

**APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DE AÇAI (*EUTERPE
OLERACEA* MART.) PARA O DESENVOLVIMENTO DE NOVOS
MATERIAIS E O POTENCIAL PARA APLICAÇÃO NO DESIGN DE
PRODUTO**

Lauro Arthur Farias Paiva Cohen

Belo Horizonte

2022

Lauro Arthur Farias Paiva Cohen

APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DE AÇAÍ (*EUTERPE OLERACEA* MART.) PARA O DESENVOLVIMENTO DE NOVOS MATERIAIS E O POTENCIAL PARA APLICAÇÃO NO DESIGN DE PRODUTO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG) como requisito para obtenção do grau de Mestre em Design.

Linha: Tecnologia, Materiais e Ergonomia.

Orientadora: Profa. Dra. Eliane Ayres.

Belo Horizonte

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP),
Biblioteca do Centro de Ciências Naturais e Tecnologia, UEPA, Belém - PA.

C678a Cohen, Lauro Arthur Farias Paiva

Aproveitamento dos resíduos de açaí (euterpe oleracea mart.) para o desenvolvimento de novos materiais e o potencial para aplicação no design de produto. / Lauro Arthur Farias Paiva Cohen. -- Belo Horizonte, 2022.

113 f. : il. color

Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Design, 2022.

Orientadora: Profa. Dra. Eliane Ayres.

Bibliografia: f. 96-104

1. Resíduos agroindústrias. 2. Biodiversidade. 3. Desenvolvimento sustentável. 4. Projetos de produto. 5. Design. I. Ayres, Eliane. II. Universidade do Estado de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Design. III. Título.

CDD 658.5752

APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DE AÇAÍ (EUTERPE OLERACEA MART.) PARA O DESENVOLVIMENTO DE NOVOS MATERIAIS E O POTENCIAL PARA APLICAÇÃO NO DESIGN DE PRODUTO.

Autor: Lauro Arthur Farias Paiva Cohen

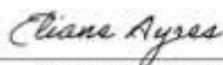
Esta dissertação foi julgada e aprovada em sua forma final para a obtenção do título de Mestre em Design no Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade do Estado de Minas Gerais.

Belo Horizonte, 19 de agosto de 2022.


Rita A. C. Ribeiro
Coordenadora Mestrado e Doutorado
MASP 1231056-1
ESCOLA DE DESIGN - UEMG

Profª.Rita Aparecida da Conceição Ribeiro, Dra.
Coordenadora do PPGD

BANCA EXAMINADORA



Profª. Eliane Ayres, Dra.
Orientadora
Universidade do Estado de Minas Gerais

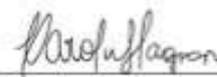


Profª. Nubia Suely Silva Santos, Dra.
Universidade do Estado do Pará



Profª. Mercês Coelho da Silva, Dra.

Universidade Federal de Itajubá - Campus Itabira



Profª. Caroline Salvan Pagnan, Dra.

Universidade do Estado de Minas Gerais

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, professora Eliane Ayres, pelos ensinamentos, pelo apoio e paciência durante esses últimos anos. Tive muita sorte em ter uma pesquisadora tão comprometida como orientadora.

Aos professores da Escola de Design pelas contribuições durante o mestrado, em especial à professora Caroline Salvan Pagnan pela abertura no CDE e disponibilidade durante a pesquisa. Aos professores Carlos Miranda e Eduardo Wilke pelos ensinamentos durante o estágio de docência. Ao Rodrigo Stenner e toda equipe do PPGD. Aos servidores da Escola pela companhia e incentivo durante a pesquisa em 2021/2022.

As colegas do PPGD, Elena e Yasmine, pela parceria nos trabalhos, artigos e apoio durante a jornada. Dany, pela persistência, apoio e por sempre acreditar no nosso trabalho. Elisa, pelas trocas, vivências e por ter aberto os caminhos para esse momento. Júlia, pelas conversas e auxílio nas caracterizações de cor. Alice, pelas caronas e curiosidades sobre BH.

Aos colaboradores externos: professora Mercês Coelho da Silva, da UNIFEI - campus Itabira, pelas caracterizações da fibra e compósitos e Iaci Miranda Pereira do Centro Tecnológico do Exército (CETEX), pelas caracterizações dos compósitos. Aos professores da UEPA por todo apoio e incentivo durante o mestrado, em especial a professora Núbia Santos por estar presente em mais uma etapa da minha formação.

À minha família por toda motivação durante esses anos, em especial aos meus pais e minha avó pela ajuda durante o processo de mudança/retorno e por sempre acreditar em mim. As minhas tias, tios, primos e primas pela força, aos meus irmãos pelo incentivo e trocas de “memes” durante os momentos difíceis.

Aos amigos Pará, que mesmo de longe sempre estiveram presentes e torcendo por mim. Aos amigos e pessoas especiais que entraram na minha vida durante essa pesquisa, em especial à Luana e família por terem me recebido tão bem em Belo Horizonte, aos 401 e 1002, Karma e Álvaro.

A CAPES por conceder a bolsa que financiou esta pesquisa.

“[...] パティナキ、
チキン照り焼き[...]”
(Rosalía Vila Tobella)

RESUMO

A cadeia produtiva do açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) é uma das mais importantes para a região Norte do Brasil. Sua importância está relacionada à identidade cultural e aos benefícios à saúde que o consumo do fruto promove. Entretanto, a alta produção de resíduos derivados do processamento industrial é responsável por problemas ambientais, sociais e econômicos nas principais cidades da região. Dessa maneira, a presente dissertação tem como objetivo investigar as possibilidades de aproveitamento dos resíduos de açaí para o desenvolvimento de novos materiais. Nesse sentido, destaca-se a demanda por materiais alternativos como matéria-prima para aplicações em produtos do cotidiano. A pesquisa investiga três possíveis alternativas, divididas em dois capítulos: (I) desenvolvimento de compósitos formados por Políácido láctico (PLA) e fibras de açaí; (II) desenvolvimento de compósitos formados por PLA e caroços de açaí; (III) processamento da fibra de açaí branqueada para produção de folha de celulose. Os compósitos PLA/fibra de açaí não alcançaram uma superfície com textura uniforme. Os compósitos de PLA/caroço de açaí, por sua vez, apresentaram uma superfície sem textura aparente. Após o processamento, imagens de microscopia eletrônica de varredura mostram que, diferentemente do processo artesanal, quando a folha de celulose é obtida com auxílio de filtração a vácuo, as fibras de celulose do açaí apresentam maior intertravamento. Por meio do método *Material Driven Design* (MDD), foi feita uma avaliação das características técnicas e de percepção das amostras elaboradas, além de um direcionamento para possíveis aplicações no design de produto. A pesquisa permeia princípios do desenvolvimento sustentável, noções sobre design e materiais, possibilidades do uso de resíduos como matéria-prima e contribuições do design para o território amazônico.

Palavras-chaves: resíduos agroindustriais; biodiversidade; compósitos; materiais e processos; desenvolvimento sustentável.

ABSTRACT

The açai (*Euterpe oleracea* Mart.) production chain is one of the most important for the northern region of Brazil. Its importance is linked to the cultural identity and the health benefits promoted by the fruit consumption. However, the high production of residues derived from industrial processing is responsible for environmental, social and economic problems in the main cities of the region. In this way, the present dissertation aims to investigate the possibilities of using açai waste for the development of new materials. In this sense, there is a demand for alternative materials as raw material for applications in everyday products. The research investigates three possible alternatives, divided into two chapters: (I) development of composites with Polylactic acid (PLA) and açai fibers; (II) development of composites with PLA and açai kernels; (III) processing of bleached açai fiber to produce cellulose sheet. The PLA/Açai fiber composites did not achieve a uniformly textured surface. On the contrary, after processing, the PLA/Açai kernel composites showed a surface without apparent texture. Scanning electron microscopy images showed that, unlike the artisanal process, when the cellulose sheet is obtained with the aid of vacuum filtration, the açai cellulose fibers are more intertwined. Through the Material Driven Design (MDD) method, an evaluation of the technical and perception characteristics of the samples was made, as well as a direction for possible applications in product design. The research permeates principles of sustainable development, notions about design and materials, possibilities of using waste as raw material and design contributions to the Amazon territory.

Keywords: agro-industrial waste; biodiversity; composites; materials and processes; sustainable development.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Representação geográfica da Amazônia Legal	19
Figura 02: Representação do extrativismo (a - Madeira; b - Látex; c - Castanha do Pará)	20
Figura 03: Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS)	23
Figura 04: Modelo de produção em ciclo técnico e em ciclo biológico	25
Figura 05: Relações entre as civilizações e os materiais (a - Idade Pedra, b - Bronze e c - Ferro)	27
Figura 06: Materiais compósitos em produtos (a - Luminária Ohmie, compósito com resíduos da casca de laranja; b - Cobogó da Mundaú, revestimento com resíduos da pesca do sururu)	29
Figura 07: Requisitos para o desenvolvimento de materiais	30
Figura 08: Etapas do método <i>Material Driven Design</i> (MDD)	32
Figura 09: a) Açazeiro; b) Fruto do açaí	34
Figura 10: Açazeiro como componente do cotidiano ribeirinho	35
Figura 11: Esquema da cadeia produtiva do açaí	35
Figura 12: a) Coleta do fruto; b) Feira do Açaí (Belém - Pará - Brasil)	36
Figura 13: Quantidade de açaí produzida na extração vegetal	37
Figura 14: Resíduos de açaí em contexto urbano	37
Figura 15: Reportagem vinculada ao material desenvolvido	39
Figura 16: a) Esquema da produção do não tecido; b) Tecido não tecido com fibra de açaí	39
Figura 17: a) Açaí Decó; b) Ver-O-Fruto; c) Raízes do Açaí	40
Figura 18: Produtos desenvolvidos com PLA	41
Figura 19: Esquema com a classificação das fibras vegetais	43
Figura 20: Compósitos poliméricos com reforço de fibras naturais (a - erva daninha; b - cortiça; c - coco; d - casca de laranja, resíduo de café e grama)	43
Figura 21: Ferramentas para escrita ao longo dos anos (a - Pedra e argila; b - Pinturas de parede; c - Papel)	44
Figura 22: Esquema sobre o processo de fabricação do papel	45
Figura 23: Esquema para avaliação sensorial dos materiais	50

Figura 24: Coleta dos resíduos de açaí (Belém – Pará – Brasil)	51
Figura 25: Resíduos misturados; caroços; fibras e borra de açaí	51
Figura 26: Processo de mistura do PEG com os resíduos de açaí (a - Fibras; b - Caroço)	53
Figura 27: Etapas do processamento dos compósitos de PLA/Fibra de açaí	54
Figura 28: Etapas do processamento dos compósitos de PLA/Caroço de açaí	56
Figura 29: TG da fibra de açaí	58
Figura 30: Espectro de FTIR da fibra de açaí	59
Figura 31: Imagem de MEV do caroço de açaí, após a moagem	60
Figura 32: Espectro de FTIR do caroço de açaí	61
Figura 33: Isotermas de adsorção - dessorção de N ₂ em temperatura e pressão padrão (CNTP) para o caroço de açaí	62
Figura 34: Equação BET linearizada	62
Figura 35: Perfil de difração de raios-X do caroço de açaí	63
Figura 36: Resultado da mistura de PEG com as fibras de açaí	64
Figura 37: Resultado do processamento de PLA, PEG e as fibras de açaí na extrusora	65
Figura 38: Resultado do processamento de PLA, PEG e as fibras de açaí na prensa	66
Figura 39: Amostra de 90% PLA + 10% PEG/FIBRA 75	66
Figura 40: Fotos da superfície dos compósitos PLA/Fibra de açaí	67
Figura 41: Avaliação sensorial – PLA/Fibra de açaí	68
Figura 42: Processo de moagem do caroço de açaí	69
Figura 43: Resultado da mistura de PEG com os caroços de açaí	70
Figura 44: Resultado do processamento de PLA, PEG e as caroços de açaí na extrusora	71
Figura 45: Resultado do processamento de PLA, PEG e os caroços de açaí na prensa ..	71
Figura 46: Curvas de TG do PLA puro e compósitos 80% PLA + 20% PEG/CAROÇO 25 e 80% PLA + 20% PEG/CAROÇO 50	73
Figura 47: Curvas de TG do PLA puro e compósitos 90% PLA + 10% PEG/CAROÇO 25, 90% PLA + 10% PEG/CAROÇO 50 e 90% PLA + 10% PEG/CAROÇO 75	74
Figura 48: Espectro de FTIR dos compósitos de PLA/Caroço de açaí	75
Figura 49: Espectro de FTIR dos compósitos de PLA/Caroço de açaí	76

Figura 50: Avaliação sensorial – PLA/Caroço de açaí	77
Figura 51: Similares selecionados para <i>benchmarking</i> (a - Cocoboard; b - Entwined; c – Madeira Plástica)	77
Figura 52: Amostras da fibra de açaí <i>in natura</i> e amostras da fibra branqueada	82
Figura 53: Imagens de MEV da fibra <i>in natura</i>	83
Figura 54: Imagens de MEV da fibra após o branqueamento	83
Figura 55: a) Amostra da folha de celulose filtrada a vácuo; b) Amostras deformadas durante a retirada do filtro	84
Figura 56: Amostras da folha de celulose formadas através de telas de nylon	85
Figura 57: Imagens de MEV da folha de celulose formada através da filtração a vácuo	85
Figura 58: Imagens de MEV da folha de celulose formada com uso da tela de nylon ...	86
Figura 59: Espectro de FTIR da polpa de celulose com fibras de açaí branqueada	86
Figura 60: Avaliação sensorial – Folha de celulose (filtro a vácuo)	87
Figura 61: Avaliação sensorial – Folha de celulose (tela de nylon)	88
Figura 62: Similares selecionados para <i>benchmarking</i> (a - Papel da Amazônia; b – Kinyl Molded-Pulp; c - Carteira Porta-Cartão)	89

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 01: Tecnologias provenientes ao uso de fibras vegetais na produção de papel	47
Tabela 01: Tabela com as amostras PLA/Fibras de açaí processadas	54
Tabela 02: Tabela com as amostras PLA/Caroço de açaí processadas	56
Tabela 03: Coordenadas CIELab e valores de ΔE^* dos compósitos PLA/Fibras de Açaí	67
Tabela 04: Coordenadas CIELab e valores de ΔE^* dos compósitos PLA/Caroço de Açaí	72
Tabela 05: Benchmarking para análise dos materiais desenvolvidos (PLA/Resíduos de açaí)	78
Tabela 06: Benchmarking para análise dos materiais desenvolvidos (Folha de celulose com fibra de açaí branqueada)	90

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IBAMA	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente
SisGen	Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado
PLA	Poliácido Láctico
ONU	Organização das Nações Unidas
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
MDD	<i>Material Driven Design</i>
PEG	Polietilenoglicol
TG	Termogravimetria
FTIR	Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier
DSC	Calorimetria Exploratório Diferencial
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
BET	Equação derivada por Brunauer, Emmett e Teller
BJH	Método Barrett, Joyner e Halenda
ΔE^*	Diferença Total de Cor

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1 OBJETIVOS	18
Objetivo geral.....	18
Objetivos específicos.....	18
1.2 JUSTIFICATIVA.....	18
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	21
2. REFERENCIAL TEÓRICO	23
2.1 DESIGN E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....	23
2.2 DESIGN E MATERIAIS	27
2.2.1 Abordagens de design no desenvolvimento de materiais.....	31
2.3 CADEIA PRODUTIVA DO AÇAÍ	33
2.4 POLI (ÁCIDO LÁTICO) (PLA)	41
2.5 FOLHA DE CELULOSE.....	44
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	49
4. COMPÓSITOS.....	51
4.1 MATERIAIS	51
4.2 CARACTERIZAÇÕES DOS RESÍDUOS DE AÇAÍ.....	52
4.3 OBTENÇÃO DOS COMPÓSITOS	53
4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO (COMPREENDENDO OS MATERIAIS).....	58
Resíduos de açaí (fibras e caroço)	58
Compósitos PLA/Fibra de açaí	64
Compósitos PLA/Caroço de açaí	69
5. FOLHA DE CELULOSE A PARTIR DE FIBRAS DE AÇAÍ	81
5.1 MATERIAIS E MÉTODOS.....	81
5.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO (COMPREENDENDO O MATERIAL).....	82
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	92
7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	95
8. REFERÊNCIAS	96
ANEXOS.....	105

1. INTRODUÇÃO

A consciência sobre o esgotamento de recursos naturais tem sustentado a necessidade de se repensar o desenvolvimento e as atividades econômicas em diferentes setores da sociedade, entre elas aquelas atreladas à criação de novos produtos (POTLURI, 2019). A utilização de resíduos como matéria-prima surge como uma contribuição para a inserção desses materiais no ciclo produtivo, capaz de potencializar um ganho econômico, ambiental, social e cultural (RIBASKI; BELINI, 2019).

O Brasil é um dos maiores produtores agrícolas e extrativistas do mundo. Nos últimos anos, a indústria de processamento tem se desenvolvido e como consequência do volume de produção gera simultaneamente grandes quantidades de resíduos, os quais podem ser reutilizados de forma eficiente. Além de potencializar problemas, os subprodutos representam perdas de matéria-prima e energia, dos quais muitos possuem o potencial de ser aproveitados para novas oportunidades (SILVA *et al.*, 2020).

O termo “Desenvolvimento Sustentável” tem sido cada vez mais introduzido no centro de debates e pesquisas. Tal fator, além de estar atrelado às necessidades dos atuais centros urbanos e os problemas enfrentados por eles, é também decorrente de uma conscientização em que a busca por soluções eficazes se torna mais evidente (ASSIS; NUNES, 2019).

Impulsionados por uma grande demanda por commodities, os países em desenvolvimento na América Latina se posicionaram ao longo dos anos como exportadores de recursos primários. A intensificação da agricultura e a expansão de áreas de extrativismo são motores essenciais de desmatamento, perda de biodiversidade e poluição pela geração de resíduos. Diante desse cenário, torna-se necessário encontrar maneiras de viabilizar o uso consciente dos recursos naturais, de forma que também gere impactos positivos para a sociedade (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2022).

A atividade de design é vista como crucial para esse processo, pois se refere ao campo da criatividade em que as ideias são geradas e é feito um paralelo entre as possibilidades técnicas e as oportunidades criativas. Parte-se da premissa de que o design é uma abordagem de construção de cenários, os quais buscam estimular reflexões na

sociedade, os quais considerem não só as suas necessidades, mas também novas possibilidades (SALES *et al.*, 2016). Além disso, o design é compreendido como uma ferramenta importante para identificar e agregar valores nas diferentes cadeias produtivas por meio de soluções inovadoras (SARMENTO; MOURA, 2017). O processo de design pode ser assimilado por uma série de diálogos: com os usuários, com a tecnologia, com a manufatura, com o desenho, com a moda, com a ergonomia, com a tradição e com os materiais (BAK-ANDERSEN, 2021).

A civilização é, em grande parte, conferida pela cultura material dos seus objetos. O entendimento sobre os materiais não é apenas uma vitrine de tecnologia e conhecimento, faz parte da forma como os seres humanos se comportam, estabelecem relações com o mundo, entre si e seus problemas (MIODOWNNIK, 2013). Dessa forma, a investigação e o desenvolvimento de materiais tornam-se um campo passível de atuação do design (MANZINI, 1993).

Um ponto importante para a pesquisa desenvolvida nesta dissertação está na necessidade de uma aproximação da atividade de projeto em design com as formas de saber e viver presentes na Amazônia. A importância das reflexões e discussões envolvendo o design, desenvolvimento sustentável e cenários regionais deve-se às lacunas sobre a ação teórica e o exercício da prática sobre a temática no território amazônico (OLIVEIRA, 2014). Existe um crescente interesse em encontrar novas aplicações para os recursos naturais da região. O bioma amazônico demanda discussões e ações práticas sobre o uso sustentável da sua biodiversidade.

Dentre as espécies mais promissoras na Amazônia está o açaí (*Euterpe Oleracea Mart.*). Após a popularização do fruto em território nacional e internacional, a cadeia produtiva tornou-se uma das mais importantes da região Norte. Caracterizada como uma potência amazônica, representa em 13,23% da extração vegetal no Brasil (IBGE, 2020). O fruto possui uma importância alimentar, econômica e cultural muito importante para a região, entretanto, o consumo é responsável pela alta produção de resíduos, que em muitas situações são descartados de forma irregular nas áreas urbanas da região (BUFALINO *et al.*, 2018).

Barros *et al.* (2020) mostram que o que é um descarte para um processo de produção pode ser matéria-prima para outro. Essa ação é capaz de gerar valor econômico e reduzir o uso de matérias-primas virgens, além de poder até mesmo impulsionar os negócios agrícolas para novas oportunidades.

Por outro lado, o desenvolvimento de compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais tem recebido destaque como tecnologia alternativa para o processamento de novos materiais que proporcionam menor impacto ambiental, associando-se baixa densidade, biodegradabilidade e propriedades mecânicas interessantes. A maioria das fibras possui composição química semelhante à da madeira, resultando em propriedades mecânicas próximas (WEARN *et al.*, 2020; NEGRÃO *et al.*, 2020).

Compósitos usando fibras de açaí dispersas em diferentes matrizes poliméricas podem ser encontrados na literatura. São exemplos, compósitos de polipropileno (PP) e fibras de açaí (TAVARES *et al.*, 2020), compósitos de borracha natural (NR) e fibras de açaí (MARTINS *et al.*, 2008), compósitos produzidos com amido de grãos de arroz quebrados como matriz e farinha de semente de açaí (ROMANI *et al.*, 2021), entre outros.

Resíduos fibrosos também podem dar origem a papéis para diferentes aplicações. Esse foi o caso de Gottardi *et al.*, (2021) que submeteram bainhas internas retiradas no processamento do palmito pupunha a um processo de polpação, para que então o material pudesse ser transformado em folha. Com os papéis obtidos foram desenvolvidos protótipos de produtos tais como porta-talheres, papel bandeja e porta-copos.

AliAkbari *et al.* (2021) resumem esse tema ao relatar que, materiais de maior valor agregado podem ser produzidos a partir de biomassa e especialmente bio-resíduos usando processos especiais. Porém, para expandir o uso desses materiais, primeiramente as propriedades devem primeiro ser avaliadas e os processos devem ser economicamente eficientes.

A semente de açaí tem uma camada externa fibrosa e um endosperma sólido cobrindo o embrião (LIMA *et al.*, 2019). Na presente pesquisa, foi abordado o aproveitamento

tanto das fibras externas como da parte sólida da semente, doravante chamada como caroço de açaí.

1.1 OBJETIVOS

Objetivo geral

Investigar as possibilidades de aproveitamento dos resíduos de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) no desenvolvimento de novos materiais para aplicação no design de produtos.

Objetivos específicos

- I. Fazer levantamento bibliográfico sobre as perspectivas de design para sustentabilidade, desenvolvimento de materiais e a cadeia produtiva do açaí;
- II. Realizar a caracterização das fibras e dos caroços de açaí para compreender as propriedades químicas, físicas e morfológica dos resíduos;
- III. Investigar processos produtivos para aproveitamento das fibras e caroços de açaí no desenvolvimento de compósitos com matriz de poli (ácido láctico) e polpa de celulose;
- IV. Avaliar as propriedades químicas, físicas, morfológicas e sensoriais dos materiais desenvolvidos através de caracterizações dos compósitos;
- V. Utilizar ferramentas de design orientadas ao desenvolvimento de materiais.

É necessário expor que os materiais pesquisados não necessitam de autorização do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (IBAMA) ou de qualquer órgão ambiental fiscal (estadual/federal) por se tratar dos resíduos de um produto comercializado na região Norte do país, cuja compra e posse não possui qualquer restrição legal em nenhum dos estados brasileiros. Entretanto, foi necessário o cadastro da pesquisa no Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado (SisGen) (ANEXO 1).

1.2 JUSTIFICATIVA

No imaginário popular, quando se menciona a Amazônia, grande parte dos sujeitos imaginam uma área em que a floresta tropical é predominante, região que já chegou a ser chamada de “Inferno Verde”. Entretanto, no território Amazônico, encontram-se diferentes contextos, como o ribeirinho, o indígena, o urbano e o quilombola. Na

geografia, o espaço é categorizado de três formas diferentes: a floresta, identificada com região Norte; a Amazônia Sul-Americana; e a Amazônia Legal, Figura 01, que corresponde ao espaço brasileiro e, além da região Norte, inclui os estados do Mato Grosso e parte do Maranhão (BECKER; STENNER, 2008).

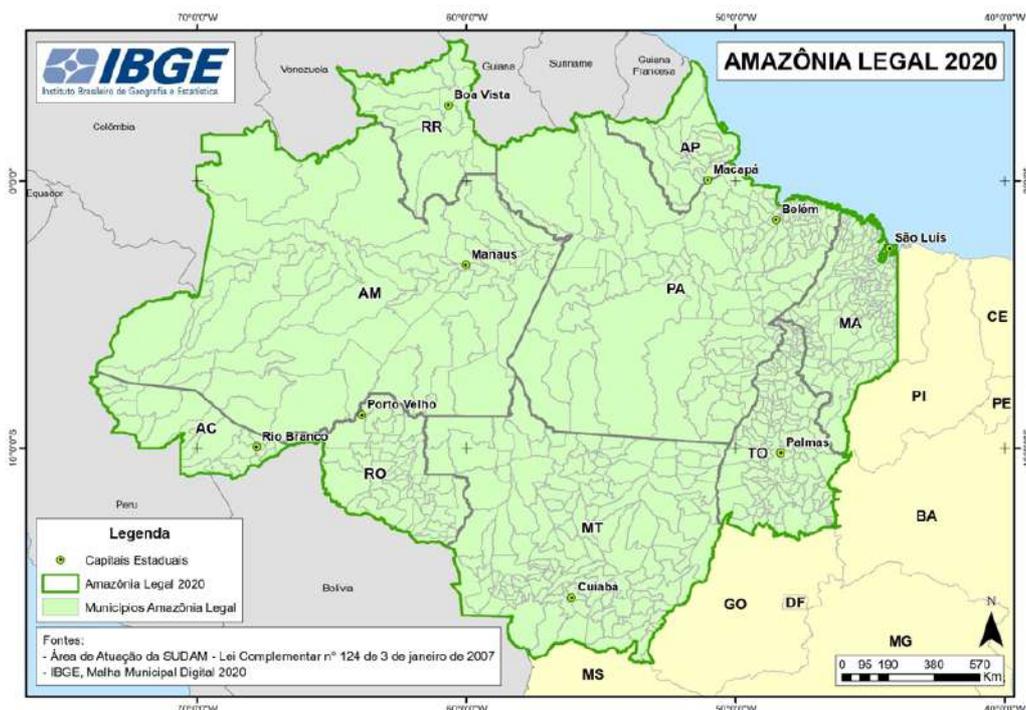


Figura 01: Representação geográfica da Amazônia Legal

Fonte: IBGE, 2021

Apesar da Amazônia não ser um território homogêneo, compreende-se a existência de problemas em comuns na região, como o baixo índice de indicadores sociais, a alta desigualdade social, econômica (principalmente em relação às outras regiões do país) e a questão dos resíduos nos cenários urbanos. Pinho (2018) demonstra que a Amazônia Legal apresenta um dos piores índices de reciclagem do país e dentre os principais motivos destaca-se o discreto suporte institucional, a falta de interesse dos atores e o pequeno número de ações para incluir os resíduos em processos produtivos. Esse panorama permite compreender e refletir sobre a necessidade de ações para o desenvolvimento local.

Ao longo dos séculos, os produtos do extrativismo, Figura 02, tiveram grande importância na formação econômica, social e política da Amazônia, responsáveis por

caracterizar a região como uma “fornecedora de recursos naturais e matéria-prima”. Dentre os produtos que tiveram destaque podem ser mencionados: as “Drogas do Sertão” e o cacau no período colonial, a borracha na segunda metade do século XIX e atualmente, a extração de madeira, da castanha do Pará, do palmito e fruto do açaí (HOMMA, 2014).



Figura 02: Representação do extrativismo (a - Madeira; b - Látex; c - Castanha do Pará)

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022 (Disponível em: a - Joaquim Leite <<https://bit.ly/3xV7Suo>>; b - <<https://bit.ly/36SlyLy>>; c - Maurício Paiva <<https://bit.ly/3vhTtGJ>>).

O açaí é um alimento conhecido mundialmente e base alimentar do território amazônico. Entretanto, da mesma forma que é consumido, através do despoldamento, também gera uma quantidade expressiva de resíduos. Nesse sentido, a presente pesquisa se encontra frente ao crescente interesse em encontrar novas aplicações para este recurso natural, de maneira que através do aproveitamento para o desenvolvimento de novos materiais e os potenciais aplicações no design de produto, os resíduos possam ser ressignificados, com a agregação de valor e ilustração de potenciais atividades produtivas.

Em estudo prévio, foi constatado que a importância da cadeia produtiva do açaí é reforçada pela viabilidade de utilizar seus subprodutos para outras atividades. A versatilidade e as propriedades dos resíduos de açaí possibilitam que atualmente os resíduos sejam estudados por outras áreas do conhecimento, além disso, grande parte das pesquisas têm como objetivo solucionar algum problema ou dificuldade da região. Entretanto, a ausência de estudos em design direciona as investigações para o foco em

parâmetros técnicos do material e na potencialidade do uso da matéria-prima para novos materiais. Como uma forma de complementar essas análises e discussões, o papel do designer nesse contexto está na capacidade de direcionar os materiais a produtos ou serviços, em apresentar e avaliar com outros pesquisadores aplicações próximas ao dia a dia das pessoas (COHEN; AYRES, 2021).

Durante os estudos iniciais de um material, muitos aspectos devem ser expostos, como a origem da matéria-prima, sua disponibilidade, forma como é cultivada e/ou produzida. Essas informações são essenciais para decidir se o material é adequado do ponto de vista ético, social e ambiental. No caso de novos materiais indica-se a necessidade de pesquisar informações fora do campo do design. O designer não deve aspirar a se tornar um cientista de materiais, mas deve ter conhecimento suficiente para ser capaz de trabalhar com uma ampla gama de especialistas nas ciências da natureza ou exatas (BAK-ANDERSEN, 2021).

A compreensão completa dos materiais é dada de forma técnica, através de caracterizações físicas, químicas e microscópicas. Dessa forma, é possível descobrir por que alguns materiais cheiram e outros são inodoros, por que alguns materiais podem durar mil anos e outros desintegram-se ao sol. O campo da ciência/engenharia dos materiais fornece uma estrutura coerente para entendê-los tecnicamente. Entretanto, os materiais são mais do que essas informações coletadas em pesquisa. Tudo é feito de algo, e aqueles que produzem artefatos para a sociedade (artistas, designers, engenheiros, fabricantes e outros) possuem uma compreensão diferente do aspecto prático, emocional e simbólico de seus materiais (MIODOWNNIK, 2013).

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação encontra-se em oito seções, das quais **Introdução** e **Referencial Teórico** apresentam um aspecto mais abrangente da pesquisa, com levantamento de informações dentro da temática abordada. A seção de **Procedimentos metodológicos** expõe a metodologia aplicada na investigação, desde a sua abordagem teórica até as etapas da pesquisa experimental para o desenvolvimento dos novos materiais. Cada investigação foi registrada como um capítulo à parte.

As seções **Compósitos** e **Folha de Celulose a partir de fibras de açaí** possuem estrutura única, em que são apresentadas as considerações gerais sobre os materiais, os processos produtivos investigados, as caracterizações realizadas para verificar as propriedades dos resíduos de açaí e dos novos materiais, além das considerações sobre as possíveis aplicações no design de produto. Por fim, encontram-se as seções **Considerações Finais** e **Sugestões para trabalhos futuros** com reflexões finais sobre a pesquisa, e **Referências** com o referencial teórico.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 DESIGN E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

O termo desenvolvimento sustentável foi introduzido pela primeira vez em 1987, na Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento promovida pela Organização das Nações Unidas (ONU). É definido como “desenvolvimento que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazer suas próprias necessidades” (WCED, 1987).

Para atender às demandas atuais, em 2015, uma Assembleia Geral convocada pela ONU resultou no documento intitulado “Transformando Nosso Mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável”. Esse documento foi elaborado seguindo uma estrutura com 17 objetivos, conforme Figura 03.



Figura 03: Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS)

Fonte: ONU, 2015

Segundo a Organização Mundial do Design, o processo de design com foco nos usuários e no ambiente pode fornecer uma perspectiva inovadora para os desafios da Agenda 2030. A organização identifica como relevante a atuação do designer nos ODS 3 - Boa saúde e bem-estar; ODS 6 - Água limpa e saneamento; ODS 7 - Energia acessível e limpa; ODS 9 - Indústria, inovação e infraestrutura; ODS 11 - Cidades e comunidades sustentáveis; ODS 12 - Consumo e produção responsáveis; ODS 17 - Parcerias em prol das metas (WDO, 2020).

Toda atividade humana causa algum impacto sobre o meio ambiente em que vivemos. O ambiente tem certa capacidade para enfrentar tais impactos, de maneira que determinado nível pode ser absorvido sem danos duradouros. Entretanto, as atividades humanas de hoje ultrapassam esse patamar e diminuem a qualidade do mundo em que vivemos, além de comprometer o bem-estar das próximas gerações. A preocupação com a sustentabilidade vai além: a adaptação de um estilo de vida que atenda às necessidades presentes sem comprometer as necessidades das gerações futuras (ASHBY; JOHNSON, 2011).

Design sustentável é um conceito que aplica os princípios da sustentabilidade (ambiental, social, econômica, cultural e política) no design nas suas mais diferentes áreas, como produto, gráfico ou ambientes. Dentre os requisitos para a atuação sustentável estão: resistência dos materiais (requisitos básicos para definir se o material possui qualidades técnicas compatíveis para resistência aos esforços físicos típicos e aos desgastes de uso); durabilidade (tempo de uso efetivo do produto, sendo uma das qualidades mais importantes e proporcional ao fator de resistência); escolha por processos de fabricação com menor impacto ambiental e social; viabilidade de reciclagem do produto e avaliação da compatibilidade ecológica (GOMES FILHO, 2020).

O design torna-se aliado ao desenvolvimento orientado a sustentabilidade, uma vez em que o questionamento sobre como equilibrar a relação entre consumo, necessidades e sustentabilidade é uma realidade para o designer contemporâneo. A partir desse desafio, o profissional tem a oportunidade de desenvolver soluções criativas e colaborativas, com o objetivo de contribuir para a resolução de problemas enfrentados pela sociedade (BONI *et al.*, 2019).

Durante anos, a preocupação esteve em aliar os conhecimentos técnicos ao que poderia ser viável nos meios de produção. Entretanto, o usuário passou a ter um destaque dentro desse processo. Através da constatação de que o comportamento humano também interferia nos impactos ambientais dos produtos, o design passou a abordar os impactos relacionados ao uso por meio da implementação de estratégias que visam entender o comportamento do público-alvo (CESCHIN; GAZIULUSOY, 2019).

O modelo de produção vigente implica na geração e no descarte de resíduos. Ao longo do tempo os resíduos foram se acumulando e, muitas vezes, descartados de forma incorreta. A economia circular propõe que o valor dos recursos extraídos e produzidos seja mantido em circulação por meio de cadeias produtivas integradas. Existe um potencial para combater mudanças climáticas, bem como estimular o crescimento econômico (MACHADO E SILVA; CAPANEMA, 2019).

Uma economia circular é restaurativa e regenerativa por princípio. Seu objetivo é manter produtos, componentes e materiais em seu mais alto nível de utilidade e valor. Os processos de produção se distinguem em ciclos técnicos e biológicos, Figura 04. O modelo busca dissociar o desenvolvimento econômico global do consumo com recursos finitos, além disso, apresenta alternativas para os países em desenvolvimento, através da criação de novos postos de trabalho, redução de impactos ambientais e novos processos produtivos (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015).

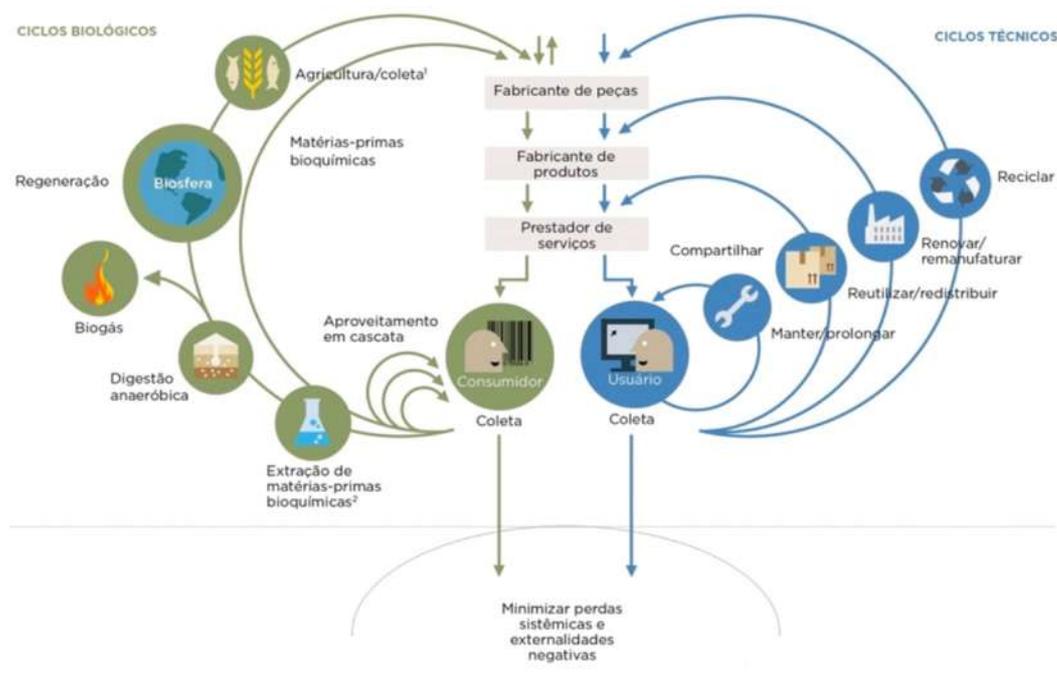


Figura 04: Modelo de produção em ciclo técnico e em ciclo biológico

Fonte: Ellen MacArthur Foundation, 2015

Nos grandes centros urbanos, a geração de resíduos sólidos vem desencadeando uma preocupação entre os gestores das cidades. A busca por soluções na área de resíduos reflete a demanda da sociedade por mudanças, motivadas pelos elevados custos

socioeconômicos e ambientais. Caso ocorra o manejo adequado dos resíduos sólidos, os mesmos podem adquirir valor comercial e serem utilizados em forma matéria-prima ou novos insumos, o que cria um novo ciclo de vida para esses resíduos (RIBASKI; BELINI 2019).

Os resíduos sólidos são caracterizados pela geração e produção contínua, com variação em sua composição e quantidade ao longo do tempo e em função da cultura local/potencial econômico do gerador. Representam um desafio global e também local para a Amazônia, sendo mais grave nas áreas urbanas. A ausência de alternativas para transformar os materiais recicláveis em novos materiais e/ou novos produtos dificulta a gestão (PINHO, 2018).

A região amazônica abriga uma grande biodiversidade com conhecimento tradicional profundamente atrelado à gestão de recursos naturais. Entretanto, espaços desse território estão se tornando cada vez mais urbanos, com a crescente demanda de serviços básicos, dentre eles a gestão de resíduos. É importante destacar que não existe uma solução única para garantir um futuro sustentável para a Amazônia, entretanto o fator decisivo está em conciliar a conservação da biodiversidade, a urbanização e o desenvolvimento local (PAES; CAMPOS-SILVA; OLIVEIRA, 2021).

Nesse caso, os princípios da economia circular são essenciais para a mudança do cenário descrito. Destaca-se a necessidade de eliminar resíduos e poluição para reduzir as ameaças à biodiversidade e circular produtos e materiais. A contribuição que a economia circular pode dar para apoiar a biodiversidade não é apenas teórica, sendo possível: avaliar os impactos e dependência da biodiversidade para definir processos de atuação com base científica; identificar oportunidades; colaboração entre as cadeias de valor e áreas de conhecimento diferentes para desenvolver soluções inovadoras que possam gerar mudanças no nível sistêmico. Dessa forma, cria-se valor no resíduo e o processo produtivo das cadeias são impulsionados pela inovação (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2021).

Os designers são atores importantes para colocar os princípios da Economia Circular em prática no território amazônico. Através de escolhas feitas na etapa de projeto, os profissionais colaboram para garantir que haja um aproveitamento adequado dos

resíduos, que sejam criados ciclos técnicos ou biológicos com a matéria prima. Ao pensar em modelos de produção e processos produtivos circular, os designers colaboram com oportunidades econômicas a partir de recursos naturais da região, preservando ao mesmo tempo a manutenção dos ecossistemas (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2022).

2.2 DESIGN E MATERIAIS

O uso de materiais está enraizado na cultura humana, bem mais do que se pode imaginar. Nos transportes, na habitação, no vestuário, na comunicação, recreação e até mesmo na produção de alimentos, todos os segmentos do cotidiano são influenciados pelos materiais. Historicamente, o desenvolvimento e o avanço da sociedade estavam diretamente ligados às habilidades de produção e manipulação dos materiais para as necessidades humanas. Em alguns casos é comum a associação de certas civilizações à sua relação com os materiais, como o caso da Idade da Pedra, Idade do Bronze ou Idade do Ferro, Figura 05 (CALLISTER; RETHWISCH, 2018).



Figura 05: Relações entre as civilizações e os materiais (a- Idade Pedra, b- Bronze e c- Ferro)

Elaborado pelo autor, 2022 (Disponível em: a - <<https://bit.ly/3ENdx7f>>; b - <<https://bit.ly/3rSpvr0>>; c - <<https://bit.ly/3rSQvq4>>).

No passado, o ser humano manipulou essencialmente cinco materiais para produzir utensílios e objetos, eram: madeiras, pedras, ossos, chifres e peles. No princípio da era neolítica, operou-se uma complexa série de transformações radicais, as quais conduziram também a um significativo enriquecimento dos materiais disponíveis para uso, como: argilas, lãs, fibras vegetais e os primeiros metais (bronze, aço e ferro).

Durante todo o período seguinte, e por cerca de anos de história, foram estas as matérias-primas utilizadas pela humanidade para construir e manipular o ambiente. Mais tarde, a Revolução Industrial, com as suas profundas transformações culturais, sociais e econômicas, levou à súbita e acelerada multiplicação dos materiais disponíveis para a produção (MANZINI, 1993).

Essas abordagens demonstram que o significado, o valor e os usos de um material não são inerentes naturalmente aos materiais, mas surgem conforme o ser humano usa os materiais em contextos específicos de uso, às vezes por longos períodos de tempo (WILKES *et al.*, 2015). Na relação entre design e materiais, destaca-se a necessidade de encontrar soluções significativas, que inspirem e criem impacto positivo na sociedade. Dessa forma, os materiais desempenham dois papéis que se sobrepõem: o de proporcionar funcionalidade técnica e o de criar personalidade para o produto (ASHBY; JOHNSON, 2011).

O mundo e as percepções existentes com os materiais passam por mudanças, impulsionadas pelo desejo de novas histórias e pela necessidade de encontrar soluções sustentáveis. Como resultado, o conhecimento dos materiais está se tornando muito importante para os designers, não apenas para desenvolver novos produtos, mas também para se ter uma melhor compreensão sobre suas propriedades e valores (LEFTERI, 2017). Os novos materiais trouxeram uma grande contribuição para a cultura do design e para o desenvolvimento sustentável. Essa questão se deu em função do desenvolvimento da produção com uso dos novos materiais e das possibilidades de exploração estético-formal dos produtos concebidos (SALES *et al.*, 2016).

O conceito de novo depende do sujeito a que nos referimos e a própria expressão novos materiais pode ser tomada em sentido restrito ou ganhar um significado mais rico em implicações. Estritamente falando, podemos definir como novas determinadas propriedades que surgiram recentemente a nível experimental ou produtivo. Pode-se definir como novos os materiais que resultam da combinação criativa de materiais familiares. Tal combinação, graças a gestão da matéria traduz-se num maior teor de informação e numa maior densidade de desempenhos. Estes novos materiais podem

surgir de qualquer sistema de design ou cadeia produtiva, sistema no qual a cultura dos materiais se funde com a capacidade criativa (MANZINI, 1993).

Grande parte dos ditos novos materiais são provenientes da combinação de duas as mais matérias-primas, com o objetivo de maximizar suas propriedades e minimizar suas falhas. Esses materiais, durante o seu processo produtivo, são denominados de compósitos. Inicialmente foram desenvolvidos como materiais leves para a indústria aeroespacial, mas atualmente são aproveitados para uma grande variedade de produtos. Materiais comumente usados em compósitos são materiais naturais, de origem mineral (minério de ferro ou pedras preciosas), vegetal (madeiras ou fibras) e animal (ossos, couros e peles), conforme Figura 06. (GOMES FILHO, 2020).

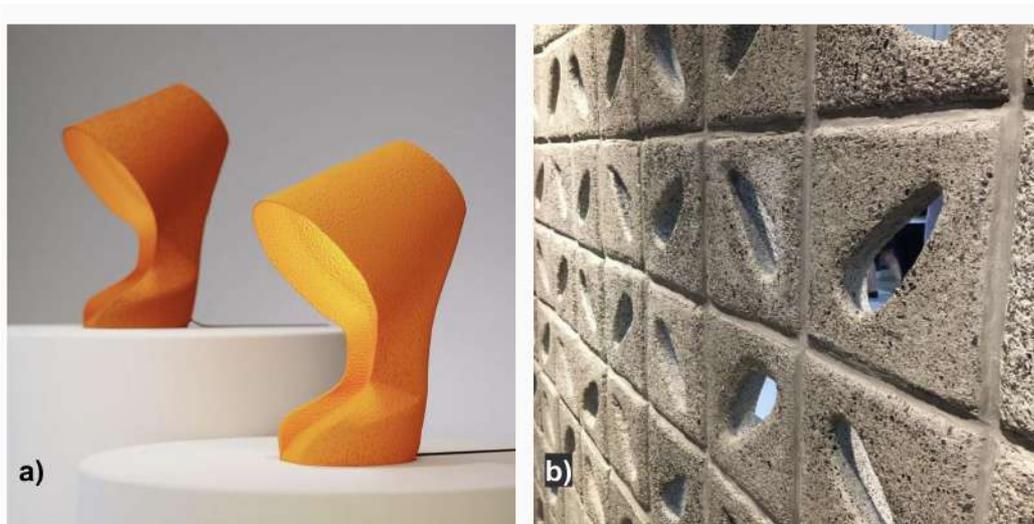


Figura 06: Materiais compósitos em produtos (**a** - Luminária Ohmie, compósito com resíduos da casca de laranja; **b** - Cobogó da Mundaú, revestimento com resíduos da pesca do sururu)

Fonte: **a** – Krill Design, 2021. Disponível em: <<https://bit.ly/3kxAF0h>>; **b** – MRosenbaum, 2021. Disponível em: <<https://bit.ly/3LiVubi>>

Nos centros urbanos, a geração de resíduos provoca cada vez mais uma preocupação aos gestores e a população, uma vez que essa questão resulta em problemas sociais, econômicos e ambientais. Pesquisas revelam que o descarte de resíduos agrícolas, como o bagaço de cana, palha de trigo, coco e casca de arroz é um problema significativo nos países em desenvolvimento, como o Brasil. Ao utilizar os resíduos para a produção de materiais, entende-se que a reutilização implica em uma menor quantidade de resíduos

para ser gerenciado e que essa matéria-prima seja uma alternativa para produção de materiais e produtos sustentáveis (MARAVEAS, 2020).

Na ciência e engenharia de materiais, pesquisadores investigam novos materiais, no entanto, para que esses materiais sejam de fato empregados em produtos, também é necessário estudá-los do ponto de vista do design, com o objetivo de entender qual aplicação do material representa uma oportunidade de inovação (CALEGARI *et al.*, 2020).

Os materiais apresentam significados que não devem ser reduzidos apenas às suas qualidades funcionais. Os designers possuem cada vez mais a oportunidade de influenciar no desenvolvimento de novos materiais, de compreender, por exemplo, como as experiências e a percepção podem se relacionar com as propriedades físicas. Outro ator que passou a ter um destaque nessa relação foi o usuário, aquele que consome o produto e é capaz de influenciar nas referências, formas e funções do projeto final. Assim, é estabelecida uma produção colaborativa de materiais, conforme ilustrado na Figura 07 (WILKES *et al.*, 2015).



Figura 07: Requisitos para o desenvolvimento de materiais

Fonte: Adaptado de Wilkes *et al.*, 2015

Compreender como os materiais são experimentados pelas pessoas e identificar padrões de experiência tornou-se um foco importante para a seleção de materiais no projeto de experiências significativas (BARATI; KARANA, 2019). Pode-se entender que os significados dos materiais são dependentes do tempo e do contexto analisado, conforme foi apresentado no início deste tópico. Nesse sentido, por meio do entendimento percepção, pesquisadores e designers podem chegar a um material ou desenvolver um produto que não apenas atende às demandas práticas do design, mas também oferece atributos intangíveis que cativam a apreciação das pessoas e afetam a experiência final de um artefato (KARANA; PEDGLEY; ROGNOLI, 2015).

Esta abordagem, ao considerar a percepção do usuário, fornece uma forma de explorar e capturar os aspectos estéticos e emocionais percebidos dos materiais. Os dados resultantes são uma combinação de informações, quantitativas e qualitativa, como aspectos técnicos de caracterização e aspectos sensoriais (suave, quente, brilhante), escala afetiva (comum, elegante) e alguns detalhes qualitativos das motivações dos usuários a essas respostas (WILKES *et al.*, 2015).

Ao analisar as relações entre o tátil e o visual, pode-se prever o potencial de apreciação estética de um material. Esta experiência pode potencializar diretamente a apreciação estética de um material. Quando o usuário toca em um material, a sensação tátil pode estar ligada aos universos estéticos de semelhança ou contraste e, portanto, esses universos complementam ou contradizem a percepção visual (SAUERWEIN; KARANA; ROGNOLI, 2017).

2.2.1 Abordagens de design no desenvolvimento de materiais

MATERIAL DRIVEN DESIGN (MDD)

O método *Material Driven Design* (MDD), Figura 08, é uma ferramenta que tem como propósito projetar com base nas experiências e percepções dos materiais. Um dos seus objetivos é trazer o material para o centro do projeto, para que a prática de projeto seja guiada pelo desenvolvimento do material. A partir do desenvolvimento de um novo material ou produto no processo do MDD, o designer será capaz de saber como o material se comporta em circunstâncias diferentes e como ele reage quando submetido

a técnicas ou processos de fabricação distintos. Indica-se o presente método para projetos de produtos com materiais provenientes de resíduos (KARANA *et al.*, 2015).

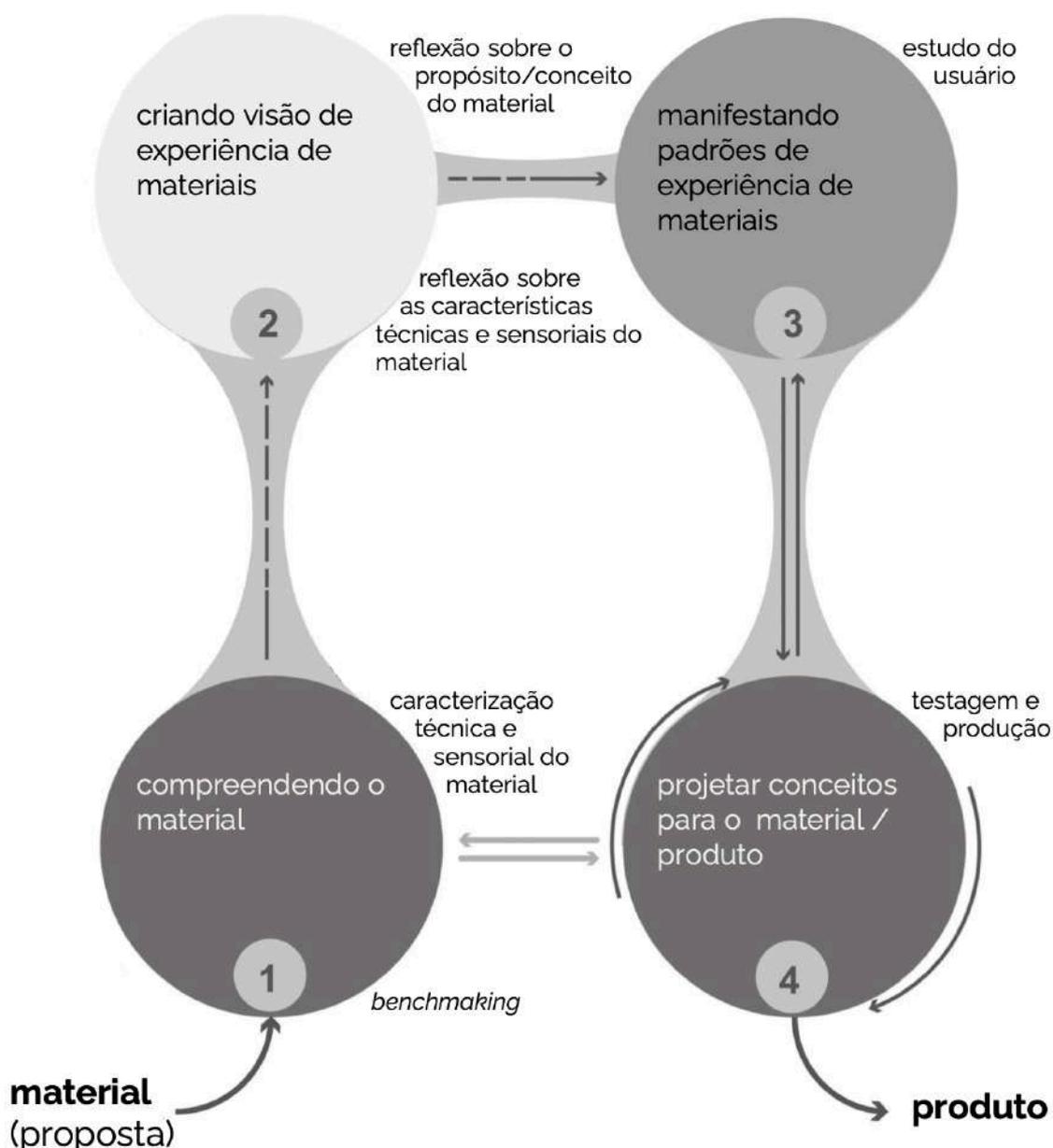


Figura 08: Etapas do método *Material Driven Design* (MDD)

Fonte: Adaptado de Karana *et al.*, 2015

Durante a primeira etapa, denominada de “*Compreendendo o material*”, são feitas as caracterizações técnicas (corresponde aos testes em laboratórios seguindo metodologias específicas) e experimentais dos materiais (avaliação das qualidades estéticas, possíveis associações às experiências e mapear possíveis aplicações). A segunda etapa, denominada “*Criando visões para a experiência do material*”, tem como

objetivo explorar diferentes visões para o material em produtos. São analisados em quais contextos o material faria uma diferença positiva, qual seria sua contribuição e função em determinado contexto (IBID.).

Na terceira etapa, denominada “*Padrões Manifestados da Experiência do Material*”, o foco é na interpretação das qualidades formais para o desenvolvimento do produto e estudo do usuário. Os resultados podem ser obtidos de forma quantitativa (análise estatística dos resultados) ou qualitativa (análise de imagens e descrições durante o processo). Por fim, durante a quarta etapa, denominada “*Criando conceitos do material/produto*”, os resultados das três etapas são incorporados no desenvolvimento de um produto/protótipo (IBID.).

Ma2E4

O Ma2E4 é um conjunto de ferramentas que tem como objetivo auxiliar os designer e pesquisadores na compreensão de como as pessoas avaliam um determinado material em quatro níveis experienciais diferentes: sensorial, interpretativo (significados), afetivo (emoções) e performativo (ações, performances). Além disso, identificar como esses níveis se inter-relacionam na experiência do material. O conjunto é composto por: um manual de instruções; perguntas do facilitador do teste; o mapa de caracterização, para registro das respostas dos participantes; vocabulário afetivo e interpretativo e um conjunto de imagens interpretativas (CAMERA; KARANA, 2018).

O Ma2E4 é empregado em *workshops*, tanto por estudantes e profissionais de design, quanto em projetos de graduação ou pós-graduação. O kit Ma2E4 pode ser baixado e utilizado gratuitamente para fins de pesquisa.

2.3 CADEIA PRODUTIVA DO AÇAÍ

O açazeiro, Figura 09a, é uma palmeira típica da região Amazônica, da qual se obtém o fruto do açaí Figura 09b. Ocorre espontaneamente nos estados do Pará, Amazonas, Maranhão e Amapá. Açazais nativos, densos e quase homogêneos são comuns no estuário do rio Amazonas, em terrenos de várzea, igapós (terrenos constantemente inundados) e terra firme. Essa é uma espécie tipicamente tropical, a qual se desenvolve em condições de clima quente, úmido e não suporta secas prolongadas. Nas regiões em que é nativo, as chuvas são abundantes (2.000 - 2.700 mm anuais) e bem distribuídas

durante o ano, com umidade relativa do ar acima de 80% (NOGUEIRA *et al.*, 1995). Açaí é um termo de origem tupi (*yasa*"y) e que significa "palmeira de água" (MOURÃO, 2010).



Figura 09: **a)** Açazeiro; **b)** Fruto do açaí

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

Segundo Tavares e Homma (2015), no Brasil são conhecidas três espécies de palmeira de açaí. Na região Norte são encontradas: a *Euterpe oleracea* Mart., popular na Amazônia Oriental (nos Estados do Pará, Maranhão, Amapá e Tocantins) e responsável pela maior parte da produção comercial do produto no país; a *Euterpe precatória* nativa da Amazônia Ocidental (nos Estados do Amazonas, Roraima, Rondônia e Acre). Os autores expõem que existe também a espécie *E. edulis*, nativa da Mata Atlântica e explorada de modo insustentável para a retirada do palmito.

O açazeiro possui um significado inigualável para os moradores da região Norte. Além de fazer parte do cotidiano de povos que habitam as regiões das ilhas ou banhadas pelo rio, conforme Figura 10, é da palmeira que se retira o alimento, medicamentos com base no conhecimento tradicional, construção de casas, de roupas, utensílios, e até armas. Estudos indicam que o uso da palmeira é integral, além de ser uma importante fonte de renda para os moradores ribeirinhos da região (MOURÃO, 2010). Todas as partes da palmeira do açaí têm um uso específico: as folhas são usadas no artesanato e ração animal, os cachos secos servirão de vassouras, o caule na construção de casas, a raiz é eficaz no combate da malária (QUIRINO *et al.*, 2017).



Figura 10: Açazeiro como componente do cotidiano ribeirinho

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

Cadeia produtiva pode ser denominada como um processo concentrado de produção, distribuição e consumo, tendo como resultado final um produto específico (BECKER; STENNER, 2008). Um dos principais destinos do açai é atender a demanda alimentar da região. O fruto é plantado e colhido em áreas de várzea ou áreas cultivadas, são escoados para os centros urbanos, local em que são processados. O processamento tem como objetivo separar a polpa dos caroços, para a comercialização da polpa de açai ao consumidor final (MENDONÇA *et al.*, 2020). A Figura 11 ilustra as etapas da cadeia produtiva do açai.

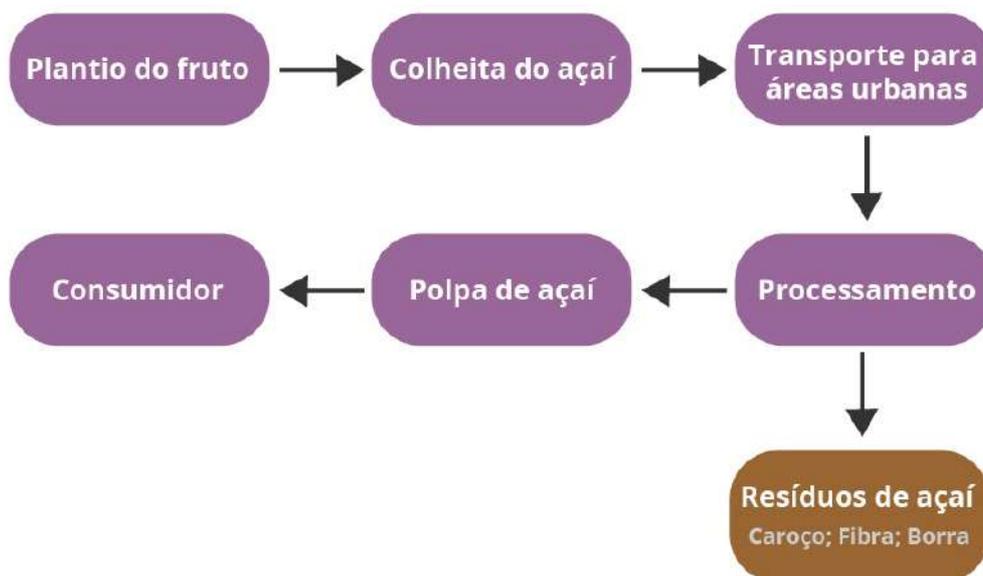


Figura 11: Esquema da cadeia produtiva do açai

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

A cadeia do açaí envolve extrativistas, produtores, intermediadores, indústrias de beneficiamento e batedores artesanais. A colheita do fruto é efetuada por escaladores, utilizando peçonha (laço feito de cordas, cipó, pano ou da própria palha dos açazeiros) que é colocado nos pés para facilitar a escalada na palmeira, Figura 12a. A colheita inclui a debulha dos frutos e o seu transporte até o local do embarque, efetuado em pequenas embarcações (HOMMA *et al.*, 2014). Na cidade de Belém, o principal ponto de escoamento do fruto para o processamento é a Feira do Açaí, Figura 12b. Localizada ao lado do Mercado do Ver-o-Peso, é o local em que diariamente os barcos vindos das ilhas da Baía do Guajará descarregam o açaí para comércio na capital.



Figura 12: **a)** Coleta do fruto; **b)** Feira do Açaí (Belém - Pará - Brasil)

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

Além do forte aspecto cultural, o açaí também desempenha um papel crucial na segurança alimentar das populações locais da Amazônia. Até o final dos anos 90, o açaí não era considerado, em termos financeiros, uma atividade relevante para a lógica do mercado. Não aparecia nas estatísticas de produção e seu consumo era registrado e relatado nas diferentes literaturas como o principal alimento dos setores mais pobres da região do estuário amazônico, ou como um prato típico da alimentação regional. Esse cenário mudou a partir do interesse nacional e internacional pelo produto, atrelado aos benefícios nutricionais (MOURÃO, 2010).

Atualmente, a indústria do açaí é uma das mais importantes fontes econômicas da região amazônica. O levantamento apresentado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e

Estatística (IBGE), conforme Figura 13, demonstra a produção de açaí na Amazônia. Em 2020, foram produzidas 220.489 toneladas do fruto, sendo o estado do Pará o maior produtor (149.671 toneladas), seguido pelo Amazonas (43.733 toneladas). Apesar da produção ter sido menor que do ano anterior, em valor de produção, o território movimentou no ano 694.300,00 mil reais, dentre os estados com destaque na arrecadação estão o Pará, Amazonas e Maranhão (IBGE, 2021).



Figura 13: Quantidade de açaí produzida na extração vegetal

Fonte: Adaptado de IBGE, 2021

A principal desvantagem da cadeia produtiva do açaí está na enorme quantidade de resíduos de biomassa, composto pelo caroço, fibras e borra do processo produtivo. A polpa que cobre a semente apenas superficialmente e a quantidade de resíduo gerado varia de 71% a 95% da massa processada do fruto. Esses resíduos são acumulados em grandes depósitos ou deixados perto dos estabelecimentos comerciais, causando poluição da terra, da água e urbana, conforme Figura 14 (BUFALINO *et al.*, 2018).



Figura 14: Resíduos de açaí em contexto urbano

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

No mercado, encontram-se vários produtos derivados do fruto do açaí, como xampus, sabonetes, bombons, doces, bebidas, óleos e corantes (HOMMA *et al.*, 2014). A grande quantidade de resíduos na região Amazônica comprova o não aproveitamento do caroço e a sua potencialidade (QUIRINO *et al.*, 2017).

A possibilidade do seu uso para geração de energia chama atenção dos pesquisadores da região. Um estudo apresentado por Kühn e De Oliveira (2019) demonstra que a quantidade de biomassa disponível na cidade de Belém (Pará) permite a gaseificação do material como uma alternativa para a matriz energética da Universidade Federal Rural da Amazônia. Além da questão técnica, outro ponto que desperta interesse é a viabilidade econômica do processo. Essa é uma realidade que reflete sobre as demandas e desafios da região, uma vez que o fornecimento de energia é precário em certos espaços do território amazônico.

Do ponto de vista material, os resíduos de açaí são atrativos como objeto de estudo por se tratar de um subproduto industrial. A possibilidade de ser utilizado para o desenvolvimento de materiais compósitos abre perspectivas promissoras, dadas pela baixa densidade dos resíduos, o que produz um material com menor peso e boa estabilidade térmica. Diversos são os exemplos de possíveis aplicações em diferentes áreas (AGUIAR; MENDONÇA, 2003).

O desenvolvimento de compósitos com os resíduos de açaí e matriz de poliuretano é um exemplo dessa afirmação. Um estudo apresentado por Cavalcanti *et al.* (2021) destaca resultados positivos através de testes de densidade e controle de produção do compósito. Outro ponto de destaque está nas características visuais e estéticas, pois percebe-se que a cor natural dos resíduos permitiu que o material desenvolvido apresentasse textura e padrões diferentes, com tons similares aos da cortiça e aplicação em revestimentos para interiores ou produtos de decoração.

Outra questão que direciona os estudos para solucionar o problema dos resíduos de açaí está relacionada ao impacto sobre a floresta Amazônica na busca por matéria-prima. Uma alternativa sustentável está na produção de painéis de partículas compostas por fibras de açaí e resina de mamona. Os resultados apresentados sugerem o potencial na

produção de painéis de partículas de média densidade homogênea e, conseqüentemente, uso comercial nas indústrias de construção e móveis. O material, Figura 15, indica uma possibilidade alternativa e sustentável para a indústria e parte dos impactos negativos da produção convencional de materiais (LIMA *et al.*, 2018).



Figura 15: Reportagem vinculada ao material desenvolvido

Fonte: TV Brasil, 2021. Disponível em: <<https://bit.ly/3LsqV32>>

Outra alternativa investigada na região é o estudo para o desenvolvimento de um material têxtil com fibras de açai. A pesquisa apresentada por Cohen e Santos (2022) parte da reflexão sobre a necessidade de práticas sustentáveis em setores como o da moda e da possibilidade de aliar as metodologias de design com o desenvolvimento de novos materiais. A matéria-prima desenvolvida, Figura 16b, é um tecido não tecido, plano, maleável, flexível e poroso, com potencial para aplicação na área têxtil.

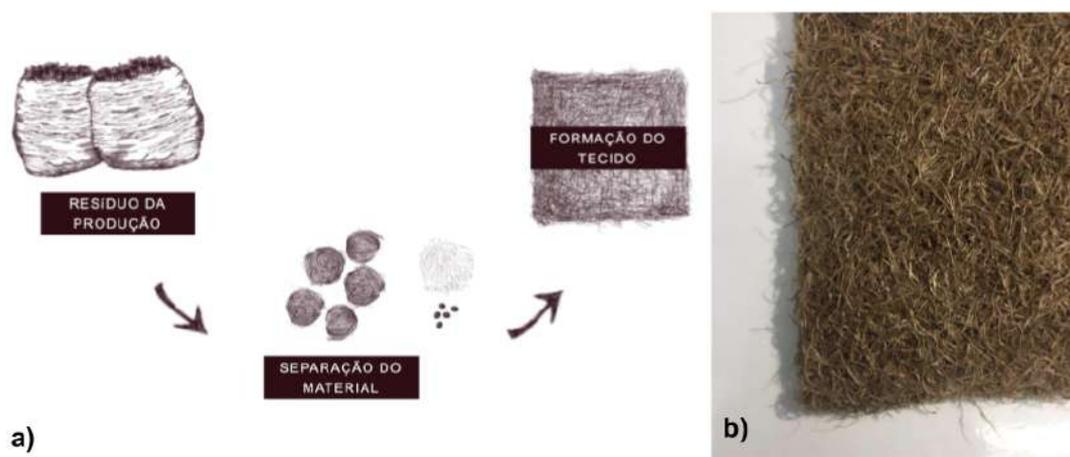


Figura 16: **a)** Esquema da produção do não tecido; **b)** Tecido não tecido com fibra de açai

Fonte: COHEN; SANTOS, 2022

No mercado local são encontrados alguns produtos em comercialização que utilizam os resíduos de açaí como matéria-prima, como o caso da marca Trama Design Autoral. Na coleção intitulada “Açaí Decó”, Figura 17a, foram produzidas peças com o compósito M.A.R.I.A (Mistura de Açaí com Resina e Insumos da Amazônia), o qual utiliza como reforço as borras (resíduo do despulpamento). Outras iniciativas interessantes que utilizam como insumo os resíduos de açaí são: a Ver-O-Fruto, Figura 17b, que produz sabonete facial com os caroços de açaí, e a Raízes Do Açaí, Figura 17c, que fabrica bebida aromática de café com os caroços que seriam descartados.



Figura 17: **a)** Açaí Decó; **b)** Ver-O-Fruto; **c)** Raízes do Açaí

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022. Disponível em: **a** – Trama Design Artesanal <<https://bit.ly/3MyGiXY>>; **b** – Ver-O-Fruto <<https://bit.ly/37OQixs>>; **c** – Raízes do Açaí <<https://bit.ly/3kj59Tn>>

A premissa de substituir em parte o consumo de madeira, por meio do reaproveitamento de materiais, geram indicadores de sustentabilidade em edificações. Assim, o estudo apresentado por Barbosa *et al.* (2019) apresenta testes sobre teor de umidade, densidade e temperatura de degradação para indicar o potencial de materiais compósitos com resíduos de açaí para aplicação na construção civil. Segundo Barbosa (2016), em cidades como Manaus (Amazonas), a falta de planejamento urbano, as altas temperaturas e a umidade relativa do ar são responsáveis pelo desconforto térmico em certos ambientes fechados. Assim, estudos termográficos do uso do caroço de açaí indicam a viabilidade do uso do material para a produção de compósitos poliméricos e aplicação em forros. Devido a sua capacidade reflexiva, o novo material apresenta potencial para proporcionar conforto térmico nas residências.

2.4 POLI (ÁCIDO LÁTICO) (PLA)

Nas décadas de 1970 e 1980, temia-se que o grande volume de resíduos poliméricos que estavam sendo gerados contribuiria para o enchimento de toda a capacidade dos aterros sanitários disponíveis. A introdução de materiais biodegradáveis foi apontada como um meio para eliminar parte desses resíduos e a resposta da indústria foi o início do desenvolvimento de polímeros biodegradáveis (CALLISTER; RETHWISCH, 2018).

Os recursos renováveis são recursos reabastecidos pelo ambiente durante um período de tempo relativamente curto. Polímeros biodegradáveis são produzidos de fontes renováveis via processos químicos ou biológicos, os quais se decompõem pela ação de enzimas de bactérias e outros microrganismos, como fungos e bactérias (MEI, 2016).

Dentre eles, destaca-se o Poliláctico (PLA), um material proveniente de recursos renováveis, produzido a partir da fermentação de recursos agrícolas, como o milho, sendo reciclável e compostável (PEREIRA; MORALES, 2014). O PLA possui uma ampla gama de aplicações, atende diferentes demandas industriais ou artesanais, o qual pode ser transformado em filmes transparentes, fibras, ou moldados por injeção (MOHANTY *et al.*, 2005).

O material tem sido popularmente usado como filamentos para impressão 3D e no geral encontram-se aplicações em embalagens ou produtos com curto ciclo de vida, como: bandejas, descartáveis, sacolas, garrafas e copos (ASHBY; JOHNSON, 2011). A Figura 18 ilustra algumas dessas aplicações.

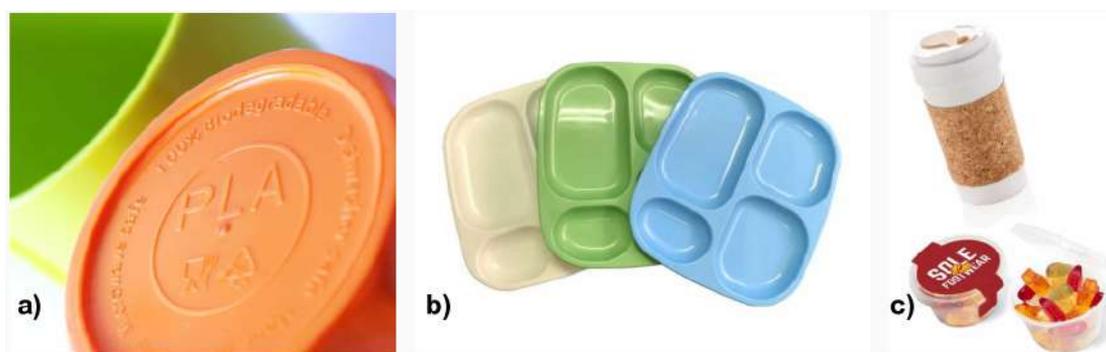


Figura 18: Produtos desenvolvidos com PLA

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022. Disponível em: **a** – Thyssenkrupp <<https://bit.ly/3nnZZqV>>; **b** – Hongjun-Biotech <<https://bit.ly/3I9UQwc>>; **c** – Firebrand <<https://bit.ly/3I5ceSs>>

Os aditivos são responsáveis pelas propriedades e características que os polímeros apresentam e possuem vantagens como: a melhora das condições de processamento, aumento da durabilidade e das propriedades técnicas. Para garantir a biodegradação é necessário que todos os aditivos sejam também biodegradáveis. Após o acréscimo nos polímeros, é possível obter um material na forma de pó ou de grão (*pellets*), os quais podem ser processados para obtenção de diferentes produtos (MEI, 2016).

Com o propósito de melhorar as suas propriedades, o PLA é geralmente modificado pela adição de diferentes aditivos. O Polietilenoglicol (PEG) é um excelente aditivo para o PLA, visto que auxilia a dispersão de cargas em compósitos e é um material biodegradável. O PEG apresenta taxas de degradação mais aceleradas que o PLA em seu estado puro, fator que facilita o processo de biodegradação quando ocorre a mistura dos materiais (LI *et al.*, 2015).

Na literatura, encontram-se pesquisas para investigar aplicação do PLA em produtos, como a de Pagnan (2018), na qual foi avaliada a percepção dos usuários frente ao material desenvolvido com PLA, PEG e corante natural de urucum. Guimarães *et al.* (2019) apresentam um material modificado através da extração de colorante da casca de laranja e incorporado no PLA, dos quais se obtiveram filamentos e produtos impressos em impressora 3D.

Baseado nos princípios do design circular, Leite *et al.* (2021) indicam o processo de desenvolvimento de um compósito biodegradável, compostável e reciclável produzido a partir de cascas de ovos e PLA. A pesquisa utilizou o método do MDD para validar os experimentos, as etapas de desenvolvimento do novo material e a aplicação em um produto – luminária denominada *LEXI lamp*. Teixeira *et al.* (2019) apresentam a investigação para o desenvolvimento de materiais com a mistura de PLA e fibras vegetais, além de um protótipo de copo confeccionado com os resultados.

As fibras vegetais, Figura 19, são extraídas de árvores, plantas, palmeiras ou sementes. As suas características variam da forma e da região do vegetal em que é obtida, além da maneira em que é feito o seu processamento. Dentre as suas vantagens para uso e aplicação em materiais, destacam-se: baixa densidade, baixo custo, fácil disponibilidade

e biodegradabilidade. A composição estrutural dessas matérias-primas tem como base a celulose, hemicelulose e a lignina (VINOD *et al.*, 2020).

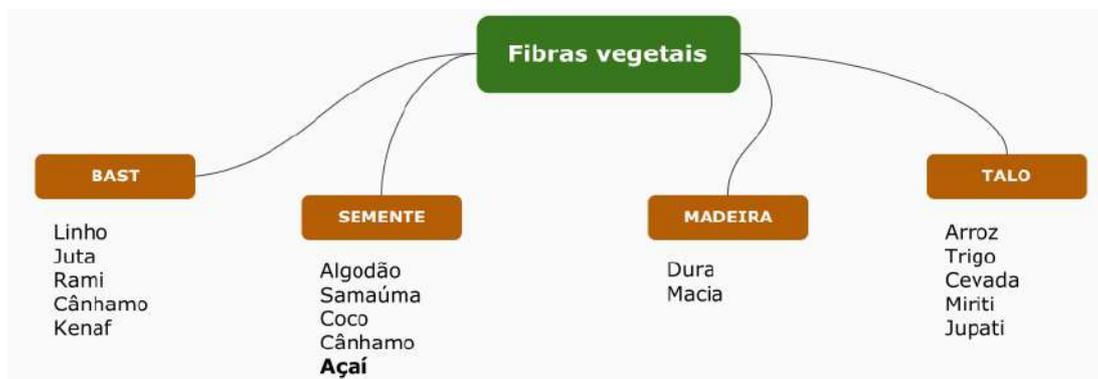


Figura 19: Esquema com a classificação das fibras vegetais

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022 (adaptado de POTLURI, 2019)

O uso de fibras vegetais como reforço de materiais remonta 300 a.C., em que a palha foi usada como reforço de argila para preparação de tijolos. Atualmente, muitas das aplicações das fibras naturais têm como uso compósitos na indústria automotiva, de construção, esportiva e marítima. Os compósitos à base de materiais naturais têm muitas vantagens distintas com enormes possibilidades em diferentes áreas de aplicação, conforme Figura 20 (POTLURI, 2019).

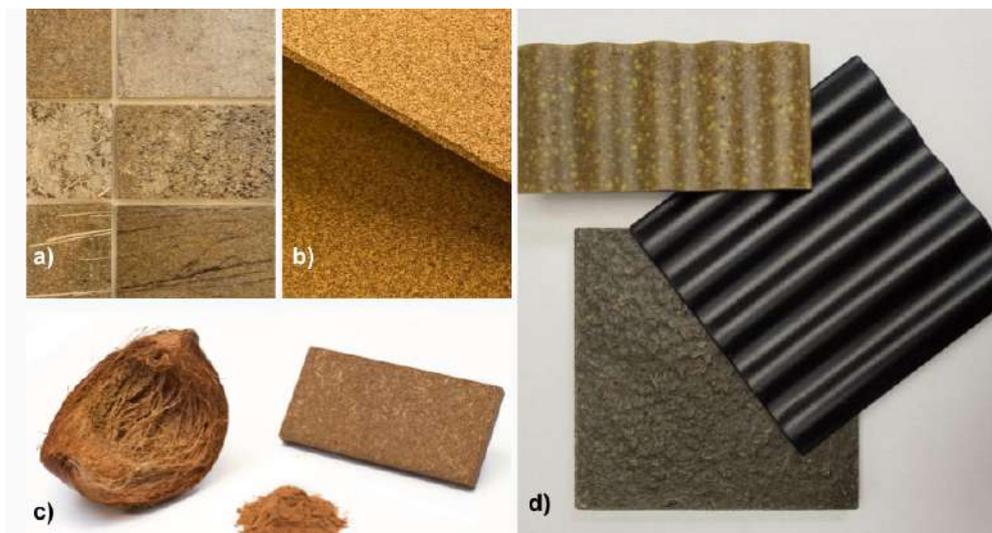


Figura 20: Compósitos poliméricos com reforço de fibras naturais (a - erva daninha; b - cortiça; c - coco; d - casca de laranja, resíduo de café e grama)

Fonte: Material District, 2022. Disponível em: a - <<https://bit.ly/3nu17ta>>; b - <<https://bit.ly/3QZbq5S>>; c - <<https://bit.ly/3QYBRbl>>; d - <<https://bit.ly/3Afnie1>>

Estudos indicam que o PLA pode ser reprocessado/reciclado por meio do aquecimento de seus resíduos, e que as suas propriedades podem ser aperfeiçoadas com a aplicação de fibras vegetais como reforço (LEITE *et al.*, 2019). Através do método do MDD, experimentos para o desenvolvimento de novos materiais, com resíduos de PLA provenientes de impressão 3D e resíduos lignocelulósicos como reforço (fibras vegetais e pó de madeira), apresentaram resultados interesse quanto à percepção dos usuários com os materiais provenientes dessas matérias-primas. Além da possibilidade de se utilizar um material sustentável em produtos do dia-a-dia, o aspecto estético (cor e textura) foi um fator decisivo para traçar significados e experiências de interesse ao público-alvo avaliado (TEIXEIRA *et al.*, 2022).

2.5 FOLHA DE CELULOSE

O papel é um material presente na vida cotidiana, entretanto, durante grande parte da história, era algo raro e caro. A transição de uma cultura oral, em que o conhecimento era transmitido através de histórias, para uma cultura literária, baseada na palavra escrita, foi dificultada durante séculos devido a falta de material adequado, Figura 21. Antes do papel era comum o uso de pastilhas de pedra e argila, madeira, ou até mesmo a pintura de parede (MIODOWNNIK, 2013).

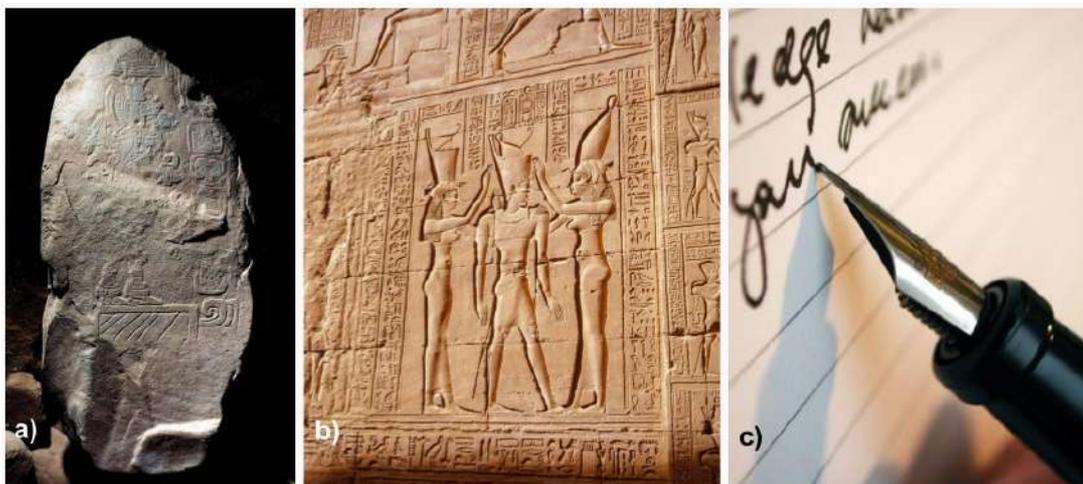


Figura 21: Ferramentas para escrita ao longo dos anos (a - Pedra e argila; b - Pinturas de parede; c - Papel)

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022. Disponível em: a - <<https://bit.ly/3apHfnY>>; b - <<https://bit.ly/3yjvtDw>>; c - <<https://bit.ly/3bUoTf9>>.

No passado, as matérias-primas utilizadas na fabricação de papel eram biomassa de plantas, como linho, algodão, bambu e palha de cereais. Em meados do século XIX até os dias de hoje, devido ao aumento da demanda por papel, os materiais lenhosos começaram a ser utilizados. No entanto, existe um interesse renovado na utilização de matérias-primas alternativas, visto que a variedade de características, dimensões das fibras e composição química dessas matérias-primas alternativas confere-lhes um grande potencial para a produção de diferentes tipos de papéis (EUGENIO *et al.*, 2019).

O Brasil destaca-se como o segundo maior produtor mundial de polpa celulósica de todos os tipos. Apesar de ter uma rica flora, o país tem como base florestal para suprir o setor de polpa apenas o Eucalipto (*Eucalyptus spp.*) e o Pinus (*Pinus spp.*). No país, o Eucalipto é o mais plantado, devido à sua resiliência, alta capacidade de produção, rápido crescimento, boa capacidade de adaptação a diferentes regiões, potencial econômico e uso diversificado da madeira (CUNICO *et al.*, 2021).

O processo de fabricação do papel, Figura 22, pode ser dividido em: **(I) Preparação:** seleção do material e formação da polpa, com a possibilidade de tratamento químico do material; **(II) Formação da folha:** deflocação da polpa e difusão na superfície do molde para controle de gramatura da folha; **(III) Prensagem/Secagem:** retirada da água do material por meio da pressão. Esse processo resulta em várias características do material, durante este estágio as ligações de hidrogênio entre as fibras são criadas, visto que as fibras ficam muito próximas umas das outras; e **(IV) Colagem/Revestimento:** processo de acabamento do material em que podem ser acrescentados aditivos para melhorar a performance em aplicações específicas (PASSAS, 2012).

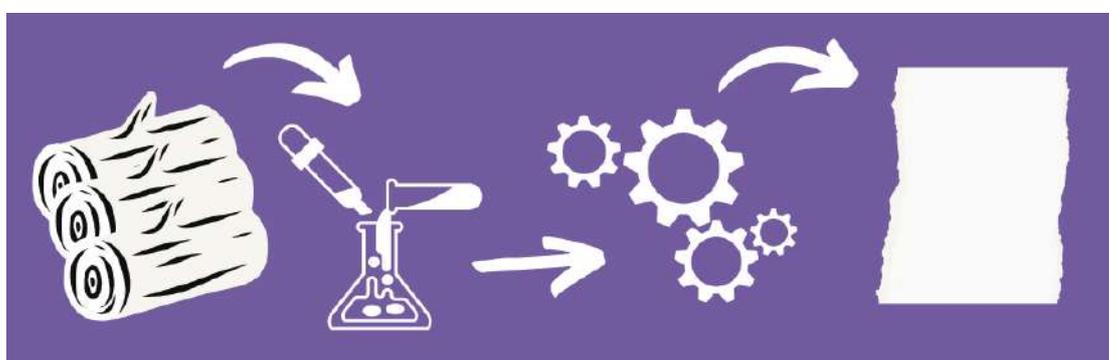


Figura 22: Esquema sobre o processo de fabricação do papel

Fonte: Elaborado pelo autor

Dentre as principais etapas do processo de produção do papel está o branqueamento. Tanto a polpa de madeira quanto a polpa de materiais não-madeira são submetidos ao processo. Essa etapa é responsável pela limpeza da polpa e não-madeira tem sido praticada desde tempos remotos (MUHAMADI; BYARUHANGA; KIRABIRA, 2013).

Os produtos químicos utilizados para o branqueamento abrangem alvejantes oxidantes ou redutores, hidróxido de sódio e enzimas, os quais podem ser usados isoladamente ou em combinação. O objetivo do uso de produtos químicos é degradar e dissolver as ligninas sem afetar as cadeias de hemicelulose e celulose (EL-SAYED; EL-SAKHAWY; EL-SAKHAWY, 2020).

Na literatura, encontram-se pesquisas com o uso de fibras vegetais, provenientes de resíduos de processos produtivos, na produção de papel reciclado. Uma delas é a confecção artesanal de papeis com as fibras do pseudocaule da bananeira, matéria-prima que é descartada após a colheita do fruto. Foram investigadas duas possibilidades, a primeira um papel confeccionado apenas com as fibras de bananeira, o qual demonstrou ser um material flexível, porém quebradiço. O segundo, material confeccionado com fibras misturadas com papel pós-consumo, o qual demonstrou-se mais flexível e maleável (CORAIOLA; MARIOTTO, 2009).

Outra iniciativa é o papel produzido com as bainhas residuais do processamento do palmito da pupunha. Para indicar a possibilidade de aplicação, foi avaliado o fechamento superficial da matéria-prima através do MEV, com a baixa presença de espaços vazios e a proximidade entre os elementos celulares do resíduo. Dentre as características obtidas destaca-se a maleabilidade, a grande variabilidade de aplicações e a possibilidade de reprodução artesanal. Foram confeccionados invólucros de talheres e sugeridas como possíveis aplicações embalagens de papéis bandeja e artigos de papelaria (GOTTARDI *et al.*, 2021).

Destaca-se também a pesquisa com papel pós-consumo e resíduos do artesanato de Jupati, fibras de uma palmeira amazônica, com coloração artificial e que seriam usadas na confecção de bolsas e acessórios. O papel reciclado apresenta uma composição estética colorida e ressalta a textura dos resíduos (papel e fibra). Demonstra resistência

superior à matéria-prima reciclada sem o acréscimo do Jupati. Foram desenvolvidos marcadores de livros e uma agenda com o material (COHEN; CAMINO; SANTOS, 2021).

Além de investigações relatadas, no Banco de Dados do INPI (Instituto Nacional de Propriedade Industrial) foram encontradas as informações da Quadro 01, referente a pedidos de patentes e certificados concedidos a tecnologias provenientes ao uso de fibras vegetais na produção de papel.

Quadro 01: Tecnologias provenientes ao uso de fibras vegetais na produção de papel

Nº do pedido	Ano	Título	Tecnologia
PI 0204722-5 A	2002	Papel artesanal confeccionado com fibra pura de cana de açúcar monolúcido	Papel confeccionado com fibras que são trituradas em liquidificador industrial e transformadas em polpas de fibra sem adição de outro material.
PI 0317380-1 A	2003	Fibras de polpa amino-funcionalizadas	Formação de papel aplicando aditivo amino-funcional a uma trama fibrosa. As fibras adequadas para esse processo podem incluir qualquer fibra celulósica natural, como juta, palha, folhas de abacaxi, linho e kenaf.
PI 0501835-8 A	2005	Processo para obtenção de fibra a partir de resíduos em geral utilizada na fabricação em escala industrial de papel reciclado e congêneres	Processo produtivo para gerar fibra ideal a produção de papel reciclado, atribuindo tanto aos resíduos rurais como urbanos para fabricação de tubetes e móveis.
PI 0600336-2 A	2006	Processo para obtenção de celulose a partir de fibra de bananeira para fabricação de papel	Produção por meio do processo de beneficiamento das fibras (branqueamento com cloro e/ou água sanitária) para fabricação de papel.
PI 0601860-2 A2	2006	Papel a base de fibra de bananeira para produção industrial	Utilização das fibras extraídas diretamente das bananeiras (do tipo longas) no processo convencional da produção de papel, sem tratamento do material.

BR 11 2013 032550 0	2012	Processo para produção de papel, papelão e papel cartão	Método para produção de papel, cartão e papelão, compreendendo a desidratação de um material de papel com material de enchimento (fibras de cana de açúcar e kenaf) e copolímero anfotérico solúvel em água.
BR 11 2017 018071 5	2016	Papel baseado em fibra agrícola	Processo produtivo de papel baseado em fibras agrícolas (como algodão, palha e bagaço). É formada uma pasta fluida não refinada de polpa branqueada ou não branqueada, mesclada com aditivos minerais ou químicos e processada em equipamento adequado.
BR 11 2019 006189 4	2017	Método para a produção de uma película compreendendo celulose microfibrilada, uma película e um produto de papel ou papelão	Partícula de fibra de celulose em nano escala com uma nano dimensão de 10 nm. Como matéria-prima indica-se o uso de fibras longas de bambu ou palha de trigo.
BR 10 2020 013493 0	2020	Processo de fabricação de papel utilizando celulose produzida a partir da fibra de sisal (<i>Agave sisalana</i>)	Processo de fabricação de papel que se diferencia dos demais com base na celulose obtida através da fibra de sisal. São utilizadas fibras obtidas do tratamento de plantas/resíduos industriais e obtidas diferentes gramaturas de papel que se adaptam ao resultado desejado.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

Para essa seleção foram utilizadas no campo de busca as palavras-chaves: papel, folha de celulose, fibra, vegetal e resíduo. Dentre as principais semelhanças entre as tecnologias selecionadas estão: a possibilidade de utilizar fibras extraídas ou resíduos de produção agroindustrial, o uso ou não do processo de branqueamento, o uso de processos convencionais para produção de papel e a indicação de processos específicos. Entretanto, com base na biodiversidade do país, nota-se o baixo número de registros e a necessidade de iniciativas que possam explorar como objeto de estudo outras espécies da flora brasileira, em especial aquelas do território amazônico.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Quanto aos procedimentos metodológicos, a presente pesquisa é caracterizada como exploratória. Esta modalidade tem como objetivo proporcionar uma maior familiaridade com o problema estudado, além de aprimorar ideias e/ou verificar possibilidades para soluções. A primeira etapa da pesquisa é identificada como pesquisa bibliográfica, desenvolvida com base em material já elaborado, constituído por artigos científicos, capítulos e livros publicados sobre estudos da área de pesquisa (GIL, 2009).

Com a finalidade de se construir uma fundamentação teórica, essa etapa foi essencial para identificar oportunidades e estabelecer parâmetros para a forma como foi feita o processamento e a caracterização dos resíduos de açaí e os novos materiais. Os estudos encontrados na literatura serviram como base para entender e analisar esses resultados.

O método empregado no desenvolvimento de materiais é o experimental, com o propósito de testar novas combinações por meio de experimentos em laboratório e avaliar os resultados obtidos. Para a pesquisa em design nesta dissertação, o método experimental é utilizado como ferramenta para visualização de percepções e potenciais aplicações dos materiais (MIODOWNNIK, 2013; BAK-ANDERSEN, 2021).

O processo experimental para o desenvolvimento dos novos materiais com os resíduos de açaí teve como base o método *Material Driven Design* (MDD) proposto por Karana *et al.* (2015). A presente pesquisa, aplica a primeira etapa, denominada de “Compreendendo os materiais” para avaliar os resultados de processamento e caracterização técnica dos compósitos de PLA/fibra de açaí, PLA/caroço de açaí e da folha de celulose com fibra de açaí. Como parte dessa etapa, é empregada a ferramenta *Benchmarking*, com o objetivo de posicionar os materiais dentro de um grupo de semelhante, avaliar suas qualidades e possíveis aplicações no design de produto.

Além disso, foi feita uma adaptação do método Ma2e4, apresentado por Camere e Karana (2018), para que o pesquisador tivesse a oportunidade de fazer uma avaliação a nível sensorial e interpretar as informações junto com os resultados de caracterizações

técnicas. Foi adaptado o esquema, Figura 23, com características específicas e seus opostos, em que 0 é um ponto neutro e a partir dele são feitas comparações.

avaliação sensorial - <i>nome da amostra</i>	-2 -1 0 1 2					
	duro					
liso						áspero
fosco						brilhante
não refletivo						refletivo
frio						quente
não elástico						elástico
opaco						transparente
resistente						dúctil
forte						fraco
leve						pesado
textura regular						textura irregular
fibroso						não fibroso

Figura 23: Esquema para avaliação sensorial dos materiais

Fonte: Adaptado de Camere e Karana, 2018

De acordo com a estrutura da dissertação, os capítulos seguintes seguem os procedimentos relatados. Entretanto, foi realizada uma adaptação com os processos para o desenvolvimento dos novos materiais. Antes de iniciar os experimentos específicos, foi feita a coleta dos resíduos de açaí no contexto urbano (Belém – Pará) e a preparação dos materiais em laboratório (Belo Horizonte – Minas Gerais).

4. COMPÓSITOS

4.1 MATERIAIS

Os materiais foram coletados pelo pesquisador em sacas de material residual, encontradas nas ruas de Belém, geradas pelos estabelecimentos comerciais de despulpamento (popularmente conhecidos por “Casas de Açaí”), conforme Figura 24. Para essa coleta, foi necessário o uso de equipamentos de segurança e uma triagem do material coletado através do uso de um coador, para separação dos resíduos de açaí e outros resíduos encontrados nas sacas (como restos de comida e lixo doméstico).



Figura 24: Coleta dos resíduos de açaí (Belém – Pará – Brasil)

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

Nesse processo, foi utilizada água corrente quente e uma peneira de Nylon. Após secagem em temperatura ambiente, em laboratório, foi feita separação manual das fibras e dos caroços, Figura 25. Durante esse processo, o atrito promovido pela peneira e os caroços facilitou a remoção das fibras do material. Foram separados nesse processo: os caroços, as fibras e a borra (não utilizada na presente pesquisa).



Figura 25: Resíduos misturados; caroços; fibras e borra de açaí

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

Os caroços de açaí foram utilizados na investigação para o desenvolvimento de compósitos com poli (ácido lático) (PLA). As fibras de açaí foram direcionadas para os estudos de compósitos com PLA e no desenvolvimento de uma folha de celulose. O PLA utilizado foi o filamento do fabricante 3D Fila (Minas Gerais - Brasil), com diâmetro de 1,75 mm e temperatura de processamento entre 185 - 220 °C. O PEG 6.000 foi adquirido da Sigma Aldrich (Missouri - EUA).

4.2 CARACTERIZAÇÕES DOS RESÍDUOS DE AÇAÍ

A etapa anterior ao desenvolvimento dos compósitos diz respeito a caracterização dos resíduos de açaí (fibra e caroço). Para compreender as características técnicas das **fibras de açaí**, foi realizada a Análise Termogravimétrica (TG) e a Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR), com o objetivo de identificar a temperatura ideal para o processamento dos compósitos e investigar a composição química do resíduo, respectivamente.

A TG foi realizada em uma termobalança DTA-60 (Shimadzu) sob atmosfera de ar sintético (fluxo = 50 mL min⁻¹). Os experimentos foram conduzidos à temperatura ambiente até 750 °C, usando uma taxa de aquecimento de 10°C min⁻¹. O FTIR foi realizado no espectrômetro Perkin Elmer Frontier FT-IR no modo atenuado de reflexão total (ATR), e os espectros de FTIR foram registrados em números de onda de 500 a 4000 cm⁻¹ com resolução de 4 cm⁻¹. Uma média de 64 varreduras foi gravada para cada espectro.

Para compreender as características técnicas dos **caroços de açaí**, inicialmente foi feita a moagem do material e posterior teste de: Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR), Determinação da Área Superficial Específica, Análise da Porosidade e Difração de raios-X (DRX).

As imagens de MEV foram realizadas com auxílio de um equipamento de bancada modelo Hitachi 4000 Plus com feixe de elétrons operando a 5kV e captadas utilizando o detector de elétrons retro espalhados (BSD). O FTIR foi realizado com o auxílio do espectrofotômetro Thermo Scientific Nicolet 6700 Gold. A amostra foi pressionada contra um cristal de ZnSe e a varredura feita na faixa de 650 - 4500 cm⁻¹.

A determinação da área superficial específica e análise da porosidade foram realizadas por adsorção de nitrogênio, a partir das isotermas de adsorção e dessorção de N₂ obtidas, a temperatura de 77 K, em equipamento Quantachrome (modelo Nova Win2). A área superficial específica foi calculada por meio da aplicação da equação derivada por Brunauer, Emmett e Teller (BET).

O diâmetro médio e o volume de poros nas etapas de adsorção e dessorção foram calculados com base no método Barrett, Joyner e Halenda (BJH). O perfil de difração de raios-X do caroço de açaí foi obtido em um difratômetro de raios X a 40 kV/40 mA, que foi equipado com um tubo de Cu (radiação Cu K α , $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$) e um cristal de grafite monocromador.

4.3 OBTENÇÃO DOS COMPÓSITOS

Para o desenvolvimento dos compósitos de PLA/resíduos de açaí foram investigadas duas possibilidades: a primeira, aproveitando as fibras como material de reforço e a segunda, utilizando o caroço em pó como material de reforço. Para as duas hipóteses, os resíduos foram processados com PEG em uma manta térmica, com o propósito de dispersar a carga no PLA e obter um material homogêneo, conforme Figura 26.



Figura 26: Processo de mistura do PEG com os resíduos de açaí (a - Fibras; b - Caroço)

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

Após a mistura dos resíduos com PEG, foi realizado o processamento com PLA.

PLA/Fibras de açaí

O processamento, Figura 27, iniciou com a mistura das fibras com PEG em uma manta aquecedora, em temperatura de 60 °C. Após esse processo, o material foi resfriado em temperatura ambiente e triturado em moinho de batelada. Em seguida, foi feito o processamento do material com PLA em extrusora Filmaq3D STD, a temperatura de 185 °C, velocidade de extrusão de 3 rpm. Os filamentos obtidos foram peletizados e prensados em prensa hidráulica por 10 min, 200 °C sobre pressão de 5,5 t.



Figura 27: Etapas do processamento dos compósitos de PLA/Fibra de açaí

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

Os materiais foram nomeados, de acordo com a proporção de fibras e o teor de PEG, como: **PEG/FIBRA 25** (25% FIBRA / 75% PEG), **PEG/FIBRA 50** (50% FIBRA / 50% PEG) e **PEG/FIBRA 75** (75% FIBRA / 25% PEG). Dentro dessas proporções, foram avaliadas cinco possibilidades de composição com PLA, em duas proporções diferentes (90/10 e 80/20). Ao todo, foram elaboradas cinco amostras para as possibilidades relatadas, conforme Tabela 01.

90% PLA + 10% PEG/FIBRA	25 (25% FIBRA / 75% PEG)
	50 (50% FIBRA / 50% PEG)
	75 (75% FIBRA / 25% PEG)
80% PLA + 20% PEG/FIBRA	25 (25% FIBRA / 75% PEG)
	50 (50% FIBRA / 50% PEG)

Tabela 01: Tabela com as amostras PLA/Fibras de açaí processadas

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

A primeira possibilidade foi composta por **90% PLA + 10% PEG/FIBRA 25**, a segunda possibilidade foi composta por **90 % PLA + 10% PEG/FIBRA 50** e a terceira possibilidade foi composta por **90% PLA + 10% PEG/FIBRA 75**. A quarta possibilidade foi composta por **80% PLA + 20% PEG/FIBRA 25** e a quinta possibilidade foi composta por **80% PLA + 20% PEG/FIBRA 50**. Não foi realizado o teste com a proporção **80% PLA + 20% PEG/FIBRA 75** devido a dificuldades de processamento da extrusora.

Para avaliar a variação de cor nos compósitos, conforme foi aumentada a porcentagem de fibra de açaí na mistura, foi realizada a caracterização por meio da colorimetria pelo sistema de coordenadas CIELab. Neste teste, a luminosidade (L^*), as coordenadas cromáticas (a^* e b^*) e a variação total da cor (ΔE^*), em relação ao padrão (PLA branco), foram determinadas com auxílio do espectrofotômetro Konica Minolta 600 D.

As medidas foram realizadas em cinco pontos diferentes de cada amostra. Como resultados, são apresentados os valores das médias dos cinco pontos das amostras, com os respectivos desvios padrão exportados pelo software *Excel*. A variação total de cor (ΔE^*) em relação ao padrão é calculada pelo próprio equipamento e definida pela Equação 1 (PAGNAN *et al.*, 2017).

$$\Delta E^* = \sqrt{(L - L_o)^2 + (a - a_o)^2 + (b - b_o)^2} \quad (1)$$

Na equação o índice zero se refere ao padrão. Para compreender potenciais percepções dos compósitos desenvolvidos, foi utilizado o método comparativo de materiais proposto por Camere e Karana (2018) para análise sensorial.

PLA/Caroço de açaí

O processamento dos compósitos de PLA/Caroço de açaí, Figura 28, iniciou com a moagem dos caroços em moinho de batelada (IKA modelo A10) para posterior peneiramento em peneira de 325 *mesh*, para adquirir um controle na granulometria. Em seguida, foi feita a mistura do pó com PEG em uma manta aquecedora, em temperatura de 60 °C.



Figura 28: Etapas do processamento dos compósitos de PLA/Caroço de açaí

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

Após esse processo, o material foi resfriado em temperatura ambiente e triturado novamente no moinho de facas. Em seguida, foi novamente feito o peneiramento, em peneira de 100 *mesh*. Após essa etapa, foi realizado o processamento do material com PLA em extrusora Filmaq3D STD, a uma temperatura de 185 °C, em velocidade de extrusão de 3 rpm. Os filamentos obtidos foram peletizados e prensados em prensa hidráulica por 10 min, 200 °C sobre pressão de 5,5 t.

Os materiais foram nomeados, de acordo com o teor de PEG e a proporção de resíduo, como: **PEG/CAROÇO 25** (25% CAROÇO / 75% PEG), **PEG/CAROÇO 50** (50% CAROÇO / 50% PEG) e **PEG/CAROÇO 75** (75% CAROÇO / 25% PEG). Dentro dessas proporções, foram avaliadas cinco possibilidades de composição com PLA, em duas proporções diferentes (90/10 e 80/20). Ao todo, foram elaboradas cinco amostras para as possibilidades relatadas, conforme Tabela 02.

90% PLA + 10% PEG/CAROÇO	25 (25% CAROÇO / 75% PEG)
	50 (50% CAROÇO / 50% PEG)
	75 (75% CAROÇO / 25% PEG)
80% PLA + 20% PEG/CAROÇO	25 (25% CAROÇO / 75% PEG)
	50 (50% CAROÇO / 50% PEG)

Tabela 02: Tabela com as amostras PLA/Fibras de açaí processadas

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

A primeira possibilidade foi composta por **90% PLA + 10% PEG/CAROÇO 25**, a segunda possibilidade foi composta por **90% PLA + 10% PEG/CAROÇO 50** e a terceira possibilidade foi composta por **90% PLA + 10% PEG/CAROÇO 75**.

A quarta possibilidade foi composta por **80% PLA + 20% PEG/CAROÇO 25** e a quinta possibilidade foi composta por **80% PLA + 20% PEG/CAROÇO 50**. Não foi realizado o teste com a proporção **80% PLA + 20% PEG/CAROÇO 75** devido a dificuldades de processamento da extrusora.

Para compreender as características técnicas do material, foi realizado o FTIR do caroço de açaí e dos compósitos para identificar a composição química dos resíduos e do novo material. Além disso, os compósitos foram também submetidos a TG para identificar a estabilidade térmica.

O FTIR foi realizado no espectrômetro Perkin Elmer Frontier FT-IR no modo atenuado de reflexão total (ATR), e os espectros de FTIR foram registrados em números de onda de 500 a 4000 cm^{-1} com resolução de 4 cm^{-1} . A TG foi realizada em uma termobalança DTA-60 (Shimadzu) sob atmosfera de ar sintético (fluxo = 50 mL min^{-1}). Os experimentos foram conduzidos à temperatura ambiente até 750 $^{\circ}\text{C}$, usando uma taxa de aquecimento de 10 $^{\circ}\text{C min}^{-1}$.

Para avaliar a variação de cor nos compósitos, conforme foi aumentada a porcentagem de caroço de açaí na mistura, foi realizada a caracterização por meio da colorimetria pelo sistema de coordenadas CIELab. Neste teste, a luminosidade (L^*), as coordenadas cromáticas (a^* e b^*) e a variação total da cor (ΔE^*), em relação ao padrão (PLA branco), foram determinadas com auxílio do espectrofotômetro Konica Minolta 600 D. As medidas foram realizadas em cinco pontos diferentes de cada amostra. Como resultados, são apresentados os valores das médias dos cinco pontos das amostras, com os respectivos desvios padrão exportados pelo software *Excel*.

A variação total de cor (ΔE^*) em relação ao padrão é calculada pelo próprio equipamento e definida pela Equação 1 (PAGNAN *et al.*, 2017). Na equação o índice zero se refere ao padrão.

$$\Delta E^* = \sqrt{(L - L_0)^2 + (a - a_0)^2 + (b - b_0)^2} \quad (1)$$

Para compreender potenciais percepções dos compósitos desenvolvidos, foi utilizado o método comparativo de materiais proposto por Camera e Karana (2018) para análise sensorial. Por fim, foi utilizada a ferramenta *benchmarking* proposta por Karana *et al.* (2015) para avaliar potenciais aplicações no design de produto do compósito de PLA/Fibra de açaí e PLA/Caroço de açaí.

4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO (COMPREENDENDO OS MATERIAIS)

Resíduos de açaí (fibras e caroço)

Os resultados do teste de TG da fibra de açaí, Figura 29, demonstram uma curva com perda de água do material em torno de 80 °C, ou talvez a decomposição de compostos de baixa massa molar. Isso representa a degradação de 10% do material. A principal etapa de degradação começa em torno de 200 °C e está associada à degradação de hemicelulose, celulose e lignina (OLIVEIRA *et al.*, 2019). Tal temperatura indica o início da degradação da biomassa e é usada para limitar a temperatura máxima no processamento de materiais lignocelulósicos (SENA NETO *et al.*, 2013).

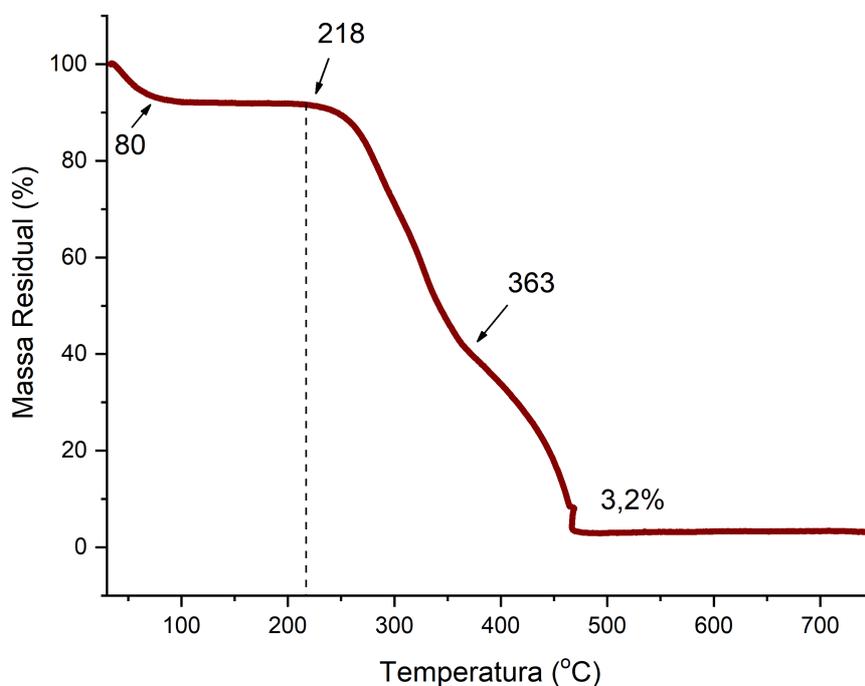


Figura 29: TG da fibra de açaí

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

Perto de 350 °C, a celulose foi completamente decomposta devido à quebra de suas estruturas moleculares. Enquanto a lignina continua a se degradar até uma temperatura acima de 400 °C (KABIR; WANG; LAU, 2013). Após 450 °C, a perda de massa começa a se estabilizar, e o material atinge um percentual de 3,2% de material residual.

Conforme Figura 30, o espectro de FTIR das fibras de açaí apresenta as principais bandas atribuídas aos materiais lignocelulósicos. Assim, os grupos funcionais detectados são aqueles devidos à hemicelulose, celulose e lignina. A banda em 3304 cm^{-1} corresponde à ligação O-H, enquanto a banda em 2928 cm^{-1} é atribuída ao alongamento assimétrico de CH e CH_2 (OLIVEIRA *et al.*, 2019; SENA NETO *et al.*, 2013).

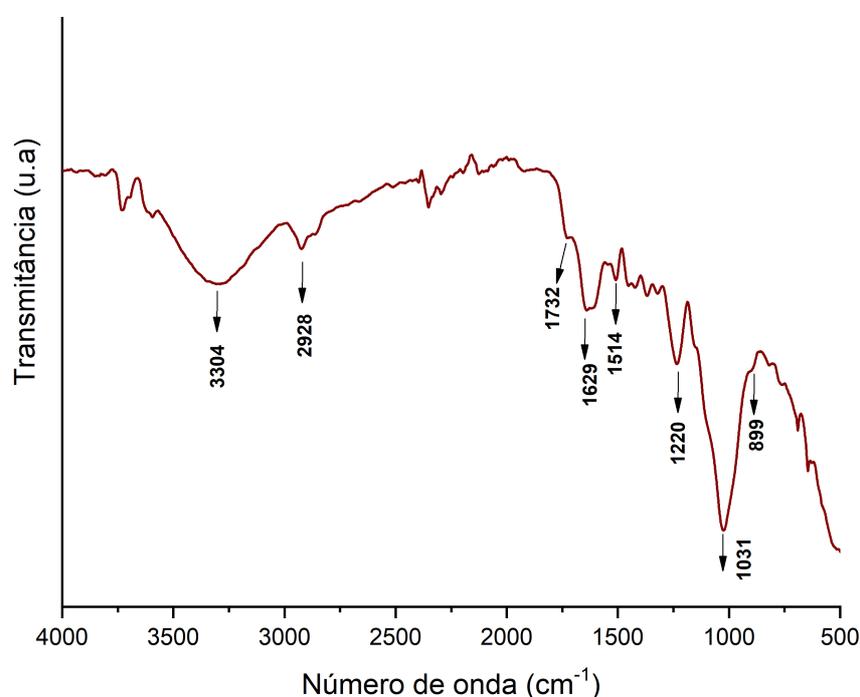


Figura 30: Espectro de FTIR da fibra de açaí

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

As bandas em 1732 e 1629 cm^{-1} estão relacionadas aos grupos acetil e ligações C=O, características da hemicelulose (OLIVEIRA *et al.*, 2019; KABIR *et al.*, 2013). Um pico de lignina está localizado na banda de 1514 cm^{-1} devido a vibrações aromáticas no plano C=C (OLIVEIRA *et al.*, 2019; SENA NETO *et al.*, 2013).

A banda em 1220 cm^{-1} e 1240 cm^{-1} foi encontrada na literatura, como alongamento de grupos acetil de hemicelulose (-COR) (OLIVEIRA *et al.*, 2019). Em 1220 cm^{-1} como

respiração de anel aromático com C-O e C=O estiramento da lignina (KABIR *et al.*, 2013). A banda em 1031 cm^{-1} está associada ao alongamento dos grupos C-O-C presentes na hemicelulose, lignina e celulose (OLIVEIRA *et al.*, 2019). A banda em 899 cm^{-1} é designada como flexão C-H da celulose amorfa (KABIR *et al.*, 2013). Além disso, pequenas bandas em comprimentos de onda mais curtos seriam interpretadas como o alongamento da ligação Si-O, indicando a presença de cristais de sílica (OLIVEIRA *et al.*, 2019).

Quanto às caracterizações dos caroços de açaí após a moagem, a imagem do MEV, Figura 31, apresenta uma estrutura irregular, superfície lisa com porosidade na parte interna. Além disso, apresenta alguns poços na forma de canais. O material possui uma camada externa fibrosa e um endosperma sólido, o qual é responsável por cobrir o embrião da semente (LIMA *et al.*, 2019).



Figura 31: Imagem de MEV do caroço de açaí, após a moagem

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

Conforme Figura 32, o espectro de FTIR apresenta picos de intensidade detectados e identificados em sua maioria a celulose e lignina do caroço. Característico de um material lignocelulósicos. A banda em 3305 cm^{-1} é atribuída ao estiramento de grupos O-H da celulose (VALENTIM *et al.*, 2018), enquanto 2920 cm^{-1} e 2855 cm^{-1} é identificado ao estiramento de grupos CH_2 devido às longas cadeias de biomassa (ALMEIDA *et al.*,

2021). A banda em 1603 cm^{-1} é atribuída ao estiramento dos grupos C=C e C=O de anéis aromáticos da lignina (VALENTIM *et al.*, 2018; ALMEIDA *et al.*, 2021).

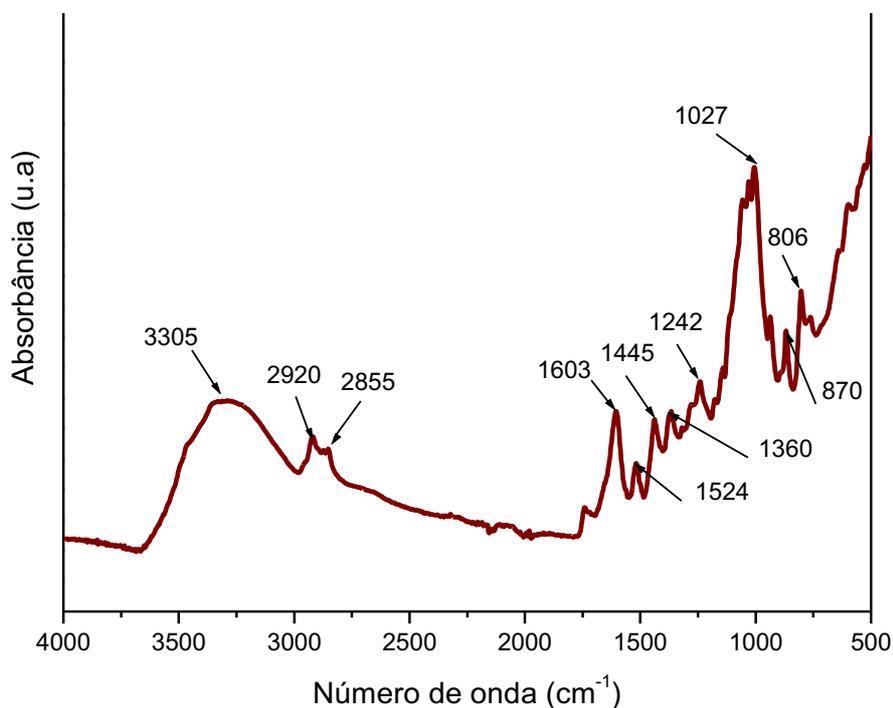


Figura 32: Espectro de FTIR do caroço de açaí

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

O pico de 1524 cm^{-1} é característico da viração das ligações C=C-C de anéis aromáticos, enquanto 1445 cm^{-1} a vibração em tesoura de grupos CH_2 atribuídos à lignina do material (OLIVEIRA *et al.*, 2016). As bandas 1360 cm^{-1} e 1242 cm^{-1} são designadas ao estiramento dos grupos C-H em estruturas aromáticas, enquanto 1027 cm^{-1} ao estiramento dos grupos C-N em estruturas aromáticas e 806 cm^{-1} ao estiramento dos grupos C-H em anéis aromáticos (ALMEIDA *et al.*, 2021). Por fim, a banda 870 cm^{-1} é atribuída à deformação do grupo C-H glicosídico da celulose (VALENTIM *et al.*, 2018).

A área superficial específica é uma das propriedades que exercem efeito significativo nas características adsorptivas (capacidade de acumular uma substância em sua superfície) ou dessorptivas (capacidade de retirar uma substância absorvida por outra), e, conseqüentemente, sobre seu potencial de aplicação industrial (ACEVEDO *et al.*, 2021). A Figura 33 mostra a isoterma, em escala logarítmica de adsorção (Ads) e dessorção (Des) do nitrogênio para a amostra do caroço de açaí.

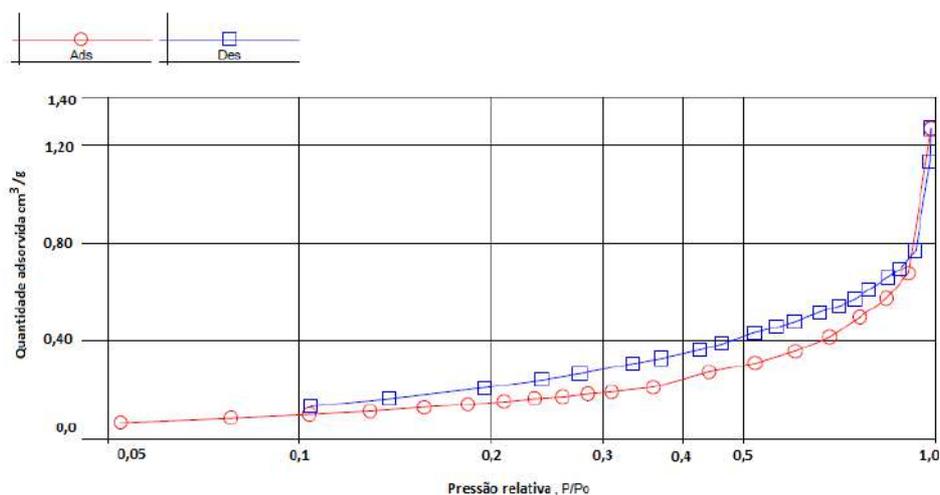


Figura 33: Isotermas de adsorção - dessorção de N_2 em temperatura e pressão padrão (CNTP) para o caroço de açaí

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

Nas isotermas a baixas pressões relativas, o volume adsorvido é baixo. O volume adsorvido aumenta à medida que a pressão relativa aumenta, e só aumenta significante quando a pressão relativa está próxima a 1, indicando enchimento dos poros de maior tamanho e da superfície externa do material (ACEVEDO *et al.*, 2021). A Figura 34 apresenta a reta obtida no ajuste dos dados experimentais ao modelo de BET.

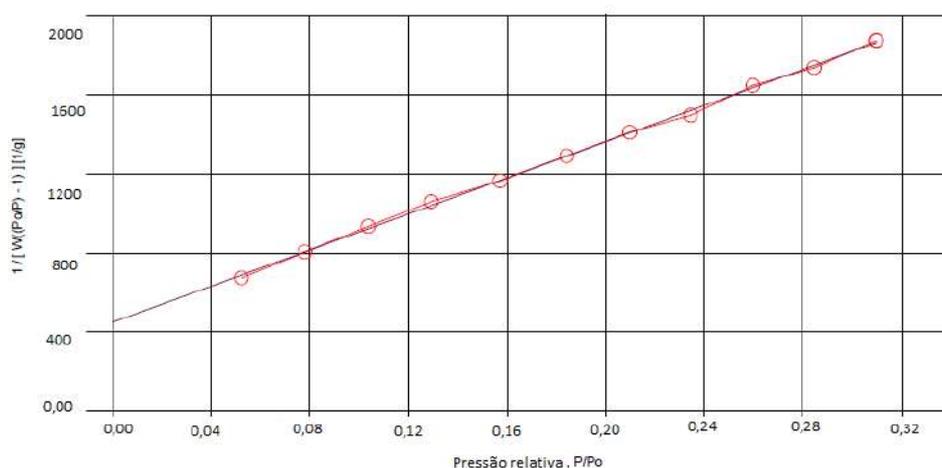


Figura 34: Equação BET linearizada

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

Os resultados obtidos com a aplicação dos métodos descritos foram: Área superficial (BET multiponto) = $0,693 \text{ m}^2/\text{g}$; Volume de poros (BJH): $0,002 \text{ cm}^3/\text{g}$; Diâmetro de poro

médio (BJH) = 3,244 Å. Ao analisar os dados obtidos, observa-se que o caroço de açaí possui baixa área superficial, volume de poros também baixo, com predominância de microporos, conforme sugerido pelas imagens de MEV.

Almeida *et al.* (2021) produziram *biochar* (biocarvão) com caroço de açaí. Após o processo de pirólise, um processo de termo degradação realizado em atmosfera isenta de oxigênio, e do processo químico de ativação com carbonato de potássio (K_2CO_3), o qual melhorou a estrutura do *biochar* e aumentou sua capacidade adsortiva. O material apresentou área superficial e diâmetro de poro em torno de $100 \text{ m}^2/\text{g}$ e 2,5 nm, respectivamente.

A Figura 35 mostra o difratograma obtido para o caroço de açaí. Os picos de difração característicos da celulose estão localizados em $2\theta = 14,2^\circ$, $15,9^\circ$ e $22,2^\circ$, que estão associados aos planos de difração (1 0 1), (1 0 -1) e (0 0 2), respectivamente, no qual o último é o mais intenso (LIMA *et al.*, 2019). Desses, somente o pico em $2\theta=15,9^\circ$ foi identificado no difratograma da Figura 35.

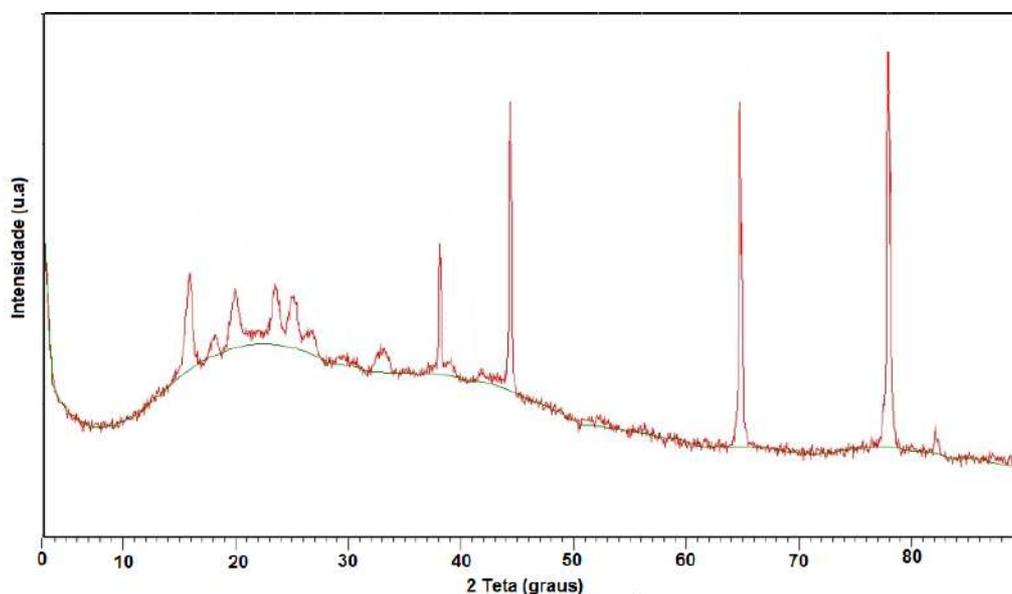


Figura 35: Perfil de difração de raios-X do caroço de açaí

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

Monteiro *et al.* (2019), relatam que, ao contrário do difratograma das fibras que revestem as sementes de açaí, no difratograma do caroço não aparece o principal pico

de difração correspondente ao plano cristalino da celulose. Segundo eles, o material consiste de parede celular não celulósica com armazenamento de polissacarídeos que são digeridos durante a germinação, geralmente mananas, galactomananas, glucomananas, xiloglucanos e galactanos. De acordo com Romani *et al.* (2021), os caroços de açaí apresentam picos centrados em 16°, 18°, 20°, 23° e 25°, quase todos detectados no difratograma da Figura 32.

Compósitos PLA/Fibra de açaí

Para a investigação no desenvolvimento dos compósitos PLA/Fibras de açaí, um dos objetivos foi de se obter um material uniforme e homogêneo. Tornou-se necessário diminuir o comprimento das fibras, para que elas pudessem se dispersar durante o processamento com PLA e para que o material não se agrupasse durante a extrusão.

As fibras de açaí possuem como características físicas a leveza, textura áspera e a facilidade em se aglomerar entre si. Esse conjunto de propriedades dificultou o processo de transformar a fibra em pó durante a moagem. Na mistura das fibras de açaí com o PEG as fibras se aglomeraram em uma estrutura rígida, o que permitiu a diminuição do tamanho das fibras. A Figura 36 ilustra os resultados das etapas desse processo.



Figura 36: Resultado da mistura de PEG com as fibras de açaí

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

Na literatura encontram-se exemplos de trabalhos em que o PEG foi utilizado para melhorar o processamento de compósitos com fibras vegetais. Chihaoui *et al.* (2022) demonstram o potencial do PEG para dispersar nanofibras lignocelulósicas em

compósitos com PLA. Long *et al.* (2019) apresentam um estudo em que a processabilidade de compósitos de PLA com fibra de bambu foi melhorada com a adição de PEG na mistura, sendo o plastificante responsável por aumentar a capacidade de fluidez do polímero. Como resultado, as fibras envolveram-se na matriz de PLA com mais intensidade.

Na Figura 37 são apresentados os compósitos PLA/Fibra de açaí após o processo de extrusão e peletização dos filamentos. Em um primeiro momento, é possível perceber a variação de cores, conforme foi sendo aumentada a quantidade de carga de fibras nos compósitos. É importante destacar que esses compósitos não saíram de forma uniforme na extrusora, o que resultou em filamentos com diâmetros irregulares e dificultou a granulação dos compósitos.

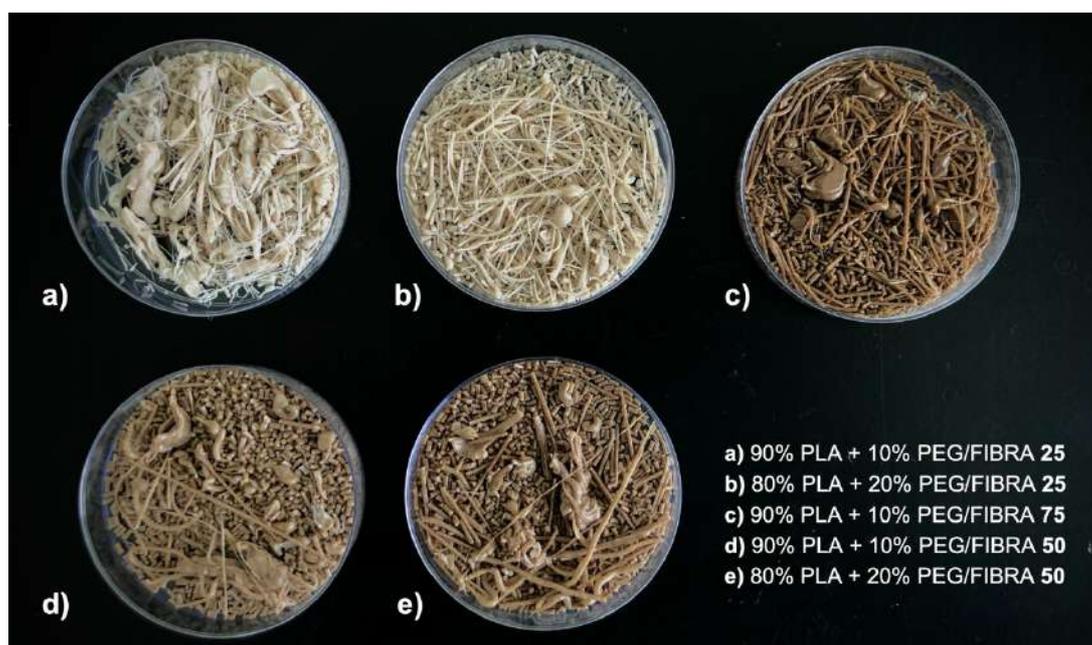


Figura 37: Resultado do processamento de PLA, PEG e as fibras de açaí na extrusora

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

Após a prensagem dos compósitos, foi possível verificar a variação de cores nas amostras de 90% PLA + 10% PEG/Fibra 25 e 80% PLA + 20% PEG/Fibra 25, conforme Figura 38. Com a prensagem foram obtidas amostras de cores uniformes, texturas irregulares e com a presença de fibras em sua superfície. Essa variação na textura e os detalhes das fibras de açaí na superfície dos compósitos só foi possível de ser vista após

a prensagem dos materiais e foi tornando-se mais evidente de acordo com o aumento da carga de fibras nas composições.

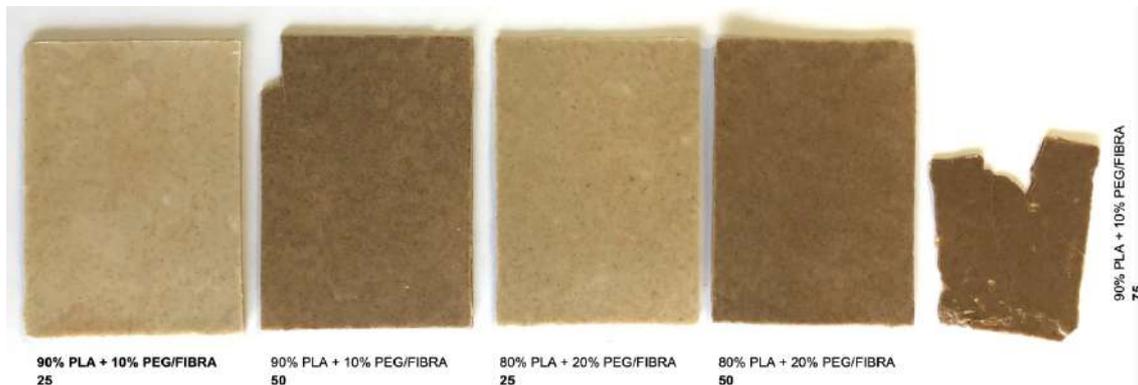


Figura 38: Resultado do processamento de PLA, PEG e as fibras de açaí na prensa

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

Na figura 39, é ilustrada uma falha no processamento das amostras de 90% PLA + 10% PEG/Fibra 75. Durante o processo de prensagem dos compósitos, além de permitir um acabamento brilhoso ao material, as folhas de kaptan permitiram que os pellets não ficassem aderidas na estrutura de metal dos moldes. Apesar da boa estrutura do compósito, as amostras com essa proporção não foram retiradas com facilidade do molde.



Figura 39: Amostra de 90% PLA + 10% PEG/FIBRA 75

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

Além da variação de cores, uma das características sensoriais mais interessantes dos compósitos após o processamento é a superfície em que é possível ver detalhes das

fibras de açaí, conforme Figura 40. Quando um compósito com materiais naturais apresenta tais características, é possível que a construção de conceitos e associações a outros materiais, o que incentiva e desperta a curiosidade em potenciais usuários de produtos (CAVALCANTI *et al.*, 2021).

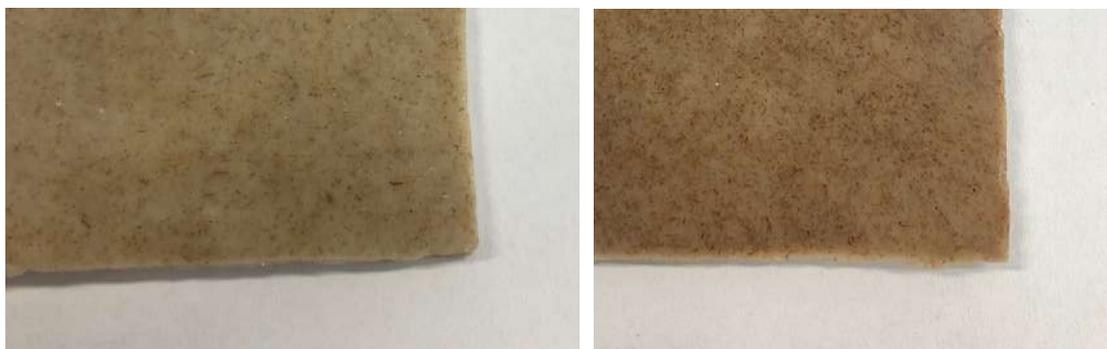


Figura 40: Fotos da superfície dos compósitos PLA/Fibra de açaí

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

Como forma de verificar a variação de cor de maneira técnica, foi feita a caracterização por meio da colorimetria. De acordo com a Tabela 03, o ΔE^* aumenta quando se adiciona mais fibra aos compósitos, isto é, à medida que se aumenta o percentual de material fibroso o valor de ΔE^* é crescente. Ou seja, quanto mais fibra, mais escuro o material tende a ficar (mais escuro, em relação ao PLA branco).

	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*
90% PLA + 10% PEG/FIBRA 25	-18,81	5,09	5,66	20,29 (mais escuro)
90% PLA + 10% PEG/FIBRA 50	-35,80	7,74	6,93	37,27 (mais escuro)
90% PLA + 10% PEG/FIBRA 75	-47,94	9,25	6,84	49,30 (mais escuro)
80% PLA + 20% PEG/FIBRA 25	-23,82	5,96	7,01	25,53 (mais escuro)
80% PLA + 20% PEG/FIBRA 50	-42,03	8,28	6,41	43,31 (mais escuro)

Tabela 03: Coordenadas CIELab e valores de ΔE^* dos compósitos PLA/Fibra de açaí

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

Apesar das variações de cores e textura, o resultado da avaliação sensorial da amostra de PLA/Fibra de açaí, Figura 41, de uma maneira geral, apresentou um material duro,

liso, leve e fibroso com textura irregular, uma vez que as fibras de açaí estavam dispersas de forma aleatória na superfície. Os materiais demonstraram ser neutros quanto à temperatura (quente ou frio).

avaliação sensorial - PLA/fibra de açaí	-2 -1 0 1 2					
	duro	x				
liso	x					áspero
fosco					x	brilhante
não refletivo				x		refletivo
frio			x			quente
não elástico	x					elástico
opaco	x					transparente
resistente	x					dúctil
forte		x				fraco
leve	x					pesado
textura regular					x	textura irregular
fibroso	x					não fibroso

Figura 41: Avaliação sensorial – PLA/Fibra de açaí

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

O aspecto brilhante e refletivo do material é atribuído à folha de Kapton usada no processo de prensagem dos compósitos em formato de pallets. Apenas a amostra de 90% PLA + 10% PEG/FIBRA **75**, amostra que foi prensada sem a folha de Kapton, apresentou uma superfície fosca e não refletiva.

Tradicionalmente, nas ciências e engenharias, os materiais são caracterizados apenas tecnicamente, por meio de técnicas que visam averiguar a estrutura e medir as propriedades dos materiais, além de questões sobre logística e infraestrutura para seu processamento (CAMERE; KARANA, 2018). Ao aliar as caracterizações técnicas da fibra de açaí, o entendimento sobre o seu processamento e qualidades sensoriais, a presente pesquisa direciona a possibilidade de traçar perfis de aplicações, comparação com materiais similares e futuras investigações para entender a percepção de potenciais usuários.

Apesar dos benefícios ambientais dos compósitos com fibras naturais, esses materiais podem não ser bem vistos em comparação a materiais estabelecidos comercialmente. Conotações negativas incluem “pobreza”, “baixa qualidade”, “pouco atraente” e “de segunda categoria” (ROGNOLI; KARANA; PEDGLEY, 2012).

Os resultados iniciais obtidos para os compósitos PLA/Fibra de açaí foram considerados satisfatórios quanto à investigação da viabilidade do processamento e obtenção de um novo material. Entretanto, o desejo por um material com textura uniforme, em que não houvesse diferença visual entre o que é matriz e o que é reforço, direcionou a pesquisa para a investigação no reaproveitamento dos caroços de açaí.

Compósitos PLA/Caroço de açaí

Um dos objetivos da investigação de compósitos PLA/Caroço de açaí, foi de se obter um material uniforme e homogêneo, que não foi obtido com os compósitos PLA/Fibra de açaí. Tornou-se necessária a trituração dos caroços e posterior peneiração, para a obtenção de um pó uniforme.

A Figura 42, ilustra esse processo, em que são apresentados os caroços antes dos processos de moagem e peneiramento, e após esses processos. Diferentemente das fibras, houve a facilidade para obtenção do pó do endocarpo. Durante esse processo, o material adquiriu um odor amadeirado e cor alaranjada em tom terroso (análise qualitativa).



Figura 42: Processo de moagem do caroço de açaí

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

Após essa etapa, iniciou-se a mistura dos caroços com PEG utilizando aquecimento com auxílio de manta térmica, Figura 43a, e posterior secagem em temperatura ambiente. Esse processo inicial teve como resultado um material com aspecto rígido, Figura 43b, o que permitiu que o material fosse triturado e peneirado novamente, para garantir um controle no processamento com PLA. Foram elaboradas composições de **25** (25% CAROÇO + 75% PEG); **75** (75% CAROÇO + 25% PEG) e **50** (50% CAROÇO + 50% PEG), conforme Figura 43c.

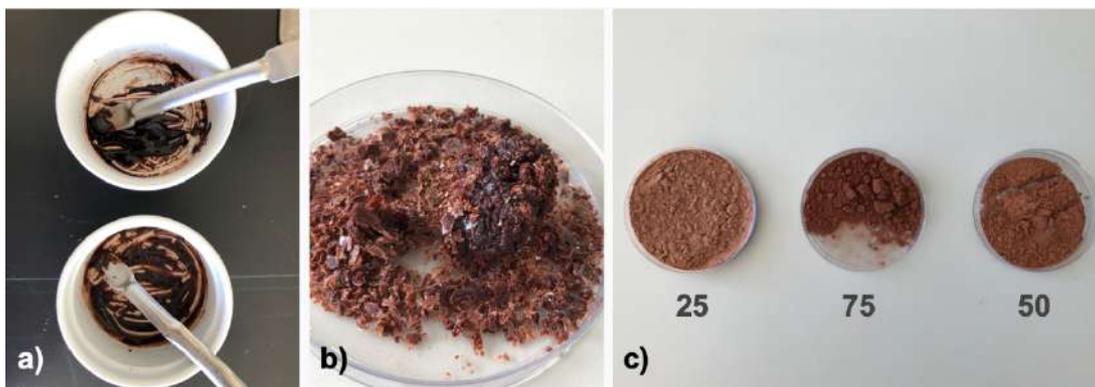


Figura 43: Resultado da mistura de PEG com os caroços de açai

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

A uniformidade dos caroços facilitou a obtenção de um material homogêneo, ao contrário das fibras. Uma característica interessante frente aos resultados da mistura de PEG com pó é a variação de cores, remetendo à cor do caroço após a trituração inicial em diferentes tonalidades. Além disso, a matéria-prima continuou com um odor amadeirado após o processamento com PEG, perdendo essa característica somente após a formação do compósito com PLA.

A Figura 44 apresenta os resultados do processamento do compósito na extrusora. Após a mistura e peletização, percebe-se que os materiais permaneceram com a variação de cores conforme foi adicionada uma carga maior de pó de caroço/PEG. A diferença de tons remete à variação apresentada na Figura 40c. Diferente dos compósitos PLA/Fibra de açai, o processamento na extrusora dos compósitos PLA/Caroço de açai deu origem a materiais mais uniformes, o que permitiu a obtenção de pellets homogêneos para a posterior etapa de prensagem.

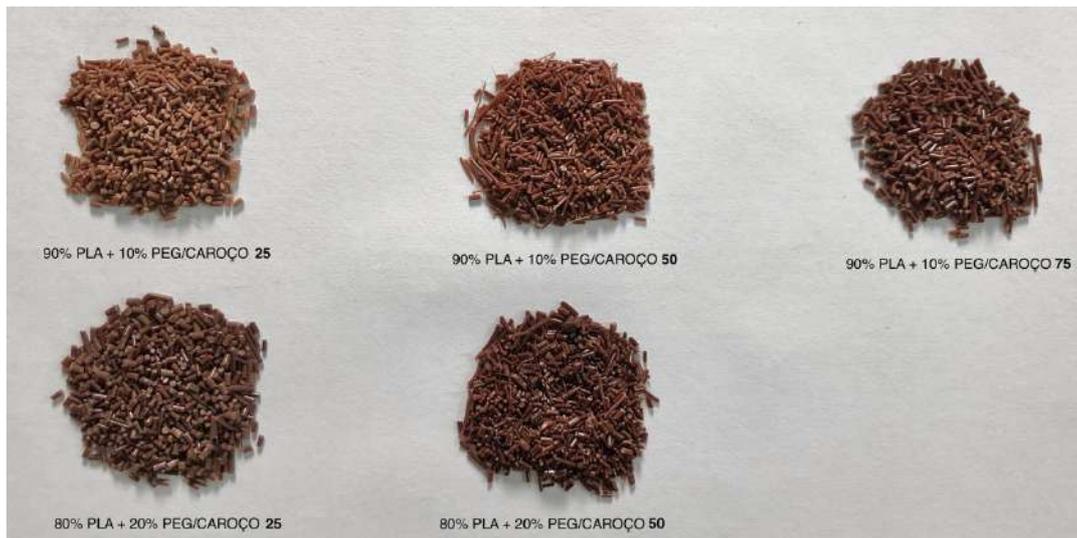


Figura 44: Resultado do processamento de PLA, PEG e as caroços de açai na extrusora

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

Os resultados do processamento final dos compósitos de PLA/Caroço de açai, Figura 45, apresentam materiais sólidos sem textura aparente. Após o processo de prensagem, a variação de cores ainda continuou presente. Entretanto, o processo de resfriamento do material comprometeu a estrutura de algumas amostras.

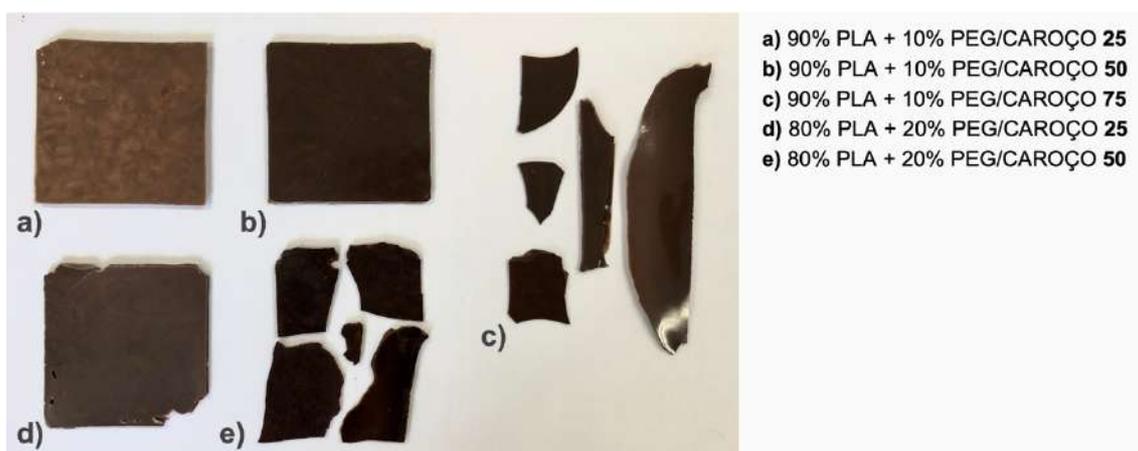


Figura 45: Resultado do processamento de PLA, PEG e os caroços de açai na prensa

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

Na literatura encontram-se exemplos de pesquisas em que o acréscimo de cargas em compósitos de PLA promoveu uma variação na cor do polímero. O uso de óleos essenciais de Tomilho e Curry como plastificantes auxiliam na alteração da variação de

cores dos compósitos, além de atribuir características como a transparência em filmes, opacidade em filamentos e alteração nas características físicas (ZABIDI *et al.*, 2022).

Outro exemplo é o da inserção de proteína de soja como agente modificador da cor no PLA, deixando-o com um aspecto amarelado. Essa característica é atribuída à cor em tom de bege da proteína de soja, sendo a alteração na cor intensificada com a adição de plastificante (MORAIS *et al.*, 2022). No caso dos compósitos PLA/caroço de açaí, de acordo com a Tabela 04, o ΔE^* aumenta quando se adiciona mais pó de caroço à matriz, o que torna o material mais escuro em relação ao PLA branco.

	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*
90% PLA + 10% PEG/CAROÇO 25	-55,89	11,31	2,42	57,08 (mais escuro)
90% PLA + 10% PEG/CAROÇO 50	-61,47	8	2,64	62,19 (mais escuro)
90% PLA + 10% PEG/CAROÇO 75	-68,26	9,07	2,91	68,79 (mais escuro)
80% PLA + 20% PEG/CAROÇO 25	-63,58	7,93	3,45	64,17 (mais escuro)
80% PLA + 20% PEG/CAROÇO 50	-71,97	8,15	3,66	72,52 (mais escuro)

Tabela 04: Coordenadas CIELab e valores de ΔE^* dos compósitos PLA/Caroço de açaí

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

Foram realizados experimentos de análise termogravimétrica com o objetivo de investigar alterações na estabilidade térmica dos compósitos em relação ao PLA puro. O conhecimento sobre a estabilidade térmica é essencial para controlar a temperatura de processamento de materiais, evitando a degradação térmica.

A presença da mistura PEG/Caroço não teve influência significativa na temperatura de degradação da matriz de PLA. A decomposição de PLA puro começou por volta de 300 °C e ficou de acordo com o valor reportado na literatura (XU *et al.*, 2018). A adição resultou em uma pequena redução da estabilidade térmica. As curvas de TG dos compósitos PLA/Caroço de açaí na relação 80% PLA + 20% PEG/CAROÇO **25** e 80% PLA + 20% PEG/CAROÇO **50** estão apresentadas na Figura 46.

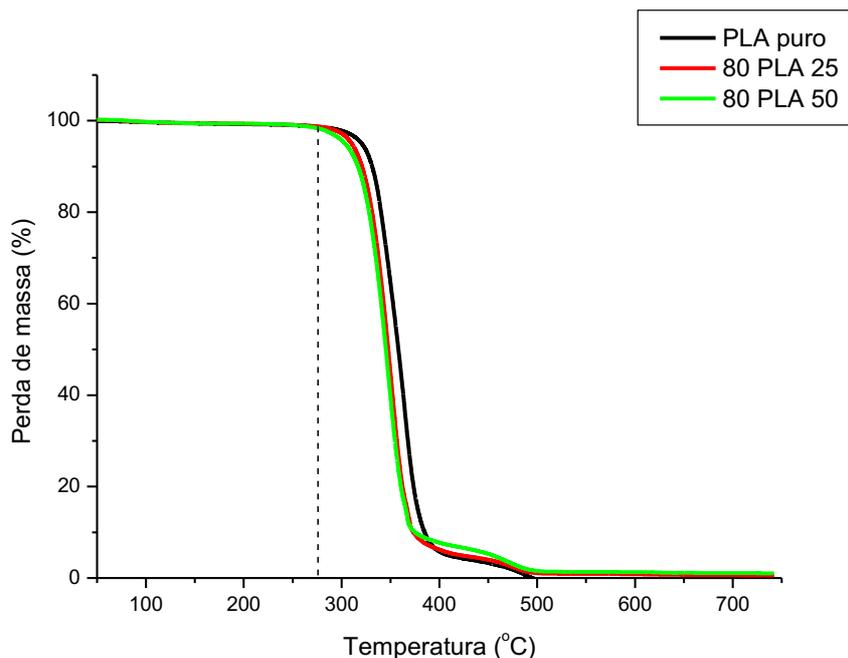


Figura 46: Curvas de TG do PLA puro e compósitos 80% PLA + 20% PEG/CAROÇO 25 e 80% PLA + 20% PEG/CAROÇO 50

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

Com uma observação atenta, verifica-se que a amostra com a composição 80% PLA + 20% PEG/CAROÇO 50 possui uma estabilidade térmica ligeiramente mais alta. Portanto, é razoável pensar que o aumento do teor de caroço de açaí diminui a estabilidade térmica do compósito.

Para melhorar o desempenho de compósitos de palha de trigo/PLA, quatro diferentes silanos foram usados como agentes de acoplamento para construir interfaces compatíveis (CHEN *et al.*, 2021). De acordo com os autores, as curvas de TG mostraram que, comparado com o compósito não modificado, a temperatura inicial de decomposição térmica dos compósitos modificados aumentou um pouco, o que indicou que a estabilidade térmica tem uma relação direta com a adesão entre as fases do compósito.

As curvas de TG dos compósitos 90% PLA + 10% PEG/CAROÇO 25, 50 e 75 estão apresentadas na Figura 47. Essas curvas confirmam os resultados dos compósitos 80% PLA apresentados na Figura 46.

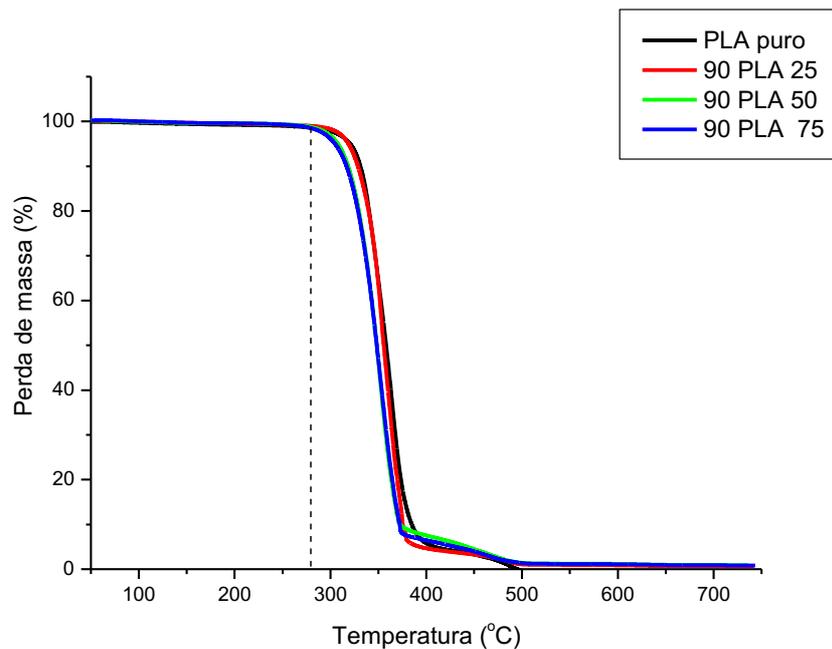


Figura 47: Curvas de TG do PLA puro e compósitos 90% PLA + 10% PEG/CAROÇO 25, 90% PLA + 10% PEG/CAROÇO 50 e 90% PLA + 10% PEG/CAROÇO 75

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

Conforme o teor de caroço aumenta, a estabilidade térmica do compósito diminui. Pode ser percebido que as curvas do PLA puro e 90% PLA + 10% PEG/CAROÇO **25** se sobrepõem. Isso indica que o baixo teor de caroço nesse compósito não foi suficiente para reduzir a estabilidade térmica do PLA.

Zouari *et al.* (2022) adicionaram biocarvão produzido com madeira de faia (*Fagus sylvatica* L.) aos compósitos de PLA/fibra de cânhamo. Segundo os autores, a adição de 5% em massa de BC aumentou o módulo de elasticidade e resistência à tração dos compósitos. Entretanto, após a adição do biocarvão, a estabilidade térmica diminuiu ligeiramente em comparação a do PLA puro, devido ao efeito catalítico do potássio presente no biocarvão. Os resultados das pesquisas sugerem que a estratégia mais adequada para que a presença de material lignocelulósicos não acelere a degradação da matriz de PLA é o aumento da adesão fibra-matriz, seja pelo uso de um agente de acoplamento ou pelo tratamento superficial do material.

Diferentes tratamentos superficiais já foram relatados para melhorar a adesão interfacial entre fibras naturais e matrizes poliméricas. Por exemplo, Bayart *et al.* (2020)

modificaram, por um processo de imersão, a superfície de fibras de linho usando lignina Kaft ou tanino condensado para melhorar a adesão em compósitos PLA/fibras de linho. Os experimentos de TG realizados com as fibras modificadas mostraram que o revestimento de Kaft pareceu não ter efeito sobre a temperatura de degradação das fibras, enquanto o revestimento com tanino condensado levou a uma diminuição na temperatura de degradação.

Para uma melhor compreensão dos espectros de FTIR, são apresentadas duas faixas de análise, a primeira entre 3050 cm^{-1} - 2800 cm^{-1} , Figura 48, e a segunda entre 1900 cm^{-1} - 900 cm^{-1} , Figura 49. As cores nos gráficos diferenciam a proporção dos compósitos. Como pode ser observado, não existe diferença significativa entre as diferentes composições. No espectro a única diferença significativa ocorre na Banda-1 entre 3050 cm^{-1} - 2800 cm^{-1} .

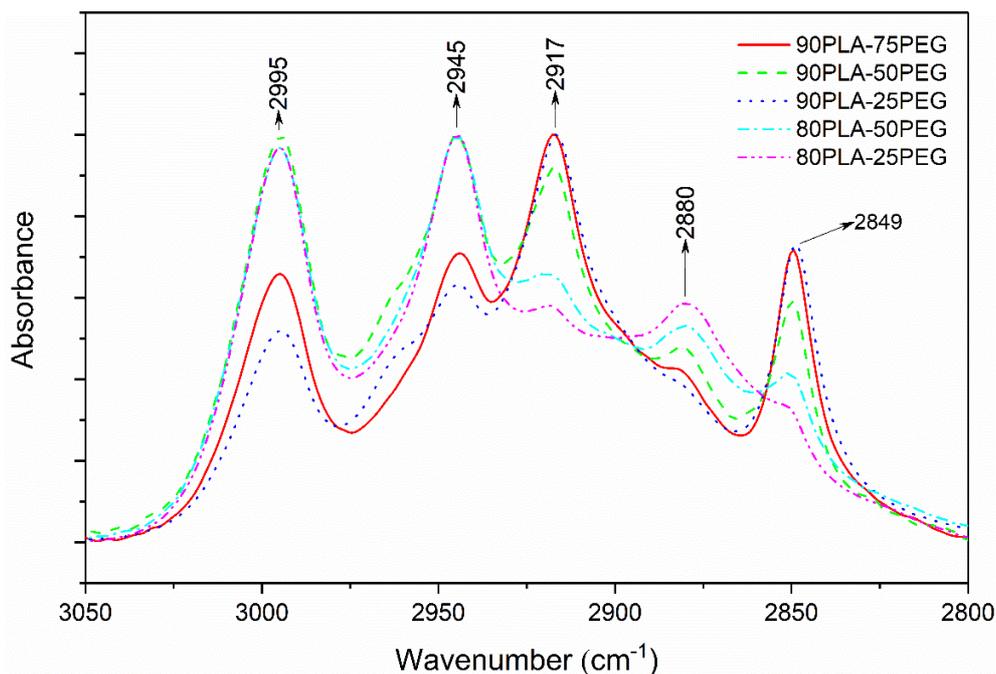


Figura 48: Espectro de FTIR dos compósitos de PLA/Caroço de açaí

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

Os comprimentos de onda correspondentes ao compósito PLA/PEG/materiais lignocelulósicos estão a banda de 2880 cm^{-1} atribuída ao típico estiramento assimétrico C-H que ocorre na matriz composta, 1456 cm^{-1} a deformação de flexão em compostos CH_2 e CH_3 . Ao pico 1383 cm^{-1} e 1360 cm^{-1} do grupo OH-, 756 cm^{-1} banda de flexão O-H

de álcool e fenol, além do alongamento de ligações éster O-C=O em 1082 cm^{-1} (EJAZ *et al.*, 2020; SARITHA *et al.*, 2021).

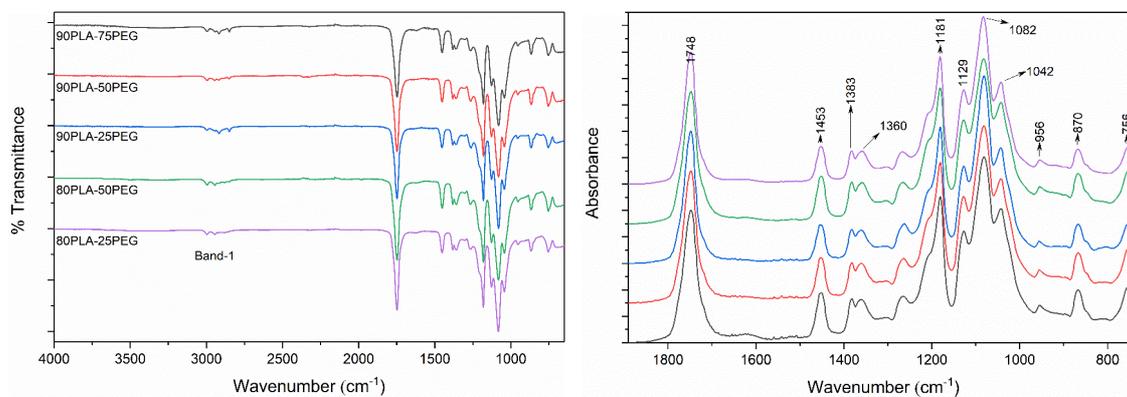


Figura 49: Espectro de FTIR dos compósitos de PLA/Caroço de açaí

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

No que diz respeito aos picos atribuídos aos resíduos de açaí, encontra-se alongamento do grupo carbonila em 1748 cm^{-1} , a deformação C-H guaiacil com deformação C-O no álcool primário em 1042 cm^{-1} . 1181 cm^{-1} e 1453 cm^{-1} correspondem, respectivamente, à deformação C-H da unidade e deformação C-H (metil e metileno) da lignina (TAVARES *et al.*, 2020).

As bandas de PLA são: o pico 2995 cm^{-1} correspondente ao alongamento C-H da vibração CH_3 e O-H do grupo ácido carboxílico em 870 cm^{-1} , equivalente ao alongamento da ligação simples no carbono (MORAIS *et al.*, 2022). A banda de 1129 cm^{-1} é compatível à vibração de estiramento etéreo C-O-C do PEG (SARITHA *et al.*, 2021).

Durante a etapa de avaliação sensorial das amostras de PLA/Caroço de açaí, Figura 50, o material desenvolvido corresponde a uma matéria-prima lisa, opaca, leve, não elástica e fosca. Apresentou neutralidade quanto a temperatura (quente ou frio). Diferente da amostra de PLA/Fibra de açaí, o material apresenta uma textura regular e é considerado um material não fibroso, já que o pó de caroço não é visível no plano superior do material. Outra característica diferente está no fato do material não possuir uma superfície reflexiva, mesmo sendo prensado com auxílio de filme Kapton.

	-2	-1	0	1	2
duro	x				suave
liso	x				áspero
fosco		x			brilhante
não refletivo	x				refletivo
frio			x		quente
não elástico	x				elástico
opaco	x				transparente
resistente	x				dúctil
forte				x	fraco
leve	x				pesado
textura regular		x			textura irregular
fibroso					x não fibroso

Figura 50: Avaliação sensorial – PLA/Caroço de açaí

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

Após a compreensão técnica e sensorial das amostras desenvolvidas, foi realizado um *benchmarking* de materiais, para posicioná-lo dentro de um grupo de similares, abrangendo possíveis áreas de aplicação (KARANA *et al.*, 2015). Para essa análise, foram consideradas as amostras de PLA/Fibra de açaí e PLA/Caroço de açaí. Os similares selecionados foram: *Cocoboard*, *Entwined* e Madeira plástica, conforme Figura 51.

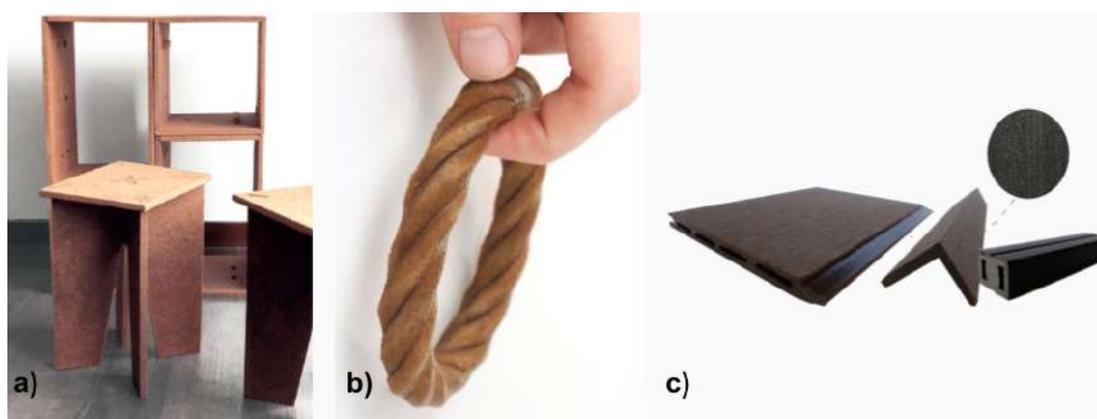


Figura 51: Similares selecionados para *benchmarking* (a - *Cocoboard*; b - *Entwined*; c – Madeira Plástica)

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022 Disponível em: a - <<https://bit.ly/3b7ycsh>>; b - <<https://bit.ly/3S9MUzm>>; c - <<https://bit.ly/3ODCPHZ>>

Os dados da Tabela 05 apresentam as informações para a análise de *benchmarking*. Dentre os critérios adotados, durante a seleção para avaliação optou-se pela escolha de similares que tivessem uma certa familiaridade com os objetivos da dissertação. Assim, nota-se diferentes aplicações em produtos de materiais que surgem da necessidade de dar uma nova aplicação a resíduos lignocelulósicos. Do ponto de vista comercial, encontrou-se como oportunidade a aceitação aos objetos com materiais alternativos, ou a venda da matéria-prima para aplicação em diferentes setores.

Produto	<i>Cocoboard</i> (compósito tanino + fibra de coco)	<i>Entwined</i> (compósito PLA + cânhamo)	Madeira plástica
Fabricante	Naturloop	3Dom + c2Renew	MadePlast
Qualidades sensoriais	textura lisa e dura, sem odor, temperatura fria, opaco, resistente com brilho variável	cor terrosa com leve luminescência, textura irregular devido ao “ <i>biopreenchimento</i> ” (termo usado pela empresa para a capacidade de ver o cânhamo no PLA)	cor com tons e textura próximas a da madeira, leveza, duro, rígido, não reflexivo e não elástico
Aplicações	móveis domésticos e para escritórios, material alternativo na construção de habitações	diversas, através da formação de filamentos para impressão de objetos em impressora 3D	decks, passarelas, vasos, objetos para casa (pratos, copos e talheres), escadas, bancos e assentos
Atividades	painéis com propriedades mecânicas superiores ao MDF	objetos para impressão 3D	painéis para construção civil e bens de consumo
Conceito material e Propósito da aplicação	abordagem da economia circular para criação de materiais, através da otimização do processo produtivo e de resíduos da cadeia produtiva do coco	o cânhamo facilita o uso e aumenta o desempenho do PLA durante a impressão 3D, além de permitir que o material manifeste diferentes tons (cor) ao ser impresso	material processado com resíduos poliméricos de diversas origens, aditivos industriais e fibras naturais da madeira, surge como alternativa para construções e consumo sustentável

Tabela 05: Benchmarking para análise dos materiais desenvolvidos (PLA e resíduos de açaí)

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

Através da esquematização e de uma análise qualitativa/sensorial, percebe-se que as principais semelhanças entre os materiais elaborados na dissertação com os similares são: a cor dos compósitos, com tons próximos ao do material de reforço, como no caso das amostras PLA/Caroço de açaí, a de Madeira Plástica e do *Cocoboard*. A textura irregular, fibrosa e a capacidade de visualizar na superfície os materiais de reforço, ao comparar os compósitos de PLA/Fibra de açaí e o *Entwined*.

As principais diferenças são: o acabamento que as matérias-primas analisadas possuem frente às amostras desenvolvidas em laboratório, o que garante uma possível atuação no mercado. Compreender a cor, a textura e outras características sensoriais são relevantes para avaliar materiais/produtos frente a concorrentes. Entretanto, são informações que por si só não garantem uma comparação a nível de aplicabilidade. Para avaliar a leveza, dureza e o caráter elástico/não elástico são necessários ensaios mecânicos para essa comparação.

O caráter experimental da investigação para desenvolvimento de compósitos com resíduos de açaí indica que são necessárias outras análises e processamentos, com o propósito de validar a gama de funcionalidades dos materiais obtidos. Todavia, através da análise proposta, e com os resultados de caracterização técnica obtidos, percebe-se o potencial para futuras investigações que englobam a interação entre as áreas de design e materiais.

Entretanto, a variedade nas possibilidades de processamento investigadas, como prensagem e extrusão, permite que os compósitos possam ser processados em uma ampla gama de aplicações (como filamento para impressão 3D, *vacuum forming*, termoformação, prensagem ou rotomoldagem). Considera-se que não sejam ultrapassadas temperaturas superiores à 180 °C, para não comprometer a estabilidade térmica da matéria-prima e degradar o material.

Os filamentos do compósito *Entwined* direcionam a necessidade de investigar formas para a produção de filamentos com PLA/Resíduos de açaí, com a possibilidade de aparecer ou não os resíduos, ao considerar que essa é uma característica que não agrada a todos os consumidores. A aceitação comercial e aplicações como as encontradas pelo

Cocoboard e Madeira Plástica indicam potenciais investigações para a produção de móveis para artefatos para escritório com os compósitos de PLA/Caroço e Fibras. No caso da Madeira Plástica, o caráter biodegradável do PEG, do PLA e dos resíduos de açaí indica uma vantagem frente à concorrente na produção de vasos ou produtos para casa de curta duração, como pratos, copos e talheres.

Do ponto de vista conceitual / comercial, uma possível aplicação para os materiais desenvolvidos na presente dissertação pode usar como proposta de valor a comercialização de produtos com resíduos. Aliar perspectivas direcionadas ao consumo consciente como uma solução para diferentes problemas (alternativa produtiva ao descarte irregular de resíduos na Amazônia e criação de produtos com materiais biodegradáveis, em ciclos biológicos – economia circular).

5. FOLHA DE CELULOSE A PARTIR DE FIBRAS DE AÇAÍ

5.1 MATERIAIS E MÉTODOS

O processamento das fibras de açaí para produção de folha de celulose iniciou com o branqueamento do material (retirada da lignina). Para esse processo, foi utilizado o clorito de sódio, fornecido pela Petra Química Indústria e Comércio de Produtos Químicos (Apucarana – PR), hidróxido de sódio e ácido acético glacial fornecidos pela Dinâmica Química Contemporânea (Indaiatuba – SP).

Foram preparadas duas soluções: **(I)** solução de clorito de sódio, em que foram pesados 17 g de clorito de sódio e o volume completado para 1000 mL com água deionizada; **(II)** solução de tampão de acetato, na qual foram dissolvidos 27 g de hidróxido de sódio em 700 mL de água deionizada e adicionados 75 mL de ácido acético glacial. Em seguida, completou-se o volume para 1000 mL com água deionizada. O branqueamento foi realizado em balão de 3 vias com as duas soluções na proporção de 1:1, por 1 hora na temperatura de refluxo.

Para a produção da folha de celulose, foi preparada uma solução de 1:10, razão entre a massa de fibra branqueada/volume de solução. Foram avaliadas duas maneiras para produção da folha de celulose: **(I)** sistema de filtração a vácuo com membrana Milipore de 0,22 μm e secagem em temperatura ambiente; **(II)** tela de nylon retangular e secagem em temperatura ambiente.

Para observar mudanças na morfologia da superfície das amostras, foram realizadas imagens de MEV da fibra *in natura* e branqueada, além de imagens das folhas de celulose produzidas. Outra caracterização foi o FTIR da folha de celulose, com o propósito de investigar a presença de bandas de absorção comumente encontradas em materiais alternativos utilizados na produção de papel.

As imagens de MEV foram realizadas com o auxílio de um equipamento de bancada modelo Hitachi 4000 Plus com feixe de elétrons operando a 15 kV. As amostras foram fixadas em porta amostra com auxílio de uma fita condutora de carbono e captadas usando o detector de elétrons retroespalhados (BSE). O FTIR foi realizado no espectrômetro Perkin Elmer Frontier FT-IR no modo de reflexão total atenuada (ATR), e

os espectros foram registrados em números de onda de 500 a 4000 cm^{-1} com resolução de 4 cm^{-1} .

Para avaliar potenciais percepções foi utilizado o método comparativo de materiais proposto por Camere e Karana (2018). Além da ferramenta *benchmarking* proposta por Karana *et al.* (2015) para prospectar potenciais aplicações para os materiais.

5.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO (COMPREENDENDO O MATERIAL)

Após o branqueamento, as fibras *in natura*, de tonalidade marrom, passam por uma alteração significativa na sua aparência visual, Figura 52. Além da mudança para uma coloração clara, o tratamento químico favorece a formação de fibras mais finas e leves.



Figura 52: Amostras da fibra de açaí *in natura* e amostras da fibra branqueada

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

As imagens de MEV, Figura 53, mostram que a fibra *in natura* não possui superfície lisa e homogênea. Pontos brilhantes são encontrados e sugerem a presença do elemento silício, com número atômico superior ao carbono e hidrogênio, o que justifica a reflexão na imagem. Esta sugestão está de acordo com os resultados do FTIR, que apresentou pequenas bandas em comprimentos de onda correspondentes às ligações Si-O encontradas na sílica. Quando a fibra vegetal passa pelo tratamento químico de remoção da lignina há um aumento da sua rugosidade (VINOD *et al.*, 2020). Estudos revelam que essas estruturas obstruídas são canais de vala. Após o processo relatado,

os canais são desobstruídos. Essa estrutura, porosa e com grandes cavidades, apresenta potencial de adsorção e filtração (OLIVEIRA *et al.*, 2019; PESSOA *et al.*, 2010).

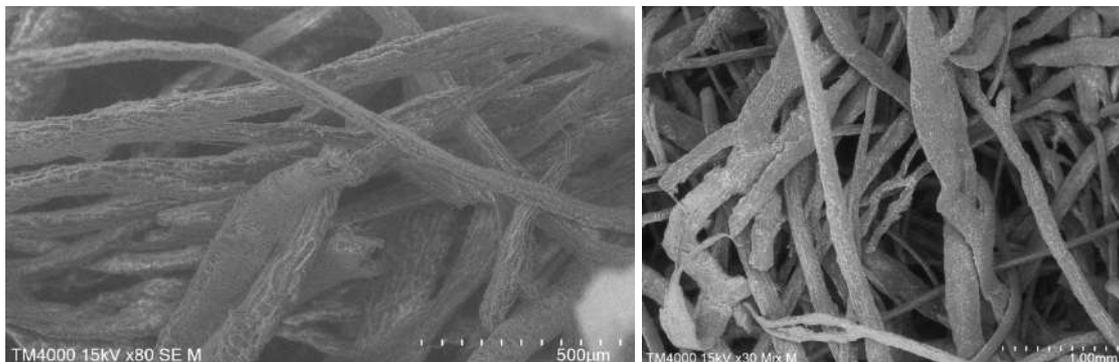


Figura 53: Imagens de MEV da fibra *in natura*

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

As imagens de MEV da fibra branqueada, Figura 54, ilustram que o tratamento químico foi responsável por alterar a estrutura superficial do material. Como consequência, houve a desfibrilação da fibra e a individualização dos seus feixes. Após o branqueamento, a superfície tornou-se rugosa e alguns canais foram desobstruídos, apesar de ainda ser encontrada a sílica, como indicado pela presença dos pontos brancos. Além disso, as imagens comprovam a diminuição do diâmetro do material.

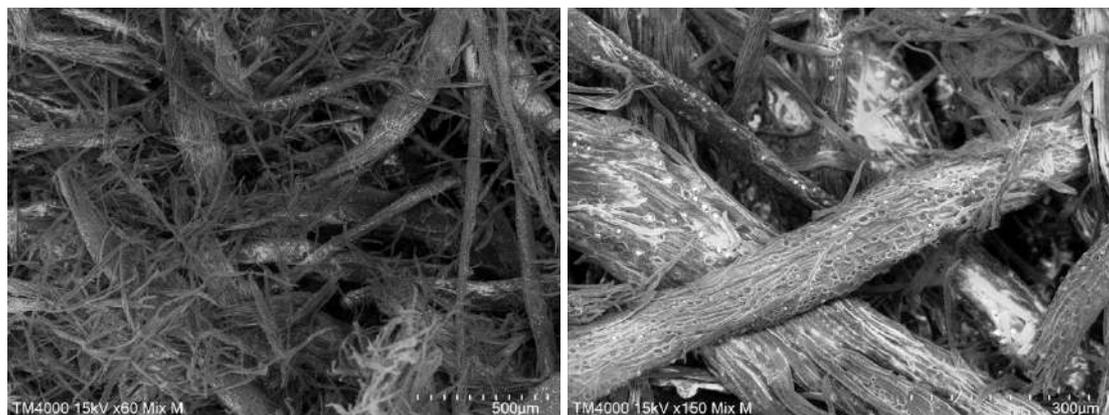


Figura 54: Imagens de MEV da fibra após o branqueamento

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

De acordo com a literatura, as fibras vegetais mais curtas são adequadas para a formação de folhas de celulose com propriedades físicas satisfatórias (EL-SAYED; EL-SAKHAWY; EL-SAKHAWY, 2020). Com a ação química, a parede celular da fibra é

danificada e este fenômeno é muito importante, pois aumenta a área específica e a capacidade das fibras de se unirem umas às outras, de modo que as polpas para produção de papel tendem a ser menos floculadas. A conformabilidade da fibra também tem sua performance potencializada, o que significa que a quantidade de contato entre as fibras aumenta na folha de celulose (PASSAS, 2012).

A amostra formada por meio da filtração a vácuo, Figura 55a, apresenta maleabilidade e uma resistência (análise qualitativa). Após o processo de secagem, uma das superfícies do material apresentou a topografia da superfície do filtro. Indica-se que as amostras sejam retiradas após a secagem total do material, pois em contato com a umidade ele apresenta uma estrutura frágil propícia ao rasgo, conforme Figura 55b.



Figura 55: **a)** Amostra da folha de celulose filtrada a vácuo; **b)** Amostras deformadas durante a retirada do filtro

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

Durante o processo de secagem, as amostras formadas através de telas de nylon, Figura 56a, apresentaram um material com superfície uniforme, lisa e sensível ao toque. Obteve-se um material consistente, porém, rígido, quebradiço e menos maleável, Figura 56b, quando comparado com as amostras do primeiro processamento, o que não permite a dobra sem danificar a estrutura.

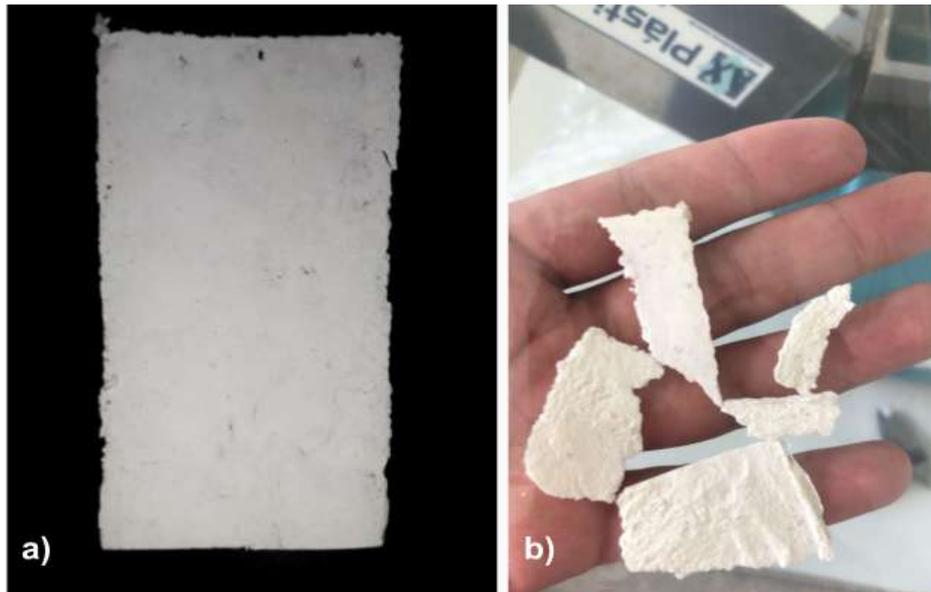


Figura 56: Amostras da folha de celulose formadas através de telas de nylon

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

A diferença nas características entre os materiais desenvolvidos por dois processos diferentes pode ser compreendida por meio da comparação de imagens de MEV das duas amostras. O material obtido por filtração a vácuo, Figura 57, apresenta baixa presença de espaços vazios na sua superfície, além da proximidade entre as fibras de açáí por meio de um entrelaçamento.

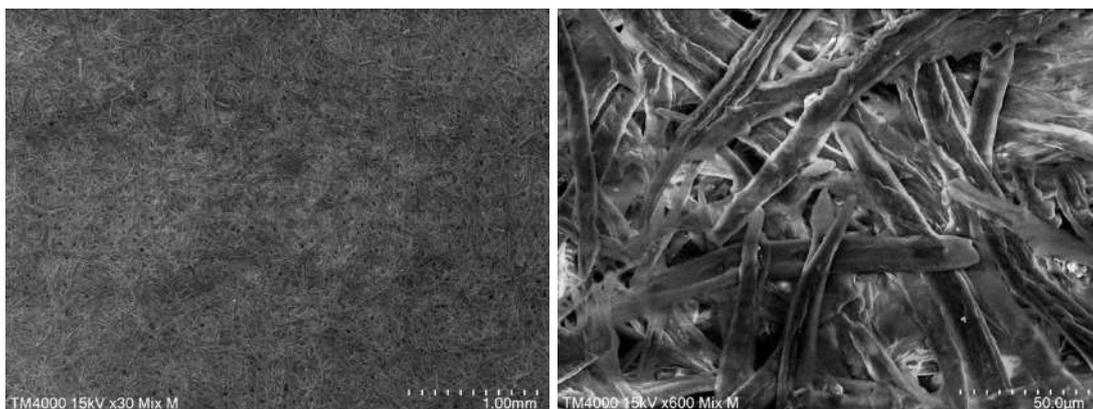


Figura 57: Imagens de MEV da folha de celulose formada através da filtração a vácuo

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

Apesar da dispersão e formação superficial semelhante, as imagens de MEV da folha de celulose formada utilizando a tela de nylon, Figura 58, indicam que as fibras apresentam entrelaçamento com uma quantidade maior de superfícies vazias. Entende-se que

durante o processo artesanal, existe uma certa dificuldade em se manter um controle sobre as condições que o material é formado e de acordo com os resultados obtidos, encontra-se a necessidade de aperfeiçoar o processo de formação da folha com a tela de nylon. Nesses casos, é indicada a adição de aditivos, como CMC (carboxi metil celulose) ou cola PVA (poli (acetato de vinila)), para proporcionar resistência, ocupar as superfícies vazias e estruturar o material.

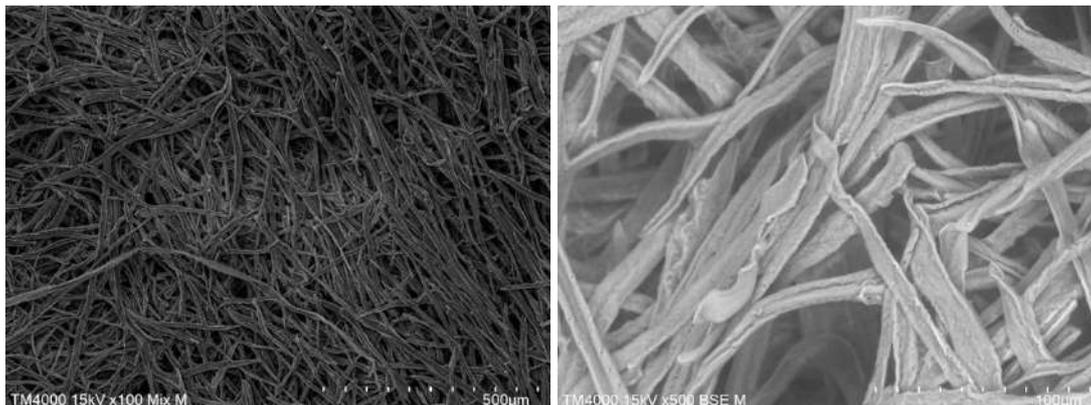


Figura 58: Imagens de MEV da folha de celulose formada com uso da tela de nylon

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

Conforme a Figura 59, o espectro de FTIR da polpa de celulose com fibra branqueada apresenta as principais bandas atribuídas aos materiais lignocelulósicos após branqueamento. Assim, os principais grupos funcionais detectados são aqueles derivados da celulose.

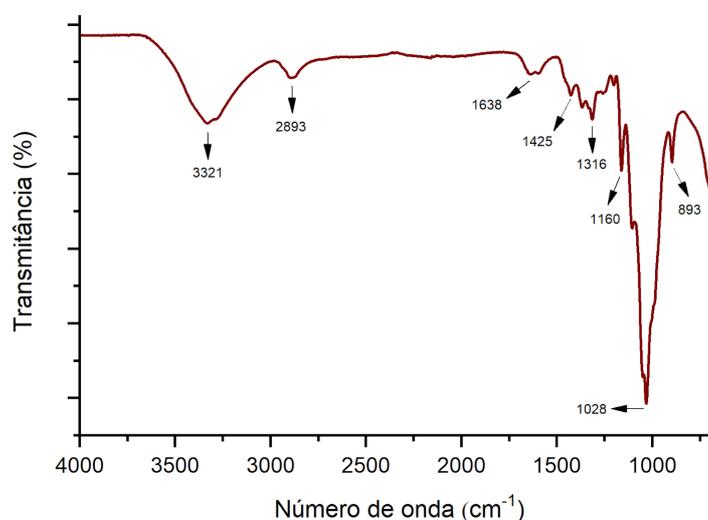


Figura 59: Espectro de FTIR da polpa de celulose com fibras de açaí branqueada

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

A banda de 1732 cm^{-1} atribuída a hemicelulose na fibra de açai *in natura* sumiu após o tratamento alcalino. Houve também o desaparecimento das bandas de 1220 cm^{-1} e 1514 cm^{-1} associadas, respectivamente, ao anel aromático e ao pico de lignina (OLIVEIRA *et al.*, 2019). No espectro da fibra branqueada encontram-se bandas atribuídas a hidroxila de celulose (OH) nas regiões do espectro de 3321 cm^{-1} e a ligação C-H em 2893 cm^{-1} (KABIR *et al.*, 2013).

1638 cm^{-1} indica região de vibrações axiais do plano das ligações C=C, do anel aromático correspondente a lignina, o que indica lignina residual do processo de branqueamento (ROSA *et al.*, 2010). Tal informação pode ser associada a presença de pontos de sílicas, correspondentes a lignina, na imagem de MEV das fibras branqueadas. A região 1425 cm^{-1} indica vibração de deformação C-H₂ e 1316 cm^{-1} a vibração de valência assimétrica C-O-C. A banda de 1160 cm^{-1} e 1028 cm^{-1} está associada ao alongamento dos grupos C-O-C, enquanto a de 893 cm^{-1} à flexão C-H típicas da celulose (ARIDI *et al.*, 2020).

Ao considerar as diferentes características dos materiais, a avaliação sensorial das amostras de folhas de celulose foi registrada em duas etapas. A Figura 60 corresponde aos resultados da folha obtida por filtração a vácuo e a Figura 61 em tela de nylon.

avaliação sensorial - folha de celulose (filtro a vácuo)						
	-2	-1	0	1	2	
duro					x	suave
liso	x					áspero
fosco	x					brilhante
não refletivo	x					refletivo
frio			x			quente
não elástico					x	elástico
opaco	x					transparente
resistente					x	dúctil
forte		x				fraco
leve	x					pesado
textura regular	x					textura irregular
fibroso					x	não fibroso

Figura 60: Avaliação sensorial – Folha de celulose (filtro a vácuo)

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

Durante a etapa de avaliação sensorial das amostras, percebe-se que de uma maneira geral ambas as amostras apresentam aspecto liso, fosco, não refletivo, opaco, leve com textura superficial regular e não fibrosa. Ambos neutros com relação a temperatura (quente ou frio). Entretanto, as principais diferenças estão na relação entre a dureza da amostra feita em tela de nylon e a flexibilidade da amostra que usou a filtração a vácuo.

	-2	-1	0	1	2
duro	x				suave
liso	x				áspero
fosco	x				brilhante
não refletivo	x				refletivo
frio			x		quente
não elástico	x				elástico
opaco	x				transparente
resistente	x				dúctil
forte				x	fraco
leve	x				pesado
textura regular	x				textura irregular
fibroso				x	não fibroso

Figura 61: Avaliação sensorial – Folha de celulose (tela de nylon)

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

Essas são características encontradas em outras folhas de celulose produzidas com fibras naturais. Coraiola e Mariotto (2009) destacam que as amostras produzidas com fibras de bananeira em telas de nylon apresentam uma boa textura superficial, porém quebradiças e inflexíveis. Gottardi *et al.* (2021) apresentam um estudo em que os materiais produzidos com fibra de pupunheira apresentam uma boa flexibilidade devido a proximidade entre os elementos celulares e baixa presença de espaços vazios na formação da matéria-prima.

Após a compreensão técnica e sensorial das amostras desenvolvidas, foi realizado um *benchmarking* de materiais, para posicioná-lo dentro de um grupo de similares, abrangendo possíveis áreas de aplicação. Para essa análise, foram consideradas as amostras de folha processadas a vácuo e em tela de nylon. Os similares selecionados

foram: produtos Papel da Amazônia, *Kinyl Molded-Pulp* e carteira Porta-Cartão, conforme Figura 62.

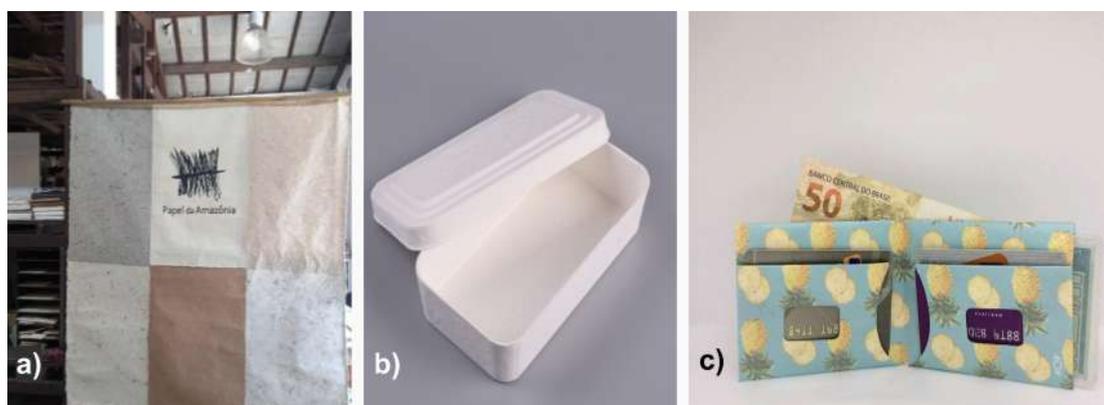


Figura 62: Similares selecionados para *benchmarking* (a - Papel da Amazônia; b - *Kinyl Molded-Pulp*; c - Carteira Porta-Cartão)

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022 Disponível em: a - <<https://bit.ly/3v41COC>>; b - <<https://bit.ly/3PFLWZM>>; c - >; d - <<https://bit.ly/3ogUEly>>

Os dados da Tabela 06 detalham as informações para a análise de *benchmarking* dos materiais desenvolvidos. Dentre os critérios adotados, durante a seleção optou-se pela escolha de similares que tivessem uma certa familiaridade com os objetivos da presente pesquisa. Assim, percebeu-se diferentes aplicações em produtos que surgem da necessidade de dar uma nova aplicação aos materiais, ou resíduos, lignocelulósicos. Do ponto de vista comercial, encontrou-se como oportunidade uma boa aceitação aos produtos com materiais alternativos

Produto	Papel da Amazônia	Caixa moldada de armazenamento	Carteira Porta-Cartão
Fabricante	Papel da Amazônia	<i>Kinyl Molded-Pulp</i>	Dobra
Qualidades sensoriais	superfície áspera, textura rugosa e fibrosa, opaco, fosco, duro/maleável e não refletivo	superfície áspera, não elástico, duro, opaco e fosco com textura regular	superfície lisa, flexibilidade, impermeabilidade, textura não rugosa, opaco e fosco
Aplicações	artigos de papelaria, embalagens, brindes corporativos, quadros e papeis de decoração	caixas e boxes	carteiras

Atividades	objetos de decoração e utilitários para uso profissional ou lúdico	armazenamento de diferentes objetos (pessoais ou coletivos)	armazenamento de dinheiro, cartões e documentos
Conceito material e Propósito da aplicação	processamento de fibras naturais da Amazônia em papel artesanal através de um processo colaborativo e educativo entre equipe de artistas, designers e artesãos	produção de embalagens personalizadas com celulose moldada, tendo como matéria-prima fibras vegetais e papel pós-consumo	produção <i>open source</i> , artesanal e local, em que artistas colaboram com a criação de estampas para os produtos; reciclagem de produtos de papel para produção de produtos “dobra”

Tabela 06: *Benchmarking* para análise do material desenvolvido (Folha de celulose com fibra de açaí branqueada)

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

Através da esquematização, as principais semelhanças entre os materiais elaborados na dissertação com potenciais concorrentes são: superfície áspera dos materiais do Papel da Amazônia e *Kinyl Molded-Pulp* com as folhas de celulose do açaí produzidas com telas de nylon. Além da superfície lisa e flexível com textura não rugosa dos produtos Dobra com as amostras processadas por meio da filtração a vácuo.

Entretanto, as principais diferenças são: o acabamento que os materiais analisados possuem frente aos desenvolvidos em laboratório, o que garante uma performance superior e aplicação no mercado. Os produtos Papel da Amazônica demonstram a aceitação e potencial interesse por diferentes produtos confeccionados especialmente com fibras naturais da Amazônia, além da capacidade de envolver atores locais no processo produtivo.

Assim, o caráter experimental da pesquisa desenvolvida indica que são necessárias outras análises e processamentos, com o propósito de validar a gama de funcionalidades dos materiais desenvolvidos com fibra de açaí branqueada. Entretanto, através da análise qualitativa de benchmarking, e com os resultados de caracterização obtidos, percebe-se o potencial para futuras investigações que englobam a interação entre as áreas de design e materiais. Para avaliar a qualidade da folha de celulose, por exemplo,

é necessária a realização de testes mecânicos para validar as propriedades físicas do material, sua resistência a fratura, a deformações reversíveis ou irreversíveis.

Apesar da pesquisa ter feito apenas duas variações na forma de secagem e disposição da polpa de celulose nos moldes (a vácuo e temperatura ambiente), indica-se a possibilidade de testar moldes com diferentes formas e materiais. Além disso, a possibilidade de aplicar algum aglutinante ou material de reforço na polpa, como a cola PVA.

Aplicações para materiais similares, como o *Kinyl Molded-Pulp*, indicam o potencial para pesquisas futuras com a testagem para produção de diferentes folhas de celulose com fibra de açaí branqueada, através de técnicas de moldagens com múltiplas gramaturas e densidades. O emprego de tratamento superficial em folhas com superfície lisa, flexível e não rugosa revelam a possibilidade de verificar o comportamento da folha de celulose com açaí para uso em produtos impermeáveis, como os da empresa Dobra.

Do ponto de vista conceitual / comercial, uma possível aplicação para os materiais desenvolvidos na presente dissertação pode usar como proposta de valor a comercialização de produtos com resíduos, além da alternativa a celulose derivada do eucalipto. Aliar perspectivas direcionadas ao consumo consciente como uma solução para diferentes problemas (alternativa produtiva ao descarte irregular de resíduos na Amazônia, valorização da cadeia produtiva do açaí e criação de produtos em ciclos biológicos ou técnicos – economia circular).

Para avaliar os efeitos da no território e possíveis mudanças contexto regional de produção, é válido realizar uma pesquisa para validar possíveis novos produtos com fibras de açaí como uma alternativa na cadeia produtiva na Amazônia. Assim como os produtos da empresa Papel da Amazônia, indicar a capacidade de realizar projetos colaborativos entre os atores locais para desenvolvimento de objetos e oficinas de capacitação para o processamento desses resíduos.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa atingiu seu objetivo geral, ao demonstrar a viabilidade do reaproveitamos dos resíduos do açaí em novos materiais. Como contribuição para a pesquisa científica, destaca-se a integração entre os conhecimentos de design e materiais como guia para a investigação.

Para isso, contou com o apoio das caracterizações técnicas da área de materiais, como MEV, TG e FTIR, para entender o comportamento dos resíduos e dos compósitos. Além disso, de análises voltadas ao campo perceptivo, como o teste sensorial e o de *benchmarking*, para discutir as oportunidades no design. As principais conclusões da pesquisa são:

PLA/Fibra e Carço de açaí

- Foram obtidos e processados compósitos com PLA/Fibra de Açaí e PLA/Carço de Açaí, o que demonstra a viabilidade de processar os resíduos da cadeia produtiva em novos materiais;
- Além de atuar como plastificante, o PEG funcionou um excelente material para facilitar a dispersão das cargas de fibra/carço de açaí nos compósitos com PLA;
- Uma das principais características sensoriais das amostras obtidas é a variação de cores conforme é aumentada a carga de resíduo nos compósitos, além da textura fibrosa nos materiais com PLA/Fibra de Açaí;
- O *benchmarking*, como ferramenta para verificar o potencial dos materiais desenvolvidos e aplicação no design de produto, demonstrou a possibilidade frente a similares no mercado.

Folha de celulose com fibra de açaí

- Após o branqueamento, as fibras de açaí *in natura*, de tonalidade marrom, passam por uma alteração significativa na sua aparência visual, além da remoção componentes químicos atribuídos a lignina e hemicelulose;

- A filtragem a vácuo permitiu a formação de amostras com poucos espaços superficiais e maior entrelaçamento entre as fibras, o que garantiu ao material características como a flexibilidade e maleabilidade;
- A formação de amostras através da tela de nylon resultou em um material rígido e quebradiço, características atribuídas ao mal entrelaçamento das fibras e presença de espaços superficiais;
- O *benchmarking* demonstrou diferentes possibilidades de aplicação frente a materiais e produtos similares no mercado, além da aceitação por objetos confeccionados com resíduos lignocelulósicos, em especial aqueles do território amazônico.

Ao considerar as ações do design orientadas aos Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável (ODS), as alternativas apresentadas na presente dissertação, atreladas ao estudo em design e materiais podem contribuir para o *Objetivo 12 – Consumo e Produção Responsáveis*. O uso da fibra ou caroço de açaí para desenvolvimento de novos materiais promove a redução dos resíduos urbanos, através da reciclagem e uso eficiente dos recursos naturais. A aplicação desses materiais em produtos representa um ganho e garante que os consumidores possam adotar estilos de vida/consumo que tenham menos impacto ao meio ambiente.

As ferramentas de design atreladas ao desenvolvimento de materiais e aliadas ao desenvolvimento tecnológico na pesquisa podem colaborar para a difusão de um ambiente de inovação, o que contribui de forma indireta para o *Objetivo 9 – Indústria, Inovação e Infraestrutura*. Para a região amazônica, representa uma oportunidade de atribuir valor a um produto de *commodity* e os resíduos do seu processo produtivo. Assim, a importância da cadeia produtiva do açaí é reforçada na disponibilidade de utiliza seus subprodutos para outras atividades.

Espera-se que as oportunidades e desafios levantados e discutidos nessa dissertação possam ser consideradas em futuras investigações ou pesquisas em andamento. Para o campo do conhecimento científico, os assuntos apresentados situam-se em formas de

discutir problemas e apresentar soluções voltadas a realidade na região amazônica, através do caráter inovador do design, apoiado na área de materiais.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

PLA/RESÍDUOS DE AÇAÍ

- Desenvolvimento de protótipos de produtos com os materiais elaborados;
- Caracterização técnica (TG, ensaio de tração e MEV) dos compósitos PLA/caroço de açaí;
- Caracterização técnica (TG, ensaio de tração, MEV, FTIR e DSC) dos compósitos de PLA/fibra de açaí para possível comparação com os compósitos de PLA/caroço de açaí;
- Testes de biodegradação do material para indicação de ciclos biológicos ou técnicos (economia circular);
- Analisar a percepção de possíveis usuários dos materiais/produtos produzidos com os resíduos de açaí/PLA para desenvolver possíveis experiências com os materiais.

FOLHA DE CELULOSE

- Desenvolvimento de protótipos de produtos com os materiais elaborados;
- Tratamentos dos resíduos do processo de branqueamento, necessidade de investigar formas de causar um menor impacto ao meio ambiente;
- Caracterização técnica (TG, gramatura, resistência ao rasgo e biodegradação) da folha de celulose para comparação com os materiais processados com outras matérias-primas;
- Investigar como o material pode ser reciclado para garantir uma possível circularidade dentro do processo produtivo e do consumo em um potencial produto;
- Analisar a percepção de possíveis usuários dos materiais/produtos produzidos com os resíduos de açaí para desenvolver possíveis experiências com os materiais.

8. REFERÊNCIA

AGUIAR, M. O.; MENDONÇA, M. S. Morfo-anatomia da semente de Euterpe precatória Mart. (Palmae). **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 25, n. 1, p. 37-42, 2003.

ALMEIDA, A. S. V.; VIEIRA, W. T.; BISPO, M. D.; MELO, S. F.; SILVA, T. L.; BALLIANO, T. L.; VIEIRA, M. G. A.; SOLETTI, J. I. Caffeine removal using activated biochar from açai seed (Euterpe olerarea Mart): Experimental study and description of adsorbate properties using Density Functional Theory (DFT). **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 9, n. 1, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104891>.

ARIDI, A. S.; LING, C. N.; ISHAK, N. A.; YUSOF, N. N. M.; AHMED, M. F. M.; YUSOF, Y. A. Structural FTIR analysis of cellulose functional groups isolated from Leucaena lucocephala pods using different bleaching agents. **agriRxiv**, 2020. DOI: <https://doi.org/10.31220/agriRxiv.2020.00026>.

ASHBY, M.; JOHNSON, K. **Materiais e Design: arte e ciência na seleção de materiais no design de produto**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

ASSIS, G. B. R.; NUNES, V. G. A. Inovação Social: Estudo sobre um modelo de identificação e sua relação com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável. **MIX Sustentável**, v. 5, n. 5, p. 109 - 122, dez., 2019. DOI: <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2019.v5.n5.109-122>.

BAK-ANDERSEN, M. **Reintroducing Materials for Sustainable Design: Design Process and Educational Practice**. Routledge: New York, 2021. 185 p.

BARATI, B.; KARANA, E. Affordances as Materials Potential: What Design can do for Materials Development. **International Journal of Design**, Taipei City, v. 13, n. 3, p. 105 – 123, 2019.

BARBOSA, A. M. **Compósitos poliméricos com resíduo de açai para mitigação de efeitos térmicos como estratégias eco alternativas em habitações na Amazônia**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2016.

BARBOSA, A. M.; REBELO, V. S. M.; MARTORANO, L. G.; GIACON, V. M. Caracterização de partículas de açai visando seu potencial uso na construção civil. **Revista Matéria**, v. 24, n. 3, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1517-707620190003.0750>.

BAYART, M.; ADJALLÉ, K.; DIOP, A.; OVLAQUE, P.; BARNABÉ, S.; Robert, M.; ELKOUN, S. PLA/flex fiber bio-composites: effect of polyphenol-based surface treatment on interfacial adhesion and durability. **Composite Interface**, v. 28, n. 3, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1080/09276440.2020.1773179>.

BECKER, B. K.; STENNER, C. **Um futuro para a Amazônia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

BONI, C.; MOURA, M.; LANDIM, P. C. Práticas contemporâneas do design. **Estudos em Design**, v. 7, n. 3, p. 29-45, 2019. DOI: <https://doi.org/10.35522/eed.v27i3.771>.

BUFALINO, L.; GUIMARÃES, A. A.; SILVA, B. M. S.; SOUZA, R. L. F.; MELO, I. C. N. A.; OLIVEIRA, D. N. P. S.; TRUGILHO, P. F. Local Variability for Yield and Physical Properties of Açaí Waste and Improvement of its Energetic Attributes by Separation of Lignocellulosic Fibers and Seeds. **Journal of Renewable and Sustainable Energy**, v. 10, 2018. DOI: 10.1063/1.5027232.

CALEGARI, E. P.; COUSSIRAT, C. A.; SMIDT, J. P. AMICO, S. C; DE OLIVEIRA, B. F. Compósitos com casca de arroz: novas possibilidades para o design de produto. In: DE OLIVEIRA, G. G.; NÚÑEZ, G. J. **Design em pesquisa**: volume 3. Porto Alegre: Marcavisual, 2020. p. 583 – 599.

CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, R. **Ciência e Engenharia de Materiais**: uma introdução. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2016.

CAMERE, S.; KARANA, E. Experiential Characterization of Materials: towards a toolkit. In: STORNI, C.; LEAHY, K.; MCMAHON, M.; LLOYD, P.; BOHEMIA, E. (Org.) **Design as a catalyst for change** - DRS International Conference. Limerick: Ireland, 2018. DOI: <https://doi.org/10.21606/drs.2018.508>.

CAVALCANTI, B. P. B. C.; DE SOUZA, G. L.; BENEVIDES, A. Y.; RUSCHIVAL, C. B.; QUIRINO, M. G.; DE CASTRO, D. F. The usage of the acai stone as reinforcement for the modeling of plant polyurethane matrix composite material. **Mix Sustentável**, v. 7, n. 3, p. 19-28, 2021. DOI: <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2021.v7.n3.19-28>.

CESCHIN, F.; GAZIULUSOY, I. **Design for Sustainability**: A Multi-level Framework from Products to Socio-Technical Systems. New York: Routledge, 2019. DOI: <https://doi.org/10.4324/9780429456510>.

CHEN, K.; LI, P.; LI, X.; LIAO, C.; LI, X.; ZUO, Y. Effect of silane coupling agent on compatibility interface and properties of wheat straw/polylactic acid composites. **International Journal of Biological Macromolecules**, n. 182, p. 2108-1216, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.05.207>.

CHHAOUI, B.; TARRÉS, Q.; DELGADO-AGUILAR, M.; MUTJÉ, P.; BOUFI, S. Lignin-containing cellulose fibrils as reinforcement of plasticized PLA biocomposites produced by melt processing using PEG as a carrier. **Industrial Crops & Products**, v. 175, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114287>.

COHEN, L. A. F. P.; AYRES, E. Relações entre design, materiais e a cadeia produtiva do açaí (*Euterpe oleracea* Mart.). In: SIMPÓSIO DE DESIGN SUSTENTÁVEL, 7., 2021, Curitiba. **Anais [...]** Curitiba, Editora UFPR, 2021. p. 200-211. DOI: <https://dx.doi.org/10.5380/8sds2021.art33>.

COHEN, L. A. F. P.; CAMINO, B. M. C.; SANTOS, N. S. S. Aproveitamento dos resíduos do artesanato de Jupati (*Raphia taedigera* (Mart.) Mart.) no desenvolvimento de papel reciclado. In: SIMPÓSIO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS NA AMAZÔNIA, 5., 2021, Belém. **Anais [...]** Belém, UEPA, 2021.

COHEN, L. A. F. P.; SANTOS, N. S. S. Resumo TCC: Estudo da utilização de fibras de açai (*Euterpe oleracea* Mart.) como material têxtil. **Mix Sustentável**, v. 8, n. 1, p. 168-169, 2022. DOI: <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2021.v8.n2.%25p>.

CORAIOLA, M.; MARIOTTO, S. C. Proposta metodológica para produção artesanal de papel utilizando a fibra do pseudocaule da bananeira. **Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 7, n. 2, p. 207-216, 2009. DOI: <https://doi.org/10.7213/cienciaanimal.v7i2.9906>.

CUNICO, N. R.; OLÍMPIO, A. C. S.; QUEIROZ, G. T.; MENDOZA, Z. M. S. H.; BORGES, P. H. M. Fibras vegetais para produção de polpa celulósica. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 11, p. 101930-101941, 2021. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n11-017>.

EJAZ, M.; AZAD, M. M.; SHAH, A. U. R.; AFAQ, S. K.; SONG, J. Mechanical and Biodegradable Properties of Jute/Flax Reinforced PLA Composites. **Fibers and Polymers**, v. 21, n. 11, p. 2635-2641, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12221-020-1370-y>.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Rumo à Economia Circular: O Racional de Negócios para Acelerar a Transição**. Ellen MacArthur Foundation: Publicações, 2015. Disponível em: https://archive.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/Rumo-%C3%A0-economia-circular_SumarioExecutivo.pdf. Acesso em: 04 jun. 2020.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **O imperativo da natureza: Como a economia circular enfrenta a perda de biodiversidade**. Ellen MacArthur Foundation: Publicações, 2021. Disponível em: <https://emf.thirdlight.com/link/k4cv9bwfbr3j-qqqxr/@/preview/1?o>. Acesso em: 04 mai. 2021.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Economia circular na América Latina e Caribe: Uma visão compartilhada**. Ellen MacArthur Foundation: Publicações, 2022.

EL-SAYED, E. S. A.; EL-SAKHAWY, M.; EL-SAKHAWY, M. A. M. Non-wood fibers as raw materials for pulp and paper industry. **Nordic Pulp & Paper Research Journal**, v. 35, n. 2, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1515/npprj-2019-0064>.

EUGENIO, M. E.; IBARRA, D.; MARTÍN-SAMPEDRO, R.; ESPINOSA, E.; BASCÓN, I.; RODRÍGUEZ, A. Alternative Raw Materials for Pulp and Paper Production in the Concept of the Lignocellulosic Biorefinery. In: PASCUAL, A. R.; MARTÍN, M. E. E. (Org) **Cellulose**. London: IntechOpen, 2019. 130 p. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.90041>.

GOMES FILHO, J. **Design do Objeto: Bases Conceituais**. 2 ed. São Paulo: Escrituras, 2020.

GOTTARDI, F. M.; BELINI, U. L.; ZANONI, P. R. S.; MAGALHÃES, W. L. E. Fibras residuais de pupunheira: estudo de aplicações ao design sustentável. *In*: SIMPÓSIO DE DESIGN SUSTENTÁVEL, 8., 2021, Curitiba. **Anais [...]** Curitiba: Editora UFPR, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5380/8sds2021.art19>.

GUIMARÃES, J. S. P.; PAGNAN, C. S.; SILVA, M. C.; AYRES, E. Filamentos de Poli (ácido láctico) (PLA) para impressão 3D coloridos com colorante natural extraído da casca de laranja. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, 15., 2019, Bento Gonçalves. **Anais [...]**. Disponível em: <<http://e-democracia.com.br/cbpol/anais/2019/>>.

HOMMA, A. K. O. Extrativismo vegetal ou plantio: qual a opção para a Amazônia? *In*: HOMMA, A. K. O. (Org.) **Extrativismo vegetal na Amazônia**: história, ecologia, economia e domesticação. Brasília: Embrapa, 2014. p. 17-43.

HOMMA, A. K. O.; NOGUEIRA, O. L.; MENEZES, A. J. E. A.; CARVALHO, J. E. U.; NICOLI, C. M. L. Açai: novos caminhos e tendências. *In*: HOMMA, A. K. O. **Extrativismo vegetal na Amazônia**: história, ecologia, economia e domesticação. Brasília: Embrapa, 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Amazônia legal [mapa]**. 1:570 km. Disponível em: <https://bit.ly/3iQchHA>. Acesso em: 09 jun. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Produção de Extração Vegetal e da Silvicultura**: Quantidade produzida e valor da produção na extração vegetal, por tipo de produção extrativa. 2020. Disponível em: <https://bit.ly/3vAlu9l>. Acesso em: 09 mai. 2020.

KABIR, M. M.; WANG, H.; LAU, K.T.; CODORNA, F. Effects of chemical treatments on hemp fiber structure. **Applied Surface Science**, n. 276, p. 13-23, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2013.02.086>

KARANA, E.; BARATI, B.; ROGNOLI, V.; ZEEUW VAN DER LAAN, A. Material Driven Design (MDD): A Method to Design for Material Experiences. **International Journal of Design**, Taiwan, v. 9, n. 2, p. 35 - 54, 2015.

KARANA, E.; PEDGLEY, O.; ROGNOLI, V. On Materials Experience. **Design Issues**, Massachusetts, v. 31, n. 3, 2015. DOI: https://doi.org/10.1162/DESI_a_00335.

KÜHL, R. M.; DE OLIVEIRA, G. M. T. S. Análises da viabilidade da gaseificação de caroço de açaí no restaurante universitário da Universidade Federal Rural da Amazônia. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 11, p. 25994-26011, 2019. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv5n11-245>.

LEFTERI, C. **Materiais em Design**. São Paulo: Blucher, 2017.

LEITE, C. D. P.; TEIXEIRA, L. F.; COHEN, L. A. F. P.; SANTOS, N. S. S. Recovery and recycling of a biopolymer as an alternative of sustainability for 3D printing. In: LENS WORLD DISTRIBUTED CONFERENCE, 3., 2019, Curitiba. **Proceedings [...]** Milano, Edizioni POLI.design, 2019.

LEITE, R.; FERNANDES, A.; RANGEL, B.; ALVES, J. L. PLAegg – Green Composite from Eggshells and Polylactic Acid. **Materials Circular Economy**, v. 22, n. 3, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42824-021-00032-4>.

LI, F.-J.; LIANG, J.-Z.; ZHANG, S.-D.; ZHU, B. Tensile Properties of Polylactide/Poly (ethylene glycol) Blends. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 23, p. 407-415, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10924-015-0718-7>.

LIMA, A. C. P.; BASTOS, D. L. R.; CAMARENA, M. A.; BOM, E. P. S.; CAMMAROTA, M. C.; TEIXEIRA, R. S. S.; GUTARRA, M. L. E. Physicochemical characterization of residual biomass (seed and fiber) from açai (Euterpe oleracea) processing and assessment of the potential for energy production and bioproducts. **Biomass Conversion and Biorefinery**, v. 11, p. 925-935, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13399-019-00551-w>.

LIMA A. M.; BARRERO N. G.; FIORELLI J.; CHRISTOFORO A. L.; DE FARIA L. J. G.; LAHR F. A. R. Eco-particleboard manufactured from chemically treated fibrous vascular tissue of acai (Euterpe oleracea Mart.) Fruit: A new alternative for the particleboard industry with its potential application in civil construction and furniture. **Industrial Crops and Products**, n. 112, p. 644 – 651, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.12.074>.

LONG, H.; ZHIQIANG, Z.; DONG, Q.; SHEN, Y.; ZHOU, W.; LUO, Y.; ZHANG, C.; DONG, X. Effect of polyethylene glycol on mechanical properties of bamboo fiber-reinforced polylactic acid composites. **Journal of Applied Polymer**, v. 136, n. 26, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1002/app.47709>.

MANZINI, E. **A Matéria da Invenção**. Lisboa: Centro Português de Design, 1993.

MARAVEAS, C. Production of Sustainable Construction Materials Using Agro-Wastes. **Materials**, Basel, v. 13, p. 01 - 29, Jan., 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma13020262>.

MEI, L. H. I. Plásticos e bioplásticos: definições, matérias-primas e sustentabilidade. In: MEI, L. H. I. (Org.) **Bioplásticos, Biodegradáveis & Biobased**. Campinas: Editora da UNICAMP, 2016.

MENDONÇA, M. S.; NASCIMENTO, M. D. R.; SOUZA, J. S.; SILVA, J. E. V. C. Reaproveitamento do caroço do açai como alternativa na produção de bebida aromática. In: CORDEIRO, C. A. M. (Org.) **Tecnologia de Alimentos: Tópicos físicos, químicos e biológicos**. 1 ed. Guarujá: Editora Científica Digital, 2020, p. 557 – 565. DOI: <https://doi.org/10.37885/200800814>.

MIODOWNIK, M. **Stuff Matters: Exploring the Marvelous Materials That Shape Our Man-Made World**. 1. ed. London: Penguin, 2013.

MOHANTY, A. K., MISRA, M., DRZAL, L. T., SELKE, S. E., HARTE, B. R., HINRICHSEN, G. Natural fibers, biopolymers, and biocomposites: an introduction. *In*: MOHANTY, A. K., MISRA, M., DRZAL, L. T. (Org.). **Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites**. Routledge, 2005.

MORAIS, A. C. L.; SILVA, T. C. P. S.; CASTRO, L. L. R. L.; BARBOSAM R.; ALVES, T. S. Desenvolvimento de filmes biodegradáveis de poli (ácido láctico) e proteína isolada de soja produzidos via extrusão plana. **Revista Matéria**, v. 27, n. 1, 2022. DOI: <https://doi.org/S1517-707620220001.1344>.

MOURÃO, L. História e natureza: do açaí ao palmito. **Revista Territórios e Fronteiras**. Cuiabá, v. 3 n. 2, p. 74 - 96, 2010.

MUHAMADI, K. O. L.; BYARUHANGA, J. K.; KIRABIRA, J. B. A Review on Pulp Manufacture from Non-Wood Plant Materials. **International Journal of Chemical Engineering and Applications**, v. 4, n. 3, 2013. DOI: <https://doi.org/10.7763/IJCEA.2013.V4.281>.

NOGUEIRA, O. L.; CARVALHO, C. J. R.; MÜLLER, C. H.; GALVÃO, E. U. P.; SILVA, H. M.; RODRIGUES, J. E. L. F.; OLIVEIRA, M. S. P.; CARVALHO, J. E. U.; ROCHA NETO, O. G.; NASCIMENTO, W. M. O.; CALZAVARA, B. B. G. **A cultura do açaí**. Brasília: EMBRAPA – SPI, 1995.

OLIVEIRA, A. S. Design, identidade e desenvolvimento regional na Amazônia brasileira. **Actas de Diseño**, Buenos Aires, n. 17, jul., 2014. DOI: <https://doi.org/10.18682/add.vi17>.

OLIVEIRA, D. N. P. S.; CLARO, P. I. C.; FREITAS, R. R.; MARTINS, M. A.; SOUZA, T. M.; SILVA, B. M. S.; MENDES, L. M.; BUFALINO, L. Enhancement of the Amazonian Açaí Waste Fibers through Variations of Alkali Pretreatment Parameters. **Chemistry & Biodiversity**, v. 16, e1900275, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1002/cbdv.201900275>.

OLIVEIRA, J. A. R.; KOMESU, A.; MARTINS, L. H. S.; MACIEL FILHO, R. Evaluation of Microstructure of Açaí Seeds Biomass Untreated and Treated with H₂SO₄ and NaOH by SEM, RDX and FTIR. **Chemical Engineering Transactions**, v. 50, p. 379-384, 2016. DOI: <https://doi.org/10.3303/CET1650064>.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU. **Assembleia Geral das Nações Unidas, transformando o nosso mundo: Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. Rio de Janeiro, 2015.

PAES, M. X.; CAMPOS-SILVA, J. V.; OLIVEIRA, J. A. P. Integrating circular economy in urban Amazon. **npj urban sustainability**, v. 1, n. 29, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1038/s42949-021-00031-z>.

PAGNAN, C. S. **Percepção dos usuários frente a produtos fabricados via impressão 3D em PLA colorido com masterbatch de urucum (Bixa Orellana L.)**. Tese (Doutorado em Design), Universidade do Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

PAGNAN, C. S.; MOTTIN, A. C.; ORÉFICE, R. L.; AYRES, E.; CÂMARA, J. J. D. Annatto-colored Poly(3-hydroxybutyrate): A Comprehensive Study on Photodegradation. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 26, p. 1169-1178, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10924-017-1026-1>.

PASSAS, R. Natural fibers for paper and packing. In: KOZLOWSKI, R. M. (Org.) **Handbook of Natural Fiber: Processing and applications**. Sawston: Woodhead Publishing, 2012. p. 367-400.

PEREIRA, R. B.; MORALES, A. R. Estudo do comportamento térmico e mecânico do PLA modificado com aditivo nucleante e modificador de impacto. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 24, n. 2, p. 198-202, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/polimeros.2014.042>.

PESSOA, J. D. C.; ARDUIN, M.; MARTINS, M. A.; CARVALHO, J. E. U. Characterization of Açai (E. oleracea) Fruits and its Processing Residues. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 53, n. 6, p. 1451-1460, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-89132010000600022>.

PINHO, P. M. **Gestão de resíduos sólidos urbanos na Amazônia Brasileira**. São Paulo: Editora Biblioteca 24Horas, 2018.

POTLURI, R. Natural Fiber-Based Hybrid Bio-composites: Processing, Characterization and Applications. In: MUTHU, S. S. **Green composites: Processing, Characterization and Applications for Textiles**. Springer: 1. Ed., 2019. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-13-1972-3_1.

QUIRINO, M. G.; SANTOS, P. A. B. S. S.; NETTO, L. G. M. V. Compósito laminar produzido com a fibra da semente do açai (Euterpe precatoria). In: **Anais do Congresso Internacional e Workshop Design & Materiais, 2017**. Campinas: Galoá, 2020.

RIBASKI, N. G.; BELINI, U. L. Aproveitamento de Resíduos Sólidos Urbano Madeireiro. **Brazilian Journal of Technology**. Curitiba, v. 2, n. 3, p. 742 – 757, 2019.

ROGNOLI, V.; KARANA, E.L PEDGLEY, O. Natural fibre composites in product design: na investigation into material perception and acceptance. In: **Designing Pleasurable Products and Interface**, 11., 2012. **Proceedings [...]** Milano, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1145/2347504.2347543>.

ROSA, M. F.; MEDEIROS, E. S.; MALMONGE, J. A.; GREGORSKI, K. S.; WOOD, D. F.; MATTOSO, L. H C.; GLENN, G. ORTS, W. J.; IMAM, S. H. Cellulose nanowhiskers from coconut husk fibers: Effect of preparation

conditions on their thermal and morphological behavior. **Carbohydrate Polymers**, v. 81, n. 1, p. 83-92, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.01.059>.

SALES, R. B. C.; MOTA, S. R. F.; AGUILAR, M. T. P. O papel dos materiais na criação da identidade do produto de design. In: MORAES, D.; KRUCKEN, L.; REYES, P. **Cadernos de Estudos Avançados em Design: Identidade**. 2ª Edição. Belo Horizonte: EdUEMG, 2016.

SANTOS, C. P.; NORONHA, R. G. Pesquisa colaborativa para o aproveitamento de resíduos de açaí em comunidades locais: delimitação da arte. **RELACult – Revista Latino-Americana de Estudos em Cultura e Sociedade**, v. 7, n. 4, 2021. DOI: <https://doi.org/10.23899/relacult.v7i4.1996>.

SARITHA, J. K.; ANNS, G.; ADON, J.; CYRIAC, J.; UNNIKRIISHNAN, N. V.; BIJU, P. R. Structural and luminescence characterization of Eu³⁺/ZnS nanoparticle-doped ZrO₂/PEG composite. **Journal of Materials Science**, n. 32, p. 9755-9764, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10854-021-05634-x>.

SARMENTO, F.; MOURA, M. Material resignification in the Amazon. A way to construct sustainability scenarios. **Design Journal**, London, v. 20, n. 1, p. 1852–1868, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1080/14606925.2017.1352703>.

SAUERWEIN, M.; KARANA, E.; ROGNOLI, V. Revived Beauty: Research into Aesthetic Appreciation of Materials to Valorise Materials from Waste. **Sustainability**, Switzerland, v.9, n.4, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/su9040529>.

SENA NETO, A. R.; ARAÚJO, M. A. A.; SOUZA, F. V. D.; MATTOSO, L. H. C.; MARCONCINI, J. M. Characterization and comparative evaluation of thermal, structural, chemical, mechanical and morphological properties of six pineapple leaf fiber varieties for use in composites. **Industrial Crops and Production**, v. 43, p. 529 – 537, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.08.001>.

SILVA, L. M. R.; SOUSA, P. H. M.; SABINO, L. B. S.; PRADO, G. M.; TORRES, L. B. V.; MAIA, G. A.; FIGUEIREDO, R. W.; RICARDO, N. M. P. S. Brazilian (North and Northeast) Fruit By-Products. In: CAMPOS-VEGA, R.; OOMAH, B. D.; VERGARA-CASTAÑEDA, H. A. (Org.) **Food Wastes and By-Products: Nutraceutical and Health Potential**. Hoboken: John Wiley & Sons., 2020. cap. 5, p. 127–159. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781119534167.ch5>.

TAVARES, G. S.; HOMMA, A. K. O. Comercialização do açaí no estado do Pará: alguns comentários. **Observatorio de la Economía Latinoamericana**. Setembro, 2015.

TAVARES, F. F. C.; ALMEIRA, M. D. C.; SILVA, J. A. P.; ARAÚJO, L. L.; CARDOZO, N. S. M.; SANTANA, R. M. C. Thermal treatment of açaí (*Euterpe oleracea*) fiber for composite reinforcement. **Polímeros**, v. 30, n. 1, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/0104-1428.09819>.

TEIXEIRA, L. F.; RODRIGUES, J. V.; COHEN, L. A. F. P.; SANTOS, N. S. S. A Material-Driven Design Approach Methodology in 3D Printing Waste Recycling. *In*: SANDHU, K.; PRAKASH, C.; SUBBURAY, K.; RAMAKRISHNA, S. (Org.). **Sustainability for 3D Printing**. Switzerland: Springer Nature, p. 105-130, 2022. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-75235-4_6.

TEIXEIRA, L. F.; SOZINHO, T. Y. F.; SILVA, M. M.; SANTOS, N. S. S. Economia circular e design: oportunidades da reciclagem do PLA resíduos da impressão 3D. *In*: Encontro nacional de engenharia e desenvolvimento social, 16., 2019. **Anais [...]** Belém, UFPA, 2019.

VINOD, A.; SANJAY, M. R.; SUCHART, S.; JYOTISHKUMAR, P. Renewable and sustainable biobased materials: an assessment on biofibers, biofilms, biopolymers and biocomposites. **Journal of Cleaner Production**, v. 298, n.120978, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120978>.

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT - WCED. **Our common future**. Oxford: Oxford University Press, 1987.

WORLD DESIGN ORGANIZATION - WDO. **United Nations Sustainable Development Goals**. Montreal, Quebec: WDO, 2020. Disponível em: <https://wdo.org/about/vision-mission/un-sdgs/>. Acesso em: 02 jun. 2020.

WILKES, S.; WONGSRIRUKSA, S.; HOWES, P.; GAMESTER, R.; WITCHEL, H.; CONREEN, M.; LAUGHLIN, Z.; MIODOWNIK, M. Design Tools for Interdisciplinary Translation of Material Experiences. **Materials and Design**, v. 90, p. 1228 - 1237, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.04.013>.

XU, W.; PRANOVICH, A.; UPPSTU, P.; WANG, X.; KRONLUND, D.; HEMMING, J.; ÖBLOM, H.; MORITZ, N.; PREIS, M.; SANDLER, N.; WILLFÖR, S.; XU. Novel biorenewable composite of wood polysaccharide and polyactic acid for three-dimensional printing. **Carbohydrate Polymers**, n. 187, p. 51-58, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.01.069>.

ZABIDI, N. A.; NAZRI, F.; TAWAKKAL, I. S. M. A.; BASRI, M. S. M.; BASHA, R. K.; OTHMAN, S. H. Characterization of active and pH-sensitive poly (lactic acid) (PLA)/nanofrillated cellulose (NFC) films containing essential oils and anthocyanin for food packaging application. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 212, p. 220-231, 2022.

ZOUARI, M.; DEVALANCE, D. B.; MARROT, L. Effect of biochar addition on mechanical properties, thermal stability and water resistance of Hemp-Polylactic Acid (PLA) Composites. **Materials**, v. 15, n. 2271, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma15062271>.

ANEXOS

ANEXO 01: Cadastro da pesquisa na plataforma SisGen



**Ministério do Meio Ambiente
CONSELHO DE GESTÃO DO PATRIMÔNIO GENÉTICO**

SISTEMA NACIONAL DE GESTÃO DO PATRIMÔNIO GENÉTICO E DO CONHECIMENTO TRADICIONAL ASSOCIADO

Comprovante de Cadastro de Acesso

Cadastro nº A292925

A atividade de acesso ao Patrimônio Genético, nos termos abaixo resumida, foi cadastrada no SisGen, em atendimento ao previsto na Lei nº 13.123/2015 e seus regulamentos.

Número do cadastro: **A292925**
 Usuário: **Lauro Arthur Farias Paiva Cohen**
 CPF/CNPJ: **007.391.992-69**
 Objeto do Acesso: **Patrimônio Genético**
 Finalidade do Acesso: **Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico**

Espécie

Euterpe oleracea

Título da Atividade: **Desenvolvimento de um Biocompósito com Resíduos de Cadeia Produtiva do Açaí e sua Aplicação no Design de Produto**

Equipe

Lauro Arthur Farias Paiva Cohen	UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MINAS GERAIS
Eliane Ayres	Universidade do Estado de Minas Gerais

Data do Cadastro: **07/05/2020 18:16:17**

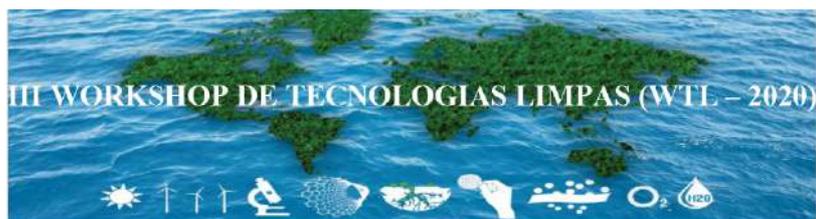
Situação do Cadastro: **Concluído**

Conselho de Gestão do Patrimônio Genético
 Situação cadastral conforme consulta ao SisGen em **18:16** de **07/05/2020**.



SISTEMA NACIONAL DE GESTÃO
 DO PATRIMÔNIO GENÉTICO
 E DO CONHECIMENTO TRADICIONAL
 ASSOCIADO - **SISGEN**

ANEXO 02: Resumo publicado em evento (Workshop Energias Limpas - UFMG 2020)



CARACTERIZAÇÃO TÉRMICA DA FIBRA DE AÇAÍ (*Euterpe Oleracea* Mart.) PARA O DESENVOLVIMENTO DE UM BIOCOMPÓSITO

COHEN, L. A. F. P.¹ e AYRES, E.¹

¹ Universidade do Estado de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Design
E-mail: laurocohenn@gmail.com

O açaí (*Euterpe Oleracea* Mart.) é um fruto que possui uma grande importância nutricional, cultural e econômica para a região Amazônica. O seu consumo se popularizou em todas as regiões do território brasileiro, e até em território internacional. Em 2018, a quantidade de frutos produzida chegou a 221 toneladas, sendo o estado do Pará o maior produtor nacional (IBGE, 2019). Os resíduos dessa cadeia são compostos pelas fibras, caroços e borra do fruto. Grande parte do subproduto é descartado de maneira inadequada em contexto urbano, o que colabora para poluição ambiental nas principais cidades da região Norte. Entretanto, esse material possui potencial para ser utilizado como matéria-prima na indústria de aglomerados e móveis (LIMA et al., 2018), para fins energéticos (KÜHL; DE OLIVEIRA, 2019) e reforço para produtos poliméricos. Nesse trabalho foi realizada a caracterização térmica da fibra de açaí por meio da análise termogravimétrica (TGA). O objetivo foi identificar a temperatura na qual inicia a degradação da fibra. O experimento foi realizado em uma Termo balança Seiko-SII *Nanotechnology Inc.* modelo Exstar 7200 sob atmosfera de ar sintético (50 ml min⁻¹). A Figura 1 mostra a curva termogravimétrica.

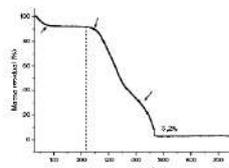


Figura 1 – Curva termogravimétrica da fibra de açaí.

Observa-se que, como aumento da temperatura, houve uma perda inicial de massa que se manteve até aproximadamente 100°C, o que indica a evaporação da água ou decomposição de compostos de baixa massa molar (DE OLIVEIRA et al., 2019), e que representa a degradação de aproximadamente 10% do material. Essa temperatura indica o início da degradação da biomassa e é usada para limitar a temperatura máxima durante o processamento de materiais lignocelulósicos (SENA NETO et al., 2013). A segunda etapa da perda de massa inicia-se entre 250 °C e 300 °C, e é atribuída à decomposição dos principais componentes do material, a hemicelulose, a celulose e a lignina (DE OLIVEIRA et al., 2019). A partir de 450 °C percebe-se o início da estabilização da perda de massa, e o material atinge um percentual de 3,5% de matéria residual.

ANEXO 03: Resumo expandido publicado em congresso (CBPol 2021)



CHARACTERIZATION OF AÇAÍ (*EUTERPE OLERACEA* MART.) FIBER AND IT'S POTENTIAL FOR THE DEVELOPMENT OF COMPOSITES MATERIALS

Lauro A. F. P. Cohen^{1*}, Elisa B. C. Martins¹, Mercês C. da Silva², Nubia S. S. Santos³ and Eliane Ayres¹

1 – Post Graduation Program in Design (PPGD), State University of Minas Gerais (UEMG), Belo Horizonte, MG, Brazil

laurocohen@gmail.com

2 – Interdisciplinary Laboratory for Composites and Polymeric Materials (LIMCOP), Institute of Integrated Engineering, Federal University of Itajuba (UNIFEI), Itabira, MG, Brazil

3 – Department of Industrial Design (DIND), State University of Para (UEPA), Belem, PA, Brazil

Abstract - Currently, there is a demand for the using eco-friendly raw materials in the development of materials. In addition, consumers are well awareness of sustainable products consumption . Studies have shown that composites reinforced with vegetable fibers have improved properties. Hence, lignocellulosic materials have potential to be an innovative and efficient solution. The açai (*Euterpe oleracea* Mart.) production chain is one of the most important for the northern region of Brazil. The high production of waste derived from açai consumption causes a major environmental problem in the main cities in the Amazon region. This current research investigates the characterization of açai fiber through Thermogravimetric Analysis (TGA), Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), and Scanning Electron Microscopy (SEM). The results will contribute to the investigation and development of composite materials, using açai residue as a feasible alternative reinforcement.

Keywords: natural fiber, biocomposites, agro-waste, new materials.

Introduction

The current production model implies the production and disposal of waste. Over time, the accumulation of waste and its improper disposal began to have an impact on the environment and on the dynamics of some cities. Such concerns led to a new development strategy based on the valorization of bio-based wastes and by-products, inserting them in the circular economy paradigm [1]. These bio-based wastes and by-products include several different wastes from the food and agriculture industries [2, 3]. For example, the valorization of orange peels has allowed the development of a new bioflocculant and a new adsorbent material with an efficiency comparable to that of activated carbon and more attractive economically seen his availability and its cost of preparation [4].

One of these bio-based wastes is açai fiber, the waste of açai pulp production. These residues accumulate, in large amounts, over the urban regions of the main cities in the Amazon region. Thus, contributing to environmental pollution and the proliferation of diseases. Considering the daily consumption, large quantities of this material are constantly available [5]. The development of polymeric composites reinforced with natural fibers has received prominence as an alternative

