	0.67
1250	0.51	0.46	0.63	0.65
1600	0.55	0.59	0.75	0.76
2000	0.67	0.62	0.80	0.74
2500	0.74	0.70	0.80	0.86
3150	0.71	0.76	0.88	0.83
4000	0.79	0.79	0.84	0.79
5000	0.74	0.66	0.81	0.75

Fonte: Autores (2019).

Com os resultados disponíveis, foi possível analisar o desempenho dos painéis em comparação geométrica antes da coloração (Gráfico 3).

Gráfico 3 – Coeficiente de absorção sonora das amostras sem coloração.



Fonte: Autores (2019).

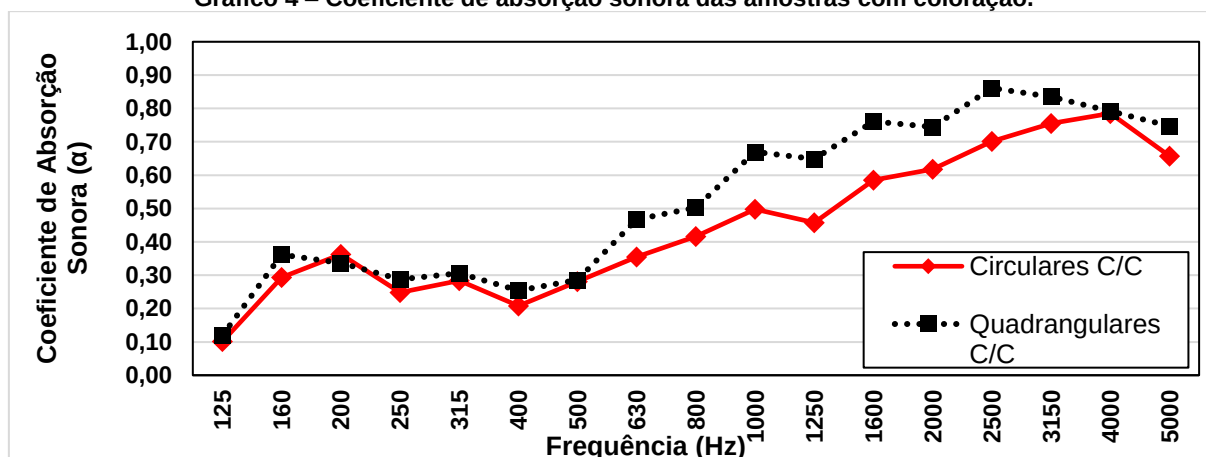
De acordo com o Gráfico 3, observa-se que o desempenho dos painéis circulares e quadrangulares, para a mesma área efetiva de absorção ($1,10 \text{ m}^2$), é substancialmente diferente, especialmente a partir de 500 Hz, com diferenças superiores a 25%, em termos do coeficiente de absorção sonora, em algumas bandas de frequência do espectro sonoro.

Adicionalmente, observa-se que o desempenho acústico dos painéis produzidos é crescente com a frequência, característica comum aos materiais absorvedores sonoros tradicionais. Ainda, o valor máximo de coeficiente de absorção sonora medido para os painéis circulares foi de 0,79 e 0,88 para os quadrangulares.

Essa diferença é explicada, embora as amostras tivessem a mesma área efetiva, em razão dos espaços (superfícies refletoras sonoras) entre as amostras posicionadas no piso da câmara, os quais eram mais significativos para as amostras circulares, acarretando em um desempenho menor. O arranjo ideal entre amostras prevê espaçamento mínimo entre elas para promover maior eficiência.

Após a coloração dos painéis, os resultados são apresentados no Gráfico 4, onde consta o coeficiente de absorção sonora em cada frequência de acordo com a geometria das amostras. Observa-se novamente que, de acordo com o Gráfico 4, as curvas de absorção sonora passam a se diferenciar a partir de 500 Hz, indicando que a tintura empregada tem pouca influência sobre as propriedades de absorção sonora dos painéis produzidos.

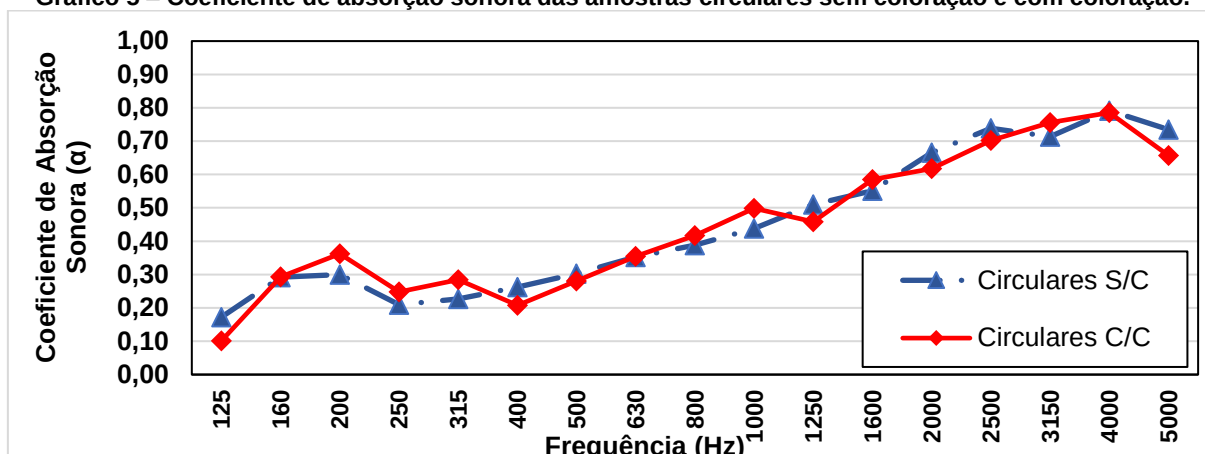
Gráfico 4 – Coeficiente de absorção sonora das amostras com coloração.



Fonte: Autores (2019).

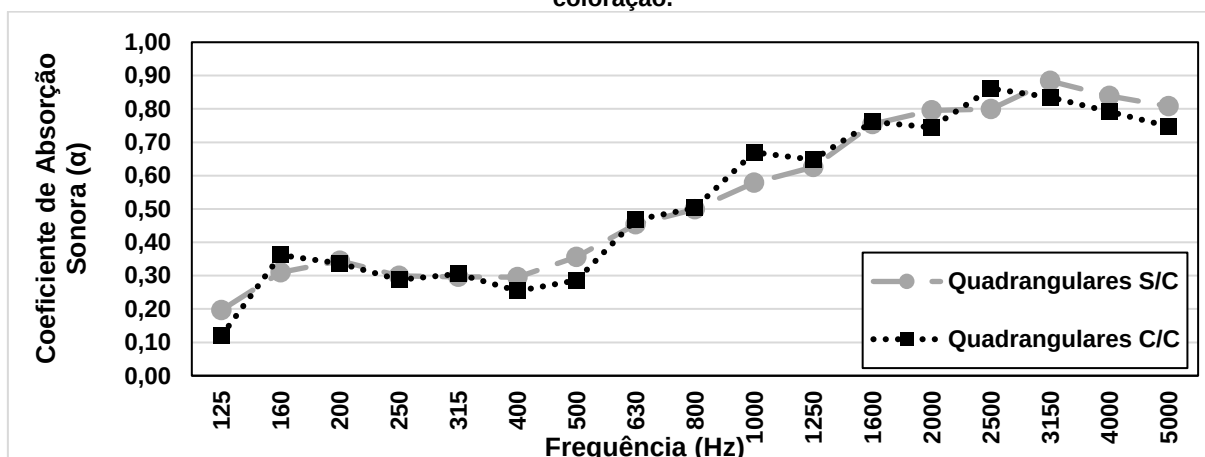
Tal comportamento é corroborado conforme comparações de desempenho apresentadas nos Gráficos 5 e 6, que comparam o desempenho dos painéis circulares e quadrangulares, respectivamente, com e sem a aplicação da tintura.

Gráfico 5 – Coeficiente de absorção sonora das amostras circulares sem coloração e com coloração.



Fonte: Autores (2019).

Gráfico 6 – Coeficiente de absorção sonora das amostras quadrangulares sem coloração e com coloração.



Fonte: Autores (2020).

É importante ressaltar que frequências no intervalo de 500Hz e 2kHz tem maior importância no que diz respeito a função dos painéis quanto à inteligibilidade da fala, já que grande parte das frequências inerentes à fala humana está presente nesse intervalo, tendo um peso maior para o entendimento e comunicação verbal. (BASTOS, 2009).

Em outras palavras, quanto maior a absorção sonora do material nesta faixa de frequências, maior será sua contribuição à inteligibilidade do ambiente. Para essa faixa de frequências, os painéis pintados quadrados apresentaram coeficientes de absorção sonora entre 0,3 e 0,8, enquanto que os painéis circulares apresentaram valores entre 0,28 a 0,6.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

5.1 CONCLUSÕES

Este trabalho objetivou-se a produzir e avaliar a eficácia de painéis acústicos produzidos com a fibra do caroço de açaí para controlar ruídos em ambientes internos. Após alcançar este objetivo, as seguintes conclusões foram inferidas.

Quanto à produção dos painéis, foi possível perceber que em larga escala o método utilizado pode se tornar eficiente se houver mecanização no processo do corte dos painéis em amostras menores. Entretanto, nas laterais das amostras foi possível perceber que a aglomeração das fibras ficou comprometida, sendo necessário a aplicação do aglomerante novamente.

Os painéis fabricados apresentaram boas características quanto à sua agregação o que facilitou sua utilização como painéis para melhorar as características acústicas de ambientes internos. Ainda, devido ao seu bom aspecto visual, especialmente após a aplicação de tintura, os painéis de fibra de açaí podem ser utilizados com uma opção atrativa de decoração funcional sob o conceito de “azulejos acústicos”.

Os painéis acústicos obtiveram resultados satisfatórios quanto às suas propriedades física, sensorial e biológica, tendo sido considerado qualificado para utilização em ambientes internos. Contudo, para um aumento em seus resultados, aconselha-se realizar tratamento químico nas fibras previamente à sua utilização na produção dos painéis, tornando o produto final mais resistente.

Analisando a aderência dos painéis no revestimento interno, obteve-se resultados aceitáveis, com uma taxa de falha admissível para um primeiro teste, uma vez que na literatura não se obteve método para este fim. Dessa forma, é recomendável que seja utilizado novos métodos de fixação entre o painel e o substrato a fim de garantir resultados melhores.

Quanto à aplicação acabamento superficial nas amostras, a mesma melhorou substancialmente o aspecto visual das amostras sem prejudicar seu desempenho acústico. Adicionalmente, uma gama de tinturas pode ser empregada, conforme a necessidade dos ambientes que receberão os painéis.

Quanto ao desempenho acústico dos painéis, pôde-se obter resultados satisfatórios quanto as duas geometrias utilizadas, assim como analisou-se que a utilização do acabamento superficial não alterou o desempenho acústicos dos painéis. Apesar disto, os painéis de geometria quadrada obtiveram melhores resultados devido a área abrangida pela formação do mosaico, não permitindo que houvessem espaços vazios, como no mosaico formado pelos painéis de geometria circular.

Por fim, embora os processos utilizados tenham obtido êxito em seu produto final, identificou-se grande margem para melhoria nos processos artesanais utilizados, os quais, após serem automatizados, aumentariam a produção bem como melhorariam seu acabamento, padronizando as amostras produzidas.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com base na pesquisa realizada, recomenda-se a elaboração de novos estudos a fim de reafirmar os resultados obtidos no trabalho e atestar a viabilidade da aplicação de acabamento superficial nos painéis quanto às propriedades físicas, sensoriais e biológicas. Assim, sugere-se alguns temas para pesquisas futuras:

- Considerar o acabamento superficial em ensaios relacionados às demais propriedades do painel – física, sensorial, biológica e mecânica;
- Mecanizar o processo de produção dos painéis, tornando-o mais ágil e com maior qualidade, utilizando moldes para a produção dos painéis ao invés de utiliza-los para cortes;
- Avaliar a viabilidade dos painéis quanto sua aplicação em biombos e divisórias acústicas;
- Testar novas geometrias e verificar o desempenho dos painéis quanto à sua propriedade acústica;
- Verificar a eficácia na mistura de outras fibras disponíveis na região para produção dos painéis;
- Experimentar novos métodos de fixação do painel no revestimento interno.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 11702**: Tintas para construção civil – Tintas, vernizes, texturas e complementos para edificações não industriais – Classificação e requisitos. Rio de Janeiro, 2019.

_____. **NBR 11936**: Determinação do peso específico de plásticos com o uso de picnômetro – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 15079**: Tintas para construção civil – Requisitos mínimos de desempenho – Parte 1: Tinta látex fosca nas cores claras. Rio de Janeiro, 2019.

_____. **NBR 15572**: Ensaaios não destrutivos — Termografia — Guia para inspeção de equipamentos elétricos e mecânicos. Rio de Janeiro, 2013.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D3822/D3822M**: Standard Test Method for Tensile Properties of Single Textile Fibers. 2014.

BAÑON GOMIS, A. J. et al. Rethinking the Concept of Sustainability. **Business and Society Review**, v. 116, n. 2, p. 171-91, 2011.

BARBIERI, José Carlos. Inovação e sustentabilidade: novos modelos e proposições. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v. 50, n. 2, p. 146-154, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rae/v50n2/02.pdf>. Acesso em: 11 fev. 2020.

BARBOSA, G. S.; DRACH, P. R.; CORBELLA, O. D. A Conceptual Review of the Terms Sustainable Development and Sustainability. **International Journal of Social Sciences**, v. III, n. 2, 2014.

BASTOS, Leopoldo Pacheco. **Desenvolvimento e caracterização acústica de painéis multicamadas unifibra, multifibra e mesclados, fabricados a partir de fibras vegetais**. Orientador: Prof Dr Gustavo da Silva Vieira Melo. 2009. 157 p. Dissertação (Mestre em Engenharia Mecânica) - Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2009. Disponível em: <http://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/5564>. Acesso em: 20 jan. 2020.

BERTOLINI, Geysler Rogis Flor *et al.* Modelo de análise de investimentos para fabricação de produtos ecologicamente corretos. **Revista Gestão & Produção**, São Carlos, v. 19, n. 3, p. 575-588, 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/gp/v19n3/10.pdf>. Acesso em: 11 fev. 2020.

BEZERRA, V. S.; FREITAS-SILA, O.; DAMASCENO, L. F. Açaí: produção de frutos, mercado e consumo. In: Jornada Científica da Embrapa Amapá, II., 2016, Amapá. **Anais eletrônicos**, EMBRAPA: Amapá, 2015, p. 1. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/152645/1/CPAF-AP-2016-Acai-producao-de-frutos.pdf>. Acesso em: 21 jan. 2020.

BISTAFA, Sylvio R. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. São Paulo: Edgard Blucher, 2006.

Bledzki, A.K. and Gassan, J. (1999) Composites Reinforced with Cellulose Based Fibres. *Progress in Polymer Science*, 24, 221-274. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/S0079-6700\(98\)00018-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0079-6700(98)00018-5). Acesso em: 20 jan. 2020.

BRANDÃO, Eric C. **APLICAÇÃO DE ABSORVEDORES TIPO MEMBRANA EM CAVIDADES E FILTROS ACÚSTICOS**. Dissertação de Mestrado – UFSC. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis - SC, 2008.

CAMPOS, Rubya Vieira de Mello. **Painéis para tratamento acústico utilizando fibras naturais**. Orientador: Prof. Dr. Paulo Fernando Soares. 2012. 113 p. Dissertação (Mestre em Engenharia Urbana) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2012. Disponível em: <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/bitstream/1/3576/1/000210592.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2020.

CAVANAUGH, William J.; TOCCI, Gregory C.; WILKES, Joseph A. **Architectural Acoustics: Principles and Practice**. Hoboken: John Wiley and Sons, 2009.

COSTA, Rodrigo Lessa. Levantamento Etnohistórico do uso de artefatos de fibras vegetais no Brasil quinhentista. *Architecton*, v. 4, p. 100, 2014. Disponível: <https://faculadadedamas.edu.br/revistafd/index.php/arquitetura/article/view/304/291>. Acesso em: 20 jan. 2020.

COUTINHO, Rebeca Venancio. **A exploração do açaí como alternativa para o desenvolvimento econômico da Amazônia legal**: estudo de caso do Estado do

Pará (1990-2010). Orientador: Prof^a. Dra. Marcelle Ivie da Costa Silva. 2017. 87 p. Dissertação (Mestre em Desenvolvimento Regional) - UFRR, Boa Vista, 2017.

CUNHA, Paulo Waldemiro Soares. **Estudo sobre as potencialidades de compósitos a base de gesso e fibras de coco seco para aplicação na construção civil**. Orientador: Prof. Dr. Uilame Umbelino Gomes. 2012. 120 p. Tese de Doutorado (Doutor em Ciência e Engenharia dos Materiais) - UFRN, Natal, 2012. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/12847/1/EstudoPotencialidadesComp%C3%B3sitos_Cunha_2012.pdf. Acesso em: 11 fev. 2020.

DEUS, Rafael Mattos; BATTISTELLE, Rosane Aparecida Gomes; SILVA, Gustavo Henrique Ribeiro. Resíduos sólidos no Brasil: contexto, lacunas e tendências. **Eng Sanit Ambient**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 04, p. 1-14, 2015. DOI 10.1590/S1413-41522015020040129347. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/esa/v20n4/1413-4152-esa-20-04-00685.pdf>. Acesso em: 21 jan. 2020.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. DIN 50011: **Testing of Materials, Structural Components and Equipment, Hot Cabinets, Directions for the Storage of Specimens**. 1960.

FAHY, Frank *et al.* **Foundations of Engineering Acoustics**. 1st Edition. United Kingdom: Academic Press, 2000. 443 p. ISBN 0-12-247665-4. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/book/9780122476655/foundations-of-engineering-acoustics>. Acesso em: 20 jan. 2020.

FEIL, Alexandre André; SCHREIBER, Dusan. Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável: desvendando as sobreposições e alcances de seus significados. **Cadernos EBAPE.BR**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 3, p. 667-681, 2017. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/cebape/v15n3/1679-3951-cebape-15-03-00667.pdf>. Acesso em: 11 fev. 2020.

FERRI, Mariana Cristina *et al.* Análise da viabilidade de investimentos para tornar ecologicamente correto o produto de uma pequena empresa. **Revista da Micro e Pequena Empresa**, São Paulo, v. 6, n. 2, p. 1-22, 2012. Disponível em: <http://www.cc.faccamp.br/ojs-2.4.8-2/index.php/RMPE/article/view/409/238>. Acesso em: 11 fev. 2020.

GEHLEN, Larissa Rossi. **Efeito da utilização de fibras lignocelulósicas (açai e curauá) em compósitos com matriz de resina poliéster insaturado**. Orientador:

Profa. Dra. Thais Helena Demétrio Sydenstricker Flores – Sahagun. 2014. 104 p. Dissertação (Mestre em Engenharia e Ciência dos Materiais) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná., Curitiba, 2014. Disponível em: <http://www.pipe.ufpr.br/portal/defesas/dissertacao/273.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2020.

GIANNINI, Camila Fernanda. **Painéis para tratamento acústico utilizando resíduos de fibras naturais**: uma alternativa de desenvolvimento sustentável na região de Maringá, PR. Orientador: Prof. Dr. Paulo Fernando Soares. 2013. 119 p. Dissertação (Mestre em Engenharia Urbana) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2013. Disponível em: <http://www.peu.uem.br/CamilaGianini.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2020.

GONÇALVES, Fernando Antonio de Castro *et al.* Fibras Vegetais: Aspectos Gerais, Aproveitamento, Inovação Tecnológica e uso em Compósitos. **Revista ESPACIOS**, Venezuela, v. 39, n. 06, p. 1-16, 2018. Disponível em: <http://www.revistaespacios.com/a18v39n06/a18v39n06p12.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2020.

GOUVÊA, A. C. M. S. **Quantificação das antocianinas majoritárias do açaí por cromatografia líquida de alta eficiência**. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 63 f. 2010.

GUIMARÃES JUNIOR, Mário *et al.* Caracterização físico-química de fibra e polpas de *Bambusa vulgaris* Schrad para utilização em compósitos poliméricos. **Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales**, Venezuela, v. 33, n. 01, p. 33-42, 2013. Disponível em: <http://www.rlmm.org/ojs/index.php/rlmm/article/view/262>. Acesso em: 21 jan. 2020.

HAGE, Fernando. Plantas Fibrosas da Amazônia: Matéria-prima para a inovação. In: Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design, 10., 2012, São Luís. **Anais eletrônicos**, P&D Design: São Luís, 2012, p. 16. Disponível em: https://www.academia.edu/4824337/Plantas_Fibrosas_da_Amaz%C3%B4nia_Mat%C3%A9ria-prima_para_a_inova%C3%A7%C3%A3o_Fibers_Plants_from_Amazon_materials_for_innovation. Acesso em: 20 jan. 2020.

HOMMA, A. K. O. et al. Açaí: novos desafios e tendências. Amazônia: **Ciência & Desenvolvimento**. Belém, v. 1, m. 2, jan./jul. 2006. 17p. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/AcaiDesafiosTendencias_000gbxy53ay02wx5ok01dx9lc1robpn.pdf. Acesso em: 24 jan. 2020.

IBGE. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, v. 31, Brasil, 2016. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/74/pevs_2016_v31.pdf. Acesso em: 20 jan. 2020.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 354**: Acoustics - Measurement of sound absorption in a reverberation room. 2003.

JACOBI, P. Educação ambiental, cidadania e sustentabilidade. **Cadernos de Pesquisa**, São Paulo, n. 118, p. 189-205, mar. 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/cp/n118/16834.pdf>. Acesso em: 11 fev. 2020.

KLOCK, Umberto *et al.* **Química da Madeira**. 3ª. ed. rev. Curitiba: [s. n.], 2005. 86 p. Disponível em: <http://www.marioloureiro.net/ciencia/biomass/quimicadamadeira.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2020.

LIMA JÚNIOR, Ubirajara Marques. **Fibras da semente do açaizeiro (Euterpe oleracea MART.)**: Avaliação quanto ao uso como reforço de compósitos fibrocimentícios. Orientador: Profa. Dra. Eleani Maria da Costa. 2007. 145 p. Dissertação (Mestre em Engenharia e Tecnologia dos Materiais) - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007. Disponível em: <http://repositorio.pucrs.br/dspace/handle/10923/3384#preview>. Acesso em: 20 jan. 2020.

LINDSEY, T. C. Sustainable principles: common values for achieving sustainability. **Journal Cleaner Production**, v. 19, n. 5, p. 561-65, 2011.

LOBATO, Renan. Secretarias municipais apresentam projeto sobre destinação dos resíduos do açaí. **Rede Pará**, Belém, 21 jan. 2020. Disponível em: <https://redepara.com.br/Noticia/197487/secretarias-municipais-apresentam-projeto-sobre-destinacao-dos-residuos-do-acai>. Acesso em: 21 jan. 2020.

LUZ, L. M. C.; *et al.* Comportamento mecânico sob flexão e impacto de compósitos de matriz polimérica e fibra de açaí. In: Congresso Brasileiro de Engenharia e

Ciência dos Materiais, 21., 2014, Cuiabá. **Anais eletrônicos**, CBECIMAT: Cuiabá, 2014, p. 8. Disponível em: <http://www.metallum.com.br/21cbecimat/CD/PDF/204-122.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2020.

MANO, Eloisa Biasotto; MENDES, Luís Cláudio. **Introdução a Polómeros**. 2^a. ed. rev. e aum. São Paulo: Edgard Blücher LTDA, 2004. 208 p. ISBN 85-21 2-0247-4. Disponível em: http://www.ifba.edu.br/professores/iarasantos/QUI%20541_Qu%C3%ADmica%20de%20pol%C3%ADmeros/Livros/196043333-Introducao-a-polimeros-2a-edicao-Mano-Eloisa-Biasotto.pdf. Acesso em: 20 jan. 2020.

MARROQUIM, S. **Uso da fibra de coco e látex na engenharia automotiva: memorial da Crina-Látex do Brasil**. Abreu e Lima: ABRACOCO, 1994.

MATOS, N. L. PEREIRA, S. F. B. Estudo Comparativo Das Características De Absorção Sonora De Painéis De Fibra De Açaí E Juta Com Geometrias Superficiais Planas E Não Plana. **Trabalho de Conclusão de Curso**. 2019.

MAZLOOMI, M.; HASSAN, A. S. **Sustainable Development**: Divergences and complexities in Interpretation. In: 2nd INTERNATIONAL CONFERENCE ON BUILT ENVIRONMENT IN DEVELOPING COUNTRIES, p. 310-322, 2008.

MAZZEU, Fábio. **Painel acústico**: o que é, para que serve e como usar. [S. l.], 18 set. 2018. Disponível em: <http://fabiomazzeu.com/o-que-e-painel-acustico-para-que-serve-e-como-usar/>. Acesso em: 11 fev. 2020.

MEDINA, J. C. **Plantas fibrosas da flora mundial**. Campinas/SP, 1959.

MESQUITA, Antonio de Lima. **Estudos de processos de extração e caracterização de fibras do fruto do açaí (Euterpe oleracea MART.) da Amazônia para produção de ecopainel de partículas homogêneas de média densidade**. Orientador: Prof. Dr. Lênio José Guerreiro de Faria. 2013. 189 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia) - Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2013. Disponível em: <http://proderna.propesp.ufpa.br/ARQUIVOS/teses/Antonio.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2020.

MORI, K.; CHRISTODOULOU, A. Review of sustainability indices and indicators: Towards a new City Sustainability Index (CSI). **Environmental Impact Assessment Review**, v. 32, n. 1, p. 94-106, 2012.

NASCIMENTO, Luis Felipe. **Gestão ambiental e sustentabilidade**. Brasília: Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, 2012. 148 p. ISBN 978-85-7988-169-5. Disponível em: http://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2012/09/Livrotexto_Gestao_Ambiental_Sustentabilidade.pdf. Acesso em: 11 fev. 2020.

NASCIMENTO, L. K. P. do. Canais Reversos dos Resíduos da Produção de Polpa de Açaí na Cidade de Castanhal-PA: Uma abordagem orientada por processos. In: Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção, VII., 2017, Ponta Grossa. **Anais eletrônicos**, CONBREPRO: Ponta Grossa, 2017, p. 12. Disponível em: <http://www.aprepro.org.br/conbrepro/2017/down.php?id=2827&q=1>. Acesso em: 20 jan. 2020.

NETO M.A.M. **Caracterização anatômica e bioquímica de sementes de açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart) durante a germinação em condições de anoxia e normoxia**. Universidade federal de Lavras (UFLA). Tese de Doutorado. Minas Gerais. 86 f (2004).

NOGUEIRA, Oscar Lameira. Sistema de produção do Açaí. Embrapa Amazônia Oriental. Sistemas de Produção, 4 - 2ª Edição, Versão Eletrônica Dez./2006. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/408196/1/SISTEMAPROD4ONLINE.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2020.

NOGUEIRA, A. K. M.; SANTANA, A. C. de. Análise de Sazonalidade de Preços de Varejo de Açaí, Cupuaçu e Bacaba no Estado do Pará. **Revista de Estudos Sociais**. n. 21, v. 1, 2009. 13p.

OLIVEIRA, Ernanda Rodrigues de. **Caracterização estrutural e determinação de propriedades mecânicas de compósito de fibra vegetal**. Orientador: Prof. Dr. Warley Augusto Pereira. 2017. 18 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade de Rio Verde, Rio Verde, 2017

Oliveira, Sâmela. (2019). O direito ao sossego: uma análise do artigo 1.277 do Código Civil à luz da Constituição Federal. **Revista Brasileira de Direito Civil em Perspectiva**. 4. 39. 10.26668/IndexLawJournals/2526-0243/2018.v4i2.4927.

PAINEL acústico. São Paulo: Speed Dry - Isolamento Acústico, 2018. Disponível em: <http://www.speeddry.com.br/painel-acustico>. Acesso em: 11 fev. 2020

QUIRINO, Luana Andrade Lima; PEREIRA, Jógerson Pinto Gomes. Geração de resíduos sólidos: A percepção da população de São Sebastião da Lagoa de Roça, Paraíba. **Revista Monografias Ambientais**, Santa Maria, v. 15, n. 1, p. 1-12, 2016. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/remoa/article/view/19452/pdf>. Acesso em: 20 jan. 2020.

QUIRINO, Magnólia Grangeiro. **Estudo de matriz polimérica produzida com resina natural e fibra da semente de açaí (Euterpe precatória)**. Orientador: Prof. Dr. Raimundo Pereira de Vasconcelos. 2010. 156 p. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) - Faculdade de Tecnologia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2010. Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/3472>. Acesso em: 20 jan. 2020.

REIS, Igor. Açaí movimenta mais de R\$ 1,5 bilhão na economia paraense. **Revista AgroPará**, Parpa, 15 dez. 2019. Disponível em: <https://www.diarioonline.com.br/noticias/agropara/543280/acai-movimenta-mais-de-r-15-bilhao-na-economia-paraense>. Acesso em: 21 jan. 2020.

ROCHA R.B. et al. **Avaliação da variabilidade do peso médio de sementes de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.)**. Rondônia: EMBRAPA, 2008. (Circular Técnica, 104. ISSN 0103-9334).

ROOS, Alana; BECKER, Elsbeth Leia Spode. Educação ambiental, educação e tecnologia ambiental. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 5, n. 5, p. 857-866, 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/reget/article/viewFile/4259/3035>. Acesso em: 11 fev. 2020.

SANTANA, S. V.O. O Direito Ao Sossego: Uma Análise Do Artigo 1.277 Do Código Civil À Luz Da Constituição Federal. **Revista Brasileira de Direito Civil em Perspectiva**. v. 4, n. 2. p. 39-61| Jul/dez. Porto Alegre, RS. 2018.

SANTOS, Rosimeire Expedita dos. **Análise do processo de produção de placas elaboradas com fibras naturais para uso na construção civil**. Orientador: Prof. Dra. Doralice Aparecida Favaro Soares. 2015. 132 p. Dissertação (Mestre em Engenharia Urbana) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2015. Disponível em:
<http://www.peu.uem.br/RosimerieExpedita.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2020.

SCHUH, Thomas G. **Renewable Materials for Automotive Applications**. Daimler-Chrysler AG. Stuttgart, Alemanha, 1997. Disponível em:
<http://www.ienica.net/fibresseminar/schuh.pdf>.

SILVA, Diógenes Magri da. Fibras Naturais como Isolamento Acústico. **Revista Ciências Exatas e Tecnologia**, [s. l.], v. 12, n. 12, p. 1-4, 2017. DOI
<http://dx.doi.org/10.17921/1890-1793.2017v12n12p41-44>. Disponível em:
<https://revista.pgsskroton.com/index.php/rcext/article/view/4641/4253>. Acesso em: 20 jan. 2020.

SILVA, Rosana Vilarim da. **O Uso de Resinas Naturais com Reforço de Fibras Lignocelulósicas**. Dissertação de Mestrado, USP. São Carlos-SP, 2003.

STRINGARI, Lilian. **Extração e caracterização da fibra do pecíolo do butiá-anão (Butia lallemantii)**. Orientador: Prof. Dr. Luis Ernesto Roca Bruno. 2016. 95 p. Dissertação (Mestre em Engenharia) - UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA, Alegrete, 2016. Disponível em:
<http://dspace.unipampa.edu.br:8080/xmlui/handle/rii/788>. Acesso em: 20 jan. 2020.

TEIXEIRA, Marcelo Geraldo; CÉSAR, Sandro Fábio. Ecologia industrial e eco-design: requisitos para a determinação de materiais ecologicamente corretos. **Revista Design em Foco**, Bahia, v. II, n. 1, p. 51-60, 2005. Disponível em:
<https://www.redalyc.org/pdf/661/66120105.pdf>. Acesso em: 11 fev. 2020.

TINOCO, A. C. **Açaí amazônico: novas perspectivas de negócio**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2005.

VALENÇA, Patrícia de Magalhães Aragão *et al.* Estudo de misturas areia-asfalto com areia de resíduo de construção e demolição, fibra do açaí e polímeros para a cidade de Manaus, AM. **Revista Ciência & Engenharia**, Uberlândia, v. 20, n. 2, p.

1-9, 2011. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/cieng/article/view/13675>. Acesso em: 20 jan. 2020.

VIEIRA, Rodrigo José de Andrade. **Desenvolvimento de painéis confeccionados a partir de fibra de coco para controle acústico de recintos**. Orientador: Prof. Dr. Newton Sure Soeiro. 2008. 264 p. Dissertação (Mestre em Engenharia Mecânica) - Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2008. Disponível em: <http://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/5098>. Acesso em: 20 jan. 2020.

YAMANAKA, E. S. **Dossiê Técnico**: cultivo, extração e beneficiamento do açaí orgânico. Universidade Estadual Paulista, SIRT/UNESP, 2012, 35p. Disponível em: <http://sbri.ibict.br/dossie-tecnico/downloadsDT/NjEwOA==>>. Acessível em: 24 jan. 2020.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (Organização Mundial de Saúde). **Noise**. Disponível em: < <http://www.euro.who.int/en/what-we-do/health-topics/environment-and-health/noise>>. Acessível em 5 fev. 2020