

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
AGÊNCIA DE INOVAÇÃO, EMPREENDEDORISMO, PESQUISA,
PÓS-GRADUAÇÃO E INTERNACIONALIZAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN
MESTRADO EM DESIGN

MARIANY COSTA CARVALHO

**FIOS DE SUSTENTABILIDADE: EXPLORANDO O POTENCIAL DA FIBRA DE BANANEIRA
EM REVESTIMENTOS DECORATIVOS ARTESANAIS**

São Luís/MA

2024

MARIANY COSTA CARVALHO

**FIOS DE SUSTENTABILIDADE: EXPLORANDO O POTENCIAL DA FIBRA DE BANANEIRA
EM REVESTIMENTOS DECORATIVOS ARTESANAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal do Maranhão (UFMA) como requisito para obtenção do título de Mestre em Design.

Área de concentração: Design de Produtos.

Linha de Pesquisa: Materiais, Processos e Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Denilson Moreira Santos.

São Luís/MA

2024

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Carvalho, Mariany Costa.

FIOS DE SUSTENTABILIDADE: : explorando o potencial da fibra de bananeira em revestimentos decorativos artesanais / Mariany Costa Carvalho. - 2024.

81 f.

Orientador(a): Denilson Moreira Santos.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Design/ccet, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2024.

1. Design de Produtos. 2. Fibra de Bananeira. 3. Recursos Renováveis. 4. Sustentabilidade. I. Santos, Denilson Moreira. II. Título.

MARIANY COSTA CARVALHO

**FIOS DE SUSTENTABILIDADE: Explorando O Potencial Da Fibra De Bananeira Em
Revestimentos Decorativos Artesanais**

Aprovada em: 07 / 02 / 2024 .

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Denilson Moreira Santos (UFMA)

Doutor em Química (UNESP)

Orientador

Profa. Dra. Ana Lucia Alexandre de Oliveira Zandomeneghi (UFMA)

Doutora em Engenharia de Produção (UFSC)

Avaliadora do programa

Profa. Dra. Ivana Marcia Oliveira Maia (UFMA)

Doutora em Engenharia Mecânica (UFU)

Avaliadora do programa

Profa. Dra. Eliane Ayres (UEMG)

Doutora em Engenharia Metalúrgica e de Materiais (UFMG)

Avaliadora do programa

À todas as mãos e mentes que colaboraram
com dedicação e esforço.

A todos os abraços queridos que acalentaram
com gentileza, apoio e motivação.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço imensamente aos meus pais, Clarice e Francisco, pelo amor e apoio incondicionais, pela relação genuína e de respeito que construímos, pelo incentivo em crescer de várias formas, mas, principalmente, através da educação, e pelos exemplos de honestidade e dedicação.

Agradeço ao meu companheiro de vida, Henrique Guerra, pelo acolhimento nos momentos de indecisão e dificuldade, por tornar a jornada de estudos e a vida como um todo mais leves e celebrar mutuamente a alegria das nossas conquistas.

Sou grata a todos amigos e amigas que, direta ou indiretamente e com muita sensibilidade, acompanharam os muitos momentos oferecendo escutas atentas, palavras acalentadoras, abraços de conforto e sorrisos. Dentro deste grupo querido, destaco carinhosamente Gabriela Ramos e Priscila Penha, mulheres incríveis com quem pude dividir dores e alegrias com mais proximidade.

Meus agradecimentos à todas as artesãs do grupo MADESOL, cujo esforço, habilidade e disposição não só tornaram esta pesquisa possível, como também ensinaram uma lição sobre compromisso, criatividade e perseverança.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Denilson Moreira pelas múltiplas contribuições e direcionamentos, pela paciência na condução da pesquisa e por proporcionar meios, ferramentas e processos com qualidade técnica e teórica para o desenvolvimento das atividades.

Meus agradecimentos se estendem também à banca examinadora, composta pelas excelentes docentes Profa. Dra. Ana Lucia Zandomeneghi, Profa. Dra. Ivana Maia e Profa. Dra. Eliane Ayres, cujas considerações e observações tiveram papel fundamental no aprimoramento da pesquisa e no meu desenvolvimento como designer.

Igualmente, agradeço a todo corpo docente do Programa de Pós-graduação em Design – PPGDg/UFMA, cuja competência e compromisso com o aprendizado e o conhecimento não só tornaram possível o desenvolvimento de toda pesquisa, mas estabeleceram parâmetros sobre ser um pesquisador com dedicação, critério e empatia.

Sou grata aos docentes da Escola de Design UEMG, em especial a Profa. Dra. Eliane Ayres, o Prof. Dr. Sérgio Antônio Silva e a Profa. Dra. Katia Pêgo, com quem tive contato na ocasião do intercâmbio realizado através do Programa Nacional de Cooperação Acadêmica na Amazônia - PROCAD/Amazônia. Agradeço também a pesquisadora Júlia Guimarães pelo compartilhamento de experiências e por todo suporte nas atividades realizadas no laboratório, de grande importância para esta pesquisa.

Por fim, agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pelo incentivo e contribuição essencial à esta pesquisa na realização do intercâmbio através do PROCAD/Amazônia.

*“Bananeira, não sei
Bananeira, sei lá
A bananeira, sei não
Isso é lá com você*

*Será
No fundo do quintal
Quintal do seu olhar
Olhar do coração”*

João Donato

RESUMO

A produção global de artefatos para atender demandas mercadológicas impulsionadas pelo crescimento tem apresentado, como consequência, a degradação do ecossistema. Conjuntamente ao aumento da produção, eleva-se a extração de recursos naturais, a emissão de poluentes e a quantidade de resíduos descartados, entaves que alcançam pontos irreversíveis e indicam como prioridade a escolha dos materiais e o planejamento de processos na criação de novos produtos. Pesquisas no campo do Design e da Engenharia de Materiais apontam matérias-primas naturais e renováveis como caminho promissor para a diminuição dos impactos ambientais. Entre estes materiais, a fibra de bananeira representa alternativa sustentável como material componente de produtos devido à sua abundância e processo de extração que colabora com o próprio ciclo de crescimento da planta. Neste estudo, o objetivo principal foi analisar a aplicabilidade da fibra de bananeira na composição de revestimento decorativo produzido de modo artesanal com apoio da Associação de Mulheres Artesãs da Economia Solidária Luminense – MADESOL através de abordagens de Design guiadas pela sustentabilidade. De modo específico, os objetivos se concentraram em mapear abordagens de Design guiadas pela sustentabilidade para o desenvolvimento de produtos e sistemas de produção, identificar na literatura as propriedades da fibra de bananeira e avaliar os efeitos da passagem do tempo na qualidade, sustentabilidade e durabilidade da fibra de bananeira compondo o revestimento decorativo. Para tal, utiliza-se a abordagem metodológica *Design Science Research* estabelecida por Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2015) para a criação de artefatos apoiada pela pesquisa científica. Como resultados obtidos, comprovou-se a resistência da fibra quanto à degradação térmica até a temperatura de 200°C, apresentando apenas perda de umidade. A partir de ensaios de tração utilizando corpos de prova com revestimento novo e antigo, separados por sete anos entre as produções, demonstrou-se que o envelhecimento das fibras de bananeira não compromete as propriedades mecânicas da matéria-prima, assim como do revestimento que leva fibra de bananeira na composição. Espera-se que a presente pesquisa contribua nos estudos futuros em sistemas de beneficiamento e manejo da fibra de bananeira para aplicação em produtos físicos, processos, ou demais utilizações que somem na redução dos impactos ambientais a partir de recursos renováveis e locais.

Palavras-chave: Design de Produtos; Fibra de Bananeira; Recursos Renováveis; Sustentabilidade.

ABSTRACT

The global production of artifacts to meet market demands driven by growth has shown ecosystem degradation. Together with the increase in production, also increases the extraction of natural resources, the emission of pollutants and the amount of waste discarded, which are obstacles that reach irreversible points and indicate the choice of materials and process planning as a priority in the creation of new products. Research in the field of Design and Materials Engineering points to natural and renewable raw materials as a promising path to reducing environmental impacts. Among these materials, banana fiber represents a sustainable alternative as a component material for products due to its abundance and extraction process that collaborates with the plant's growth cycle. In this study, the main objective was to analyze the applicability of banana fiber in the composition of a modular cladding tile produced with the Association of Women Artisans of the Luminense Solidarity Economy - MADESOL through Design approaches guided by sustainability. Specific objectives focused on mapping design approaches guided by sustainability for the development of products and production systems, identifying the properties of banana fiber in the literature and evaluating the effects of time passing on the quality, sustainability and durability of the fiber that composes the modular tile. To this end, the Design Science Research methodological approach established by Dresch, Lacerda and Antunes Júnior (2015) is used for the creation of artifacts supported by scientific research. The results obtained proved the fiber's resistance to thermal manipulation up to the temperature of 200°C, showing only moisture loss. Tests with new and old fiber tiles, separated by seven years between productions, demonstrated that the aging of banana fibers does not compromise the mechanical properties of the material itself or the decorative tile made of banana fiber. It is expected, as a result, that this research contributes to future studies on banana fiber processing and management systems for application in products, processes, or other uses that help reduce environmental impacts using renewable and local resources.

Keywords: Product Design; Banana Fiber; Renewable Resources; Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS)	21
Figura 02 - Panorama evolucionário da sustentabilidade no Design	22
Figura 03 - Relação entre estratégias de LCD e etapas do ciclo de vida do produto	25
Figura 04 - Atividades do Workshop Sistema Produto-Serviço para a economia solidária	29
Figura 05 - Bananeiras em cultivo não-comercial	32
Figura 06 - Morfologia da bananeira	34
Figura 07 - Pseudocaule desbastado da bananeira	35
Figura 08 - Produtos artesanais em fibra de bananeira	36
Figura 09 - Cadeia produtiva da fibra de bananeira na MADESOL	37
Figura 10 - Produtos artesanais em fibra de bananeira	38
Figura 11 - Análise Termogravimétrica (TGA) de amostra de fibra de bananeira	42
Figura 12 - Análise termogravimétrica (TGA) e DSC de amostra de fibra de bananeira	43
Figura 13 - Etapas da pesquisa conduzida por <i>Design Science Research</i>	48
Figura 14 – Protótipos iniciais do revestimento em fibra de bananeira e papel reciclado	49
Figura 15 - Protótipos iniciais do revestimento composto de fibra de bananeira.	50
Figura 16 - Prototipagem inicial de revestimento composto de fibra de bananeira	50
Figura 17 - Esquema de input/output de processo produtivo do grupo MADESOL	52
Figura 18 - Desenho esquemático em 3D das peças do molde para revestimento	54
Figura 19 - Desenho esquemático em 3D das peças do molde para revestimento	54
Figura 20 - Fibra de bananeira depositada em molde para produção artesanal de revestimento	55
Figura 21 - Adaptação ao processo de produção artesanal do revestimento em fibra de bananeira	56
Figura 22 - Secagem em temperatura ambiente nos testes de produção do revestimento	57
Figura 23 - Peças resultantes dos primeiros testes de produção artesanal do revestimento	57

Figura 24 - Peças resultantes do segundo teste de produção de revestimento em fibra de bananeira	58
Figura 25 - Segundo teste de produção de revestimento em fibra de bananeira	59
Figura 26 - Segundo teste de produção de revestimento em fibra de bananeira	59
Figura 27 - Peças resultantes do primeiro teste de produção de revestimento após secagem	60
Figura 28 - A) Porção de fibras aglomeradas	62
Figura 28 - B) Fibras selecionadas para o ensaio	62
Figura 29 - Dispositivo de fixação das fibras para ensaio	63
Figura 30 - Fibras preparadas para teste	63
Figura 31 - Fibras preparadas para teste	64
Figura 32 - A) Posicionamento do corte dos corpos de prova nos revestimentos	65
Figura 32 - B) Corpos de prova recortados de cada revestimento	65
Figura 33 - Fixação do corpo de prova na máquina	66
Figura 34 - Análise Termogravimétrica (TGA) de amostra de fibra de bananeira	66
Figura 35 - Gráfico do ensaio de tração nas fibras	67
Figura 36 - Gráfico do ensaio de tração no revestimento antigo	68
Figura 37 - Gráfico do ensaio de tração no revestimento novo	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Propriedades físicas e mecânicas de algumas fibras	44
Tabela 02 - Fibras preparadas para teste	65
Tabela 03 - Resultados dos ensaios de tração	70

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 - Correspondências entre etapas do <i>Design Science Research</i> e objetivos da pesquisa	19
Quadro 02 - Estratégias de Design para o Ciclo de Vida de produtos	25
Quadro 03 - Definições para Sistema Produto-Serviço	27
Quadro 04 - Princípios Heurísticos de Sistemas Produto-Serviço	28
Quadro 05 - Estratégias de Design para o Comportamento Sustentável	30
Quadro 06 - Variedades de banana mais comuns no Brasil	33
Quadro 07 - Pesquisas utilizando a fibra de bananeira identificadas na RSL	40
Quadro 08 - Critérios para pesquisas conduzidas por <i>Design Science Research</i>	46
Quadro 09 - Classificações dos artefatos no <i>Design Science Research</i>	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BA	Bahia
BDTD	Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações
BoP	<i>Base of the Pyramid</i>
C2C	<i>Cradle to Cradle</i>
CDE	Centro Design Empresa
CRESOL	Centro de Referência Estadual de Economia Solidária do Maranhão
DSC	Calorimetria Exploratória Diferencial
DfS	<i>Design for Sustainability</i>
FAO	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LCD	<i>Life Cycle Design</i>
MA	Maranhão
MADESOL	Associação de Mulheres Artesãs da Economia Solidária Luminense
MEV	Microscópio Eletrônico de Varredura
MG	Minas Gerais
NIDA	Núcleo de Pesquisa em Inovação, Design e Antropologia
PE	Polietileno
PEAD	Polietileno de alta densidade
PET	Politereftalato de etileno
pH	Potencial (ou Potência) Hidrogeniônico
PHB	Poli-3-hidroxibutirato
PSS	<i>Product-Service System</i>
PVC	Policloreto de vinila
PROCAD - AM	Programa de Nacional de Cooperação Acadêmica na Amazônia
RSL	Revisão Sistemática de Literatura
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SP	São Paulo
SPS	Sistema Produto-Serviço

SPSS	<i>Sustainable Product-Service System</i> ou Sistema Produto-Serviço Sustentável
TGA	Análise Termogravimétrica
UEMG	Universidade do Estado de Minas Gerais
UFMA	Universidade Federal do Maranhão

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	14
1.1	Estrutura da pesquisa	14
1.2	Contexto	14
1.3	Problema da pesquisa	17
1.4	Objetivos	18
1.4.1	<i>Objetivo geral</i>	18
1.4.2	<i>Objetivos específicos</i>	18
1.5	Justificativa	18
1.6	Visão geral do método da pesquisa	19
2.	DESIGN DE PRODUTOS E SUSTENTABILIDADE	21
2.1	Design para o Ciclo de Vida do produto	24
2.2	Sistema Produto-Serviço Sustentável	27
2.3	Design para o comportamento sustentável	30
3.	FIBRA DE BANANEIRA	33
3.1	Aplicação da fibra de bananeira em produtos	36
3.1.1	<i>Revisão Sistemática de Literatura</i>	39
3.2	Propriedades da fibra de bananeira	44
4.	ABORDAGEM METODOLÓGICA	45
4.1	Caracterização da pesquisa	45
4.2	Seleção do método de pesquisa	46
4.3	Mapeamento de possibilidades	50
4.3.1	<i>Análise da cadeia e sistema produtivo MADESOL</i>	50
4.4	Desenvolvimento do artefato	51
4.5	Materiais e Métodos	61
4.5.1	<i>Análise Termogravimétrica (TGA) de Fibras de Bananeira</i>	61
4.5.2	<i>Caracterização mecânica da fibra, do Revestimento Antigo e do Revestimento Novo</i>	61
4.5.3	<i>Ensaio de Tração na Fibra</i>	62
4.5.4	<i>Ensaio de Tração nos Revestimentos (antigo e novo)</i>	65
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	67
5.1	Resultados da Análise Termogravimétrica (TGA) das Fibras	67
5.2	Resultados dos Ensaios de Tração nas Fibras	68
5.3	Resultados dos Ensaios de Tração no Revestimento Antigo	69
5.4	Resultados dos Ensaios de Tração no Revestimento Novo	70

6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	71
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74

1. INTRODUÇÃO

1.1 Estrutura da pesquisa

No primeiro capítulo são apresentadas as informações elementares da pesquisa, incluindo o contexto, problema da pesquisa, objetivo geral e objetivos específicos, justificativa, visão geral do método e estrutura da pesquisa.

No segundo capítulo, revisa-se a fundamentação teórica da pesquisa a respeito da sustentabilidade no Design de Produtos. Apresenta-se o levantamento bibliográfico sobre Design para o Ciclo de Vida de produtos, Sistema Produto-Serviço Sustentável e Design para o comportamento sustentável.

No capítulo três, analisa-se os dados da revisão sistemática de literatura sobre as propriedades da fibra de bananeira e sua aplicação em produtos. Neste capítulo, também são apresentados testes sobre propriedades mecânicas e térmicas do material identificados na literatura e os testes realizados no presente estudo.

No quarto capítulo, compreende-se a abordagem metodológica da pesquisa e os relatos das produções prévias do revestimento em fibra de bananeira. Nesse capítulo, também são descritos os experimentos atuais de materiais e métodos, contemplando as novas produções do produto e ensaios para avaliação das propriedades da fibra de bananeira.

No quinto e sexto capítulos, discorre-se sobre os resultados dos testes e avaliações gerados ao longo da pesquisa, bem como são apontadas as considerações para estudos futuros.

1.2 Contexto

A relação entre Design e produção de objetos se transmuta em resposta às mudanças econômicas, políticas, sociais, ambientais e comportamentais ao longo da história do mundo. No contexto da industrialização iniciada na Europa a partir do século XVIII, uma vez compreendida a possível contribuição do Design à época, este campo limitou-se a etapas pontuais do processo de produção, diferenciando-se da atividade artesanal pela concentração no pensamento projetivo, não na execução (CARDOSO, 2008). A manufatura transformou-se com o passar do tempo e, do mesmo modo, o projeto de produtos e as dinâmicas de consumo perpassaram formatos que exigem do Design, de forma crescente, visões mais abrangentes sobre o processo produtivo e o alcance dos produtos.

Avançando para o século XIX, as formas de produzir e acessar bens de consumo foram impactadas pelo sistema de produção em massa, vigente até a atualidade, difundido globalmente a partir dos meios empregados em solo norte-americano. Heskett (1998) afirma que

(...) em grande parte como resultado da Grande Exposição de 1851, o resto do mundo foi apresentado a novos métodos de fabricação nos Estados Unidos, que estabeleceram os padrões e processos fundamentais da moderna produção em massa industrial. Sua característica básica era a produção em larga escala de produtos padronizados, com partes intercambiáveis, utilizando máquinas-ferramentas numa sequência de operações mecânicas simplificadas. As implicações desse sistema, que se tornou conhecido como “sistema americano” de fabricação, não se restringiam aos métodos de produção, mas afetavam também toda organização e coordenação da produção, a natureza do processo de trabalho, os métodos de comercialização dos produtos e, não menos importante, o tipo e a forma dos artigos produzidos (HESKETT, 1998, p. 51).

Secular, o modelo de produção em massa é continuamente atualizado no aspecto tecnológico desde sua primeira apresentação como inovação fabril. Este sistema de fabricação popularizou produtos como máquinas fotográficas, móveis, ferramentas, carros e eletrodomésticos, apostando no alto volume de peças para redução do preço final ao consumidor. O então denominado Desenho Industrial servia a esta dinâmica com o papel de aprimorar visualmente os produtos, dentro dos limites técnicos de fabricação, com a intenção de provocar interesse e incentivar o consumo (HESKETT, 1998). No entanto, a fabricação em larga escala apresenta consequências com as quais o Design, antes tão subordinado a ela, tenta no presente elaborar alternativas para aperfeiçoá-la ou mesmo substituí-la.

A fabricação de produtos em escala global para atender demandas mercadológicas constantemente impulsionadas pelo crescimento apresenta como consequência a degradação do ecossistema. Junto ao aumento da produção, eleva-se a extração de recursos naturais, a emissão de poluentes e a quantidade de resíduos descartados, ações que acontecem sem o mesmo planejamento com o qual os produtos são desenvolvidos. Estes entraves se expandem a pontos irreversíveis e incitam prioridade e cuidado na escolha dos materiais e processos para criação de novos artefatos. Neste quesito, Ashby e Johnson (2011) destacam, como algumas das soluções mais ágeis para o problema ambiental, a utilização de materiais renováveis, a reciclagem, o aumento da vida útil dos produtos e a redução do uso de energia na indústria e transportes.

Os debates sobre sustentabilidade no Design, política e indústria, frequentes na contemporaneidade, têm participação recente na linha cronológica da sociedade. Datam do início dos anos 1970, ou seja, há cerca de cinquenta anos apenas, as primeiras obras publicadas e congressos internacionais cujo cerne atingia explicitamente os problemas causados ao ecossistema do planeta. No começo do século XX, Ignacy Sachs (2009) fomentava a discussão sobre biodiversidade e desenvolvimento sustentável do ponto de vista do crescimento econômico. Porém, ao longo da última década, pesquisadores como Arturo Escobar (2016; 2018) e Carlo Vezzoli *et al* (2022) contribuíram para o protagonismo de pautas anteriormente deixadas em segundo plano, como todos os atores envolvidos nas localidades onde o Design se propõe a

trabalhar; os saberes tradicionais presentes em cada cultura; os recursos naturais, materiais e redes específicos de territórios; a complexidade e extensão temporal dos impactos causados pelo sistema de execução de um produto ou serviço; entre outros tópicos.

O fator tempo e consumo, nesta discussão sobre estratégias eficazes para a sustentabilidade, recebe merecida ênfase entre pesquisadores desta temática. Conforme Ashby e Johnson (2011) também pontuam, ações eficazes para o meio-ambiente devem ser desenvolvidas para intervalos de tempo mais longos, além do período de utilização de produtos, em complemento às possibilidades mais imediatas relacionadas a materiais e processos. Tal reflexão foi explicitada por Manzini e Vezzoli (2008) ao defenderem que, para a efetiva transformação no modo como matérias-primas são utilizadas e descartadas, as substituições na composição de produtos devem ser acompanhadas de modificações no modelo de desenvolvimento econômico contemporâneo e no ideal de bem-estar construído pelo ser humano. Portanto, para que ocorra o equilíbrio ambiental fruto da sustentabilidade como objetivo, necessita-se uma mudança cultural que atinja as relações entre as pessoas e o consumo.

O Design em sua interdisciplinaridade, apesar de atravessar operações de mercado, não alcança por completo os meios para exercer mudanças profundas e necessárias neste campo a partir da criação de produtos guiados pela sustentabilidade. Contudo, muito pode ser aperfeiçoado quando se ultrapassa o método de desenvolvimento que enfoca somente o objeto em sua função e contexto de uso primários. Logo, designers devem expandir suas visões para o planejamento projetual como um todo, englobando comportamentos do usuário e o ciclo de vida dos produtos para prever o descarte adequado dos materiais, o desmonte e reutilização de peças e o aumento da vida útil dos artefatos (CARDOSO, 2008). A transição para uma perspectiva metodológica mais ampla ou pensamento sistêmico, nas palavras de Cardoso (2013), é apontada pelo autor como contribuição mais significativa do Design em resposta à complexidade das questões globais contemporâneas.

Parte dos esforços em torno da sustentabilidade ambiental se dá na pesquisa e aplicação de materiais de origem natural e renovável, que sejam inofensivos ao meio-ambiente e se decomponham em menos tempo. Os campos da Ciência e da Engenharia dos Materiais se ocupam em testar novos materiais com propriedades e custos que se equiparem aos já conhecidos polímeros, metais e cerâmicas. Se escolhidos corretamente, os materiais podem colaborar no controle de danos ambientais inclusive nos processos de extração, refinamento e descarte de substâncias no decorrer da fabricação (CALLISTER JR., 2008). Os polímeros provenientes do petróleo, em especial, estão no centro destes estudos por comporem produtos de uso único que são descartados em grandes volumes diariamente, levando décadas para se reintegrarem ao meio-ambiente.

Outro tipo de material em destaque nas pesquisas científicas é o compósito, não só pela alteração significativa que apresenta nas propriedades que o formam, mas também pela

possibilidade de influência no impacto ambiental de produtos fabricados com esse material. Compósitos, conforme definição de Callister Jr. (2008), são combinações de uma fase matriz (funcionando como uma base) e uma fase dispersa (funcionando como um reforço), resultando em um material multifásico de desempenho aprimorado.

Materiais poliméricos como polietileno de alta ou baixa densidade, poliestireno, polihidroxibutirato, amido e outros são utilizados como matrizes de compósitos que, como reforço, podem receber principalmente as fibras sintéticas, entre diversos outros materiais. Pesquisas recentes têm destacado o uso de fibras vegetais como alternativa às sintéticas no reforço de compósitos devido ao baixo custo, à facilidade no acesso, por serem biodegradáveis, atóxicas e renováveis. Entre as fibras estudadas, se sobressaem as fibras de coco, como nas pesquisas conduzidas por Wearn, Montagna e Passador (2020); as fibras de jupati, estudadas por Santos e Jardim (2019); as fibras de sisal, testadas por Banna *et al* (2015); também as fibras de buriti, pesquisadas por Sousa e Perpétuo (2016); assim como as fibras do pseudocaule da bananeira, avaliadas por Silva (2018).

Nesta pesquisa, a fibra de bananeira (*Musa acuminata* e *Musa balbisiana*) recebe destaque dentro da abundante variedade de matérias-primas vegetais biodegradáveis existentes no Brasil que são consideradas na composição de artefatos. Pretende-se, portanto, dar ênfase à análise da fibra de bananeira pelo seu potencial em destaque entre os materiais orgânicos disponíveis, tendo como ponto de interesse a aplicação desta fibra na composição de produtos. Neste âmbito, para atender à janela de tempo da pesquisa e facilitar a geração de dados mais coerentes e concisos, define-se como produto principal nos testes um revestimento decorativo feito majoritariamente em fibra de bananeira, contando, para isso, com o apoio das artesãs da Associação de Mulheres Artesãs da Economia Solidária Luminense – MADESOL na produção de protótipos. Para embasar teoricamente os testes, apoia-se em abordagens de Design guiadas pela sustentabilidade e espera-se, conjuntamente, respaldar a demanda por perspectivas sustentáveis em projetos de produtos que considerem matérias-primas, grupos produtivos e recursos locais, enfatizando o potencial destes.

1.3 Problema da pesquisa

Como produzir um artefato com baixo impacto ambiental aproveitando materiais renováveis e redes produtivas locais?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo geral

Analisar a aplicabilidade da fibra de bananeira na composição de revestimento decorativo produzido de modo artesanal com apoio da Associação de Mulheres Artesãs da Economia Solidária Luminense – MADESOL por meio de abordagens de Design guiadas pela sustentabilidade.

1.4.2 Objetivos específicos

- I. Mapear abordagens de Design guiadas pela sustentabilidade para o desenvolvimento de produtos e sistemas de produção;
- II. Identificar na literatura as propriedades da fibra de bananeira;
- III. Avaliar a dinâmica temporal das propriedades da fibra de bananeira em revestimento decorativo, em uma comparação ao longo do tempo para avaliação de sustentabilidade e durabilidade.

1.5 Justificativa

Produtos ainda são peças centrais no modelo econômico vigente e, majoritariamente, são produzidos em escala industrial seguindo metodologias que podem falhar na apreensão, discussão e resposta à complexidade dos problemas ambientais. Através dos artefatos, são estabelecidas trocas entre estes e as pessoas, com as pessoas entre si e com as pessoas e o meio onde se encontram, dinâmica que pode influenciar nos hábitos individuais e normas sociais coletivas acerca de temáticas variadas, inclusive nos comportamentos referentes à preservação de recursos naturais e outras demandas de sustentabilidade.

No Design, os enfoques para sustentabilidade transformam-se, evoluem e coexistem, estabelecendo uma rede que integra estratégias diversas e necessárias à erradicação de entraves ambientais, sociais e econômicos. Sobre esta circunstância, Vezzoli *et al* (2022) referem-se ao *Design for Sustainability (DfS)*, ou Design para Sustentabilidade em tradução livre, como abordagem emergente. Os autores comentam que

De fato, o *DfS* ampliou seu escopo teórico e prático, expandindo progressivamente da seleção de materiais/recursos para a inovação de um único produto, para a inovação do sistema. Da dimensão ambiental à dimensão econômica e socioética.

Em segundo lugar, um foco maior nos aspectos da sustentabilidade centrados nas pessoas pode ser observado. De fato, as primeiras abordagens de *DfS* focaram principalmente nos aspectos técnicos da

sustentabilidade. Enquanto abordagens mais recentes têm reconhecido a importância crucial do papel dos usuários, comunidades e dinâmicas sociais nos sistemas sociotécnicos.

Por fim, pode-se fazer uma consideração sobre a importância de cada abordagem *DfS*. Mesmo que seja verdade que a sustentabilidade deva ser abordada no nível do sistema, isso não significa que as abordagens focadas na seleção de recursos ou nos níveis de inovação de produtos sejam menos úteis. Quaisquer novos sistemas sociotécnicos são, de qualquer forma, caracterizados por um material e dimensões do produto que precisam ser adequadamente projetados. Assim, cada abordagem *DfS* é igualmente importante porque enfrentar os desafios de sustentabilidade requer um conjunto integrado de abordagens *DfS* abrangendo vários níveis de inovação (VEZZOLI *et al*, 2022, p. 34).

A presente dissertação parte de reflexões sobre as contribuições do Design no desenvolvimento de produtos guiados pela sustentabilidade, em objeção à ação deste campo de, em sua origem, reforçar a fabricação em larga escala e a exploração de recursos sem planejamento adequado. Neste trabalho, além dos questionamentos sobre os produtos e suas matérias-primas, tempo de uso, aplicabilidade, manutenção e reutilização, busca-se conhecer na prática o comportamento da fibra de bananeira aplicada em um revestimento decorativo, observando do ponto de vista técnico e considerando variações dentro de tempos diferentes de produção.

Esta pesquisa é uma proposta de continuidade ao trabalho realizado anteriormente, cujo objetivo era o desenvolvimento de revestimento decorativo em fibra de bananeira executado utilizando a metodologia projetual de Design com foco no produto físico. Contudo, por meio das vivências prévias na aplicação de um método mais condizente com a fabricação industrial em um contexto de atividade artesanal, identificou-se a carência por procedimentos mais alinhados à produção manual e aos critérios de sustentabilidade considerando o material, a região produtiva e os indivíduos envolvidos no processo.

Para alcançar os questionamentos levantados na atual pesquisa, apoiou-se nas considerações sobre Design para o Ciclo de Vida de um produto sustentável desenvolvidas por Manzini e Vezzoli (2008) e nos direcionamentos sobre o desenvolvimento de Sistemas Produto-Serviço Sustentáveis levantados por Vezzoli, Kohtala e Srinivasan (2018) e Vezzoli *et al* (2022). A partir deste aporte teórico buscou-se, inicialmente, o desenvolvimento de um sistema produtivo para o revestimento, almejando a criação de produtos e serviços correlacionados. No entanto, apesar da intenção de trabalhar um conjunto de atividades abarcando itens tangíveis e intangíveis relacionados ao artefato, a pesquisa seguiu o caminho de focar no estudo da fibra de bananeira, do ponto de vista das propriedades e possibilidades materiais de aplicação da matéria-prima em produtos, considerando as ferramentas e estratégias obtidas através das abordagens teóricas de Design e sustentabilidade.

1.6 Visão geral do método da pesquisa

Esta pesquisa foi realizada em três macro etapas, correspondentes às fases iniciais da *Design Science Research*, a metodologia selecionada para este estudo e apresentada por Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2015). Na primeira etapa, realizou-se levantamento das bases teóricas para contextualização do problema na literatura, considerando a sustentabilidade no desenvolvimento de produtos, no consumo, no uso de materiais e em processos produtivos.

A segunda etapa consistiu em uma revisão bibliográfica sobre as propriedades da fibra de bananeira e a aplicação desta fibra como reforço de materiais compósitos poliméricos na composição de produtos. Buscou-se conhecer em maior profundidade o material em si mesmo e os estágios de pesquisas brasileiras realizadas na última década nos campos do Design de Produtos e da Engenharia de Materiais. Nesta etapa também se efetuou testes para avaliação de propriedades mecânicas e térmicas da fibra de bananeira e de compósitos poliméricos com fibra de bananeira, intencionando estabelecer parâmetros técnicos de qualidade para comprovar a efetividade da aplicação do material no produto idealizado ou mesmo em produtos alternativos.

Como atribuição essencial para a presente pesquisa, a fibra de bananeira enquanto material constituinte de produtos pôde ser estudada em seu caráter técnico durante missão de estudos da qual a pesquisadora fez parte. Entre maio e setembro de 2022, testou-se amostras de fibra de bananeira combinadas ao polietileno (PE) para viabilização de compósito polimérico. As atividades foram desempenhadas a partir da estrutura oferecida pelo Centro Design Empresa - CDE do Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade do Estado de Minas Gerais - UEMG através do Programa de Nacional de Cooperação Acadêmica na Amazônia - PROCAD.

Na terceira etapa, elaborou-se o mapeamento de estratégias e um planejamento através de princípios do SPSS na metodologia *Design Science Research* para desenvolvimento do revestimento em fibra de bananeira a ser realizado com o apoio grupo de artesanato Mulheres Artesãs da Economia solidária Luminense - MADESOL em Paço do Lumiar, Maranhão, considerando os aparatos disponíveis e a dinâmica de trabalho deste grupo. As correspondências entre as fases da metodologia proposta e os objetivos da pesquisa estão organizadas no Quadro 01 a seguir.

Quadro 01: Correspondências entre etapas do *Design Science Research* e objetivos da pesquisa.

Etapas do método <i>Design Science Research</i>	Objetivos específicos da pesquisa
- Identificação do problema; - Conscientização do problema;	I. Mapear abordagens de Design guiadas pela sustentabilidade para o desenvolvimento de produtos e sistemas de produção
- Revisão Sistemática de Literatura;	II. Identificar na literatura as propriedades da fibra de bananeira
- Identificação dos artefatos e configuração das classes de problemas; - Proposição de artefatos para resolver o problema específico; - Desenvolvimento e avaliação do artefato - Explicitação das aprendizagens.	III. Avaliar a dinâmica temporal das Propriedades da Fibra de Bananeira em Revestimento Decorativo, em uma comparação ao longo do tempo para avaliação de sustentabilidade e durabilidade

Fonte: Organizado pela autora.

Dado o cronograma da pesquisa, as etapas finais do método *Design Science Research*, que vão da produção à comunicação dos resultados conforme descrito no tópico 4.2, são sugeridas para desenvolvimento futuro por meio de pesquisas complementares.

2. DESIGN DE PRODUTOS E SUSTENTABILIDADE

O prejuízo ambiental decorrente da exploração de recursos naturais levou alguns anos para ser percebido de forma explícita pela sociedade. Os efeitos negativos no ecossistema desencadeados por décadas de industrialização e pelas crises políticas e econômicas só começaram a ser motivo de alerta em meados dos anos 1960, quando o desequilíbrio ambiental se elevava descontroladamente. Surgiram, então, as primeiras avaliações em diferentes setores - sociedade civil, governos e organizações sem fins lucrativos - sobre os erros cometidos neste domínio e as possíveis soluções (CAVALCANTI; ARRUDA; NONATO, 2017).

No entanto, apenas a partir dos anos 1970 a preocupação sobre os entraves ecológicos se expandiu para todo o globo, culminando na Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente Humano, ocorrida em Estocolmo, Suécia, no ano de 1972. O evento tornou-se um marco histórico por ser o primeiro a propor que as discussões sobre sustentabilidade estivessem no centro dos compromissos das nações pelo mundo. Vinte anos depois, em 1992, acontecia no Rio de Janeiro, Brasil, a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (Rio 92) com a presença de chefes de Estado e a criação de um plano de ação chamado Agenda 21. Neste documento, foram organizadas diretrizes para o alcance da sustentabilidade global dentro do desenvolvimento sustentável (CAVALCANTI; ARRUDA; NONATO, 2017).

Ao longo de duas décadas após a conferência no Brasil, outros encontros de líderes políticos aconteceram em diferentes cidades do mundo com a apresentação de planos de ação focados em práticas de sustentabilidade, até que em 2015 houve o lançamento da Agenda 2030

para o Desenvolvimento Sustentável, vigente na atualidade. Divulgada em Nova York, Estados Unidos, durante a Cúpula da Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável, a Agenda 2030 reúne os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), endereçados aos obstáculos mundiais de inequidade, fome, impactos climáticos, acesso a recursos, entre outros (VEZZOLI *et al*, 2022). A Figura 01 a seguir ilustra os objetivos discutidos.

Figura 01: Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS).



Fonte: United Nations (2023).

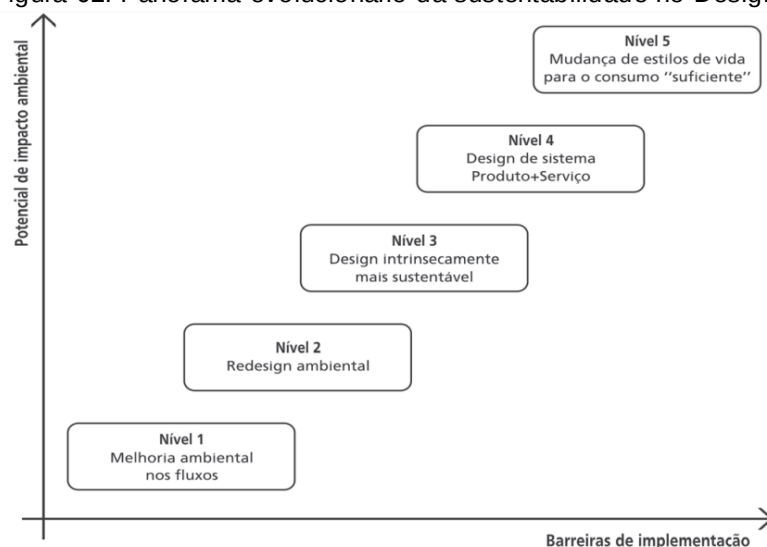
Trazendo a cronologia da sustentabilidade para o Design, as estratégias para manutenção dos recursos ambientais através deste campo passaram por evoluções em amplitude e natureza de seu foco. No levantamento histórico apresentado por Vezzoli *et al* (2022), ações projetuais que anteriormente se direcionavam aos impactos da degradação, ou seja, a ocorrências posteriores ao uso de materiais e recursos, passaram a tratar das etapas prévias dos processos produtivos como forma de prevenção aos danos no meio ambiente. Tratando-se da abrangência, com o passar do tempo, a ênfase do Design começa a abarcar a gestão dos recursos, de sistemas de produção e a participação dos indivíduos, administrando também carências dos âmbitos social e econômico além do ambiental.

Nos anos 1970, as publicações intituladas em livre tradução “Design para um mundo real” (PAPANEK, 1973) e “A esperança projetual” (MALDONADO, 1971), foram as primeiras a explicitar preocupações sobre temáticas ambientais e sociais endereçadas especificamente ao Design. Na Europa e América do Norte da década de 90, a concepção de produtos recebia novas abordagens a partir de publicações apresentando, inicialmente, técnicas para repensar características pontuais nos objetos. Estas proposições evoluíram para o planejamento dos estágios de produção e consumo de recursos, estabelecendo enfoques como o Design para o

Ciclo de Vida do produto (em inglês, *Life Cycle Design* ou *LCD*), o Ecodesign, o Design para a Sustentabilidade Ambiental do produto (em inglês, *Design for Sustainability* ou *DfS*) e o Design do Berço ao Berço (em inglês, *Cradle to Cradle* ou *C2C*). A partir dos anos 2000, as demandas socioeconômicas aos projetos em Design são enfatizadas nos estudos sobre a Base da Pirâmide (em inglês, *Base of the Pyramid* ou *BoP*), Design Sistêmico e, por fim, no Design de Sistema Produto-Serviço Sustentável aplicado a Economias Distribuídas, a abordagem mais recente sobre o papel do Design em contextos produtivos considerando recursos e redes locais em territórios (VEZZOLI *et al*, 2022).

Santos (2013), por sua vez, apresenta a relação entre Design e sustentabilidade em um panorama evolucionário, associando o potencial de impacto ambiental às barreiras para implementação em projetos, conforme observa-se na Figura 02. Nesta perspectiva, os níveis iniciais da escala correspondem a características mais tangíveis, como os materiais e os processos fabris para produtos, cuja implantação requisita mudanças menos bruscas no funcionamento convencional da indústria e do mercado. Os esforços dentro destes primeiros níveis contribuem principalmente na redução do volume de recursos consumidos a curto e médio prazo.

Figura 02: Panorama evolucionário da sustentabilidade no Design.



Fonte: SANTOS (2013, p. 20).

O quarto e quinto níveis da escala, contudo, remetem a estratégias que tiram de foco os atributos materiais das soluções em Design, concentrando-se na proposição do desenvolvimento de serviços em detrimento de produtos, bem como articulações mais disruptivas que modifiquem estilos de vida para prover hábitos de consumo mais saudáveis do ponto de vista ambiental com desdobramentos sociais e econômicos. Estas estratégias encontram maior resistência à implementação por afetarem concepções simbólicas em torno da posse de bens materiais e do conceito de bem-estar individual, conforme Santos (2013) indica que

Talvez o desafio maior para a implementação de um design verdadeiramente sustentável, particularmente as ações do nível 5, é a percepção da maioria das pessoas de que aumento na qualidade de vida implica necessariamente em aumento da renda e no uso de recursos naturais e tecnologia. (...) A não consideração de aspectos chave ao desenvolvimento sustentável, como a equidade social e ambiental, por exemplo, tem revertido em detrimento da própria satisfação e felicidade das pessoas que têm elevado consumo. A violência e a poluição nas grandes cidades são exemplos de decorrências das deficiências na equidade social e ambiental da sociedade, afetando indiscriminadamente todos os indivíduos, não importa o extrato socioeconômico a que pertençam (SANTOS, 2013, p. 28-29).

Nos tópicos seguintes deste capítulo, analisa-se três abordagens que se comunicam com os diferentes níveis de contribuição do Design para a sustentabilidade com ênfase na dimensão ambiental, sendo eles o Design para o Ciclo de Vida do produto, Sistema Produto-Serviço Sustentável e Design para o comportamento sustentável. Busca-se delinear a partir da literatura as principais diretrizes projetuais em cada estratégia para compreensão do grau de eficiência dos efeitos que cada abordagem provoca. Dado o objetivo desta pesquisa, a temática de Sistema Produto-Serviço Sustentável será aprofundada na sessão referente à abordagem metodológica considerando sua aplicação no presente estudo.

2.1 Design para o Ciclo de Vida do produto

O crescimento populacional acelerado combinado ao uso irresponsável de recursos naturais no suprimento das necessidades de consumo são tópicos importantes nas discussões globais sobre sustentabilidade. É de amplo entendimento que os limites de regeneração de ecossistemas já foram extrapolados e, como resposta inicial a esse problema, o conceito de desenvolvimento sustentável cunhado no documento “Nosso futuro comum” (*Our Common Future*), de autoria da Comissão Mundial para o Ambiente e o Desenvolvimento, vem sendo debatido desde a Conferência das Nações Unidas sobre Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro em 1992. O conceito, apesar de não fornecer indicativos relevantes de como solucionar os entraves, explicitava a problemática existente na reprodução dos modelos econômicos de países considerados ricos em nações consideradas menos desenvolvidas, perpetuando padrões de consumo impraticáveis com elevada fabricação de produtos, emissão de poluentes na atmosfera e alta geração de lixo (MANZINI, 2008).

O desenvolvimento sustentável, apesar de chamar atenção para uma referência de riqueza de difícil manutenção, não questionava os obstáculos às soluções verdadeiramente sustentáveis, que, de acordo com Manzini (2008), estariam no volume de produtos e na quantidade de recursos consumidos para a produção destes produtos. Para o autor, práticas mais eficazes em sustentabilidade ambiental e social serão exercidas a partir da transição para um modelo diferente de sociedade por meio da descontinuidade sistêmica, o que requer um

longo processo de aprendizagem social para que os níveis de consumo e produção sejam reduzidos. Neste novo modelo sustentável, os parâmetros de bem-estar precisam ser ajustados, uma vez que “são ideias que operam como atrativos sociais capazes de estimular e direcionar ações tanto do lado da demanda quanto da oferta de produtos e serviços” (MANZINI, 2008, p. 27).

Os produtos, portanto, são elementos de destaque no sistema econômico vigente pois estabelecem conexões imediatas com o consumidor nas esferas simbólica, funcional e emocional, mostrando grande capacidade de influência na rotina e comportamentos das pessoas. Não à toa, são as primeiras interfaces trabalhadas pelo Design quando há intenção de informar e encorajar novos hábitos pautados pela sustentabilidade. O desempenho, eficácia e impacto ambiental dos produtos respondem diretamente aos materiais que os compõem, o que configura, portanto, área de interesse crescente no Design de Produtos e Engenharias sobre as origens, propriedades, e métodos de beneficiamento e de reintegração ao meio ambiente dessas matérias-primas.

Kindlein Júnior e Cândido (2013) reforçam a importância da seleção correta de materiais para sanar entraves de projeto, bem como a necessidade de um diálogo entre designers e engenheiros no desenvolvimento de produtos, incluindo aqueles que atendem ao propósito da sustentabilidade. Visões projetuais complementares são capazes de colaborar na fase de planejamento de produtos ao priorizarem a escolha de materiais que facilitem a manutenção, que ampliem o tempo de vida do artefato e permitam economia de recursos no processo produtivo.

Diante destas considerações, incorpora-se o conceito de ciclo de vida de um produto, que, conforme apresentado por Manzini e Vezzoli (2008), pode ser interpretado como um grupo de “trocas (*input* e *output*) entre o ambiente e o conjunto dos processos que acompanham o ‘nascimento’, ‘vida’ e a ‘morte’ de um produto” (MANZINI; VEZZOLI, 2008, p.91). Em todas as ações desse processo, há absorção e emissão de matéria e energia provocando transformações diversas. Os autores agrupam, ainda, o ciclo de vida nas seguintes etapas: pré-produção, produção, distribuição, uso e descarte.

Para que as contribuições do Design para a sustentabilidade sejam muito mais proveitosas em relação à produção de produtos, prova-se inteligente do ponto de vista da prevenção de danos ambientais adotar estratégias dedicadas a pensar o produto como um sistema, uma unidade, a fim de identificar e medir os impactos presentes em cada tarefa. Esta abordagem sistêmica é denominada *Life Cycle Design (LCD)*, traduzida livremente como Design para o Ciclo de Vida, cujo objetivo é diminuir ao mínimo possível as implicações que os materiais e energia despendidos no processo de produção de um objeto podem ocasionar ao ecossistema. Vale ressaltar que, neste enfoque, designers trabalham em conjunto com setores complementares, como marketing e gestão; com profissionais diversos, como fornecedores, recicladores,

funcionários de órgãos públicos e distribuidores; e também com o próprio usuário do produto (MANZINI, VEZZOLI, 2008).

No Design para o Ciclo de Vida de bens duráveis e de consumo sugere-se o desenvolvimento das estratégias descritas no Quadro 02 abaixo.

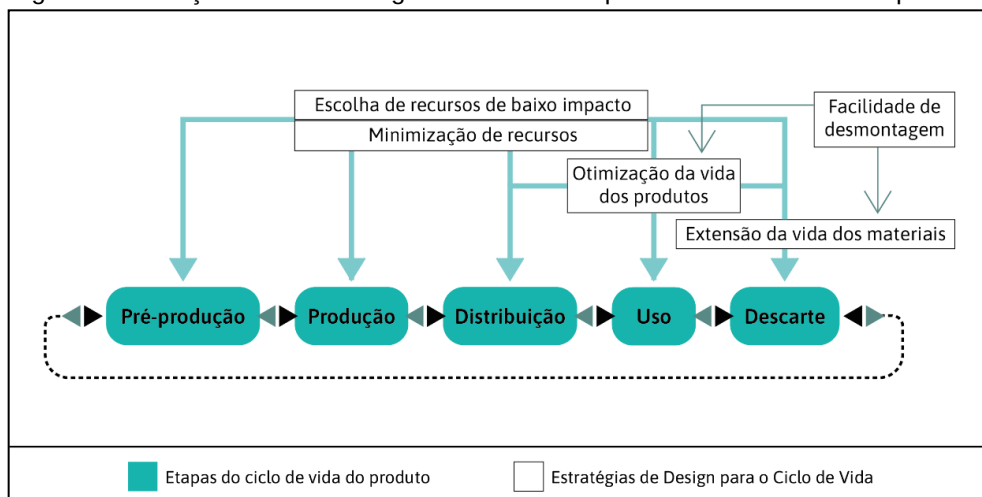
Quadro 02: Estratégias de Design para o Ciclo de Vida de produtos.

Estratégias	Descrições
Minimização dos recursos	Diminuir o consumo de matéria e energias em todas as fases do ciclo de vida de um produto e dos serviços oferecidos pelo produto. Exemplos: minimizar a composição material de um produto; minimizar a quantidade de embalagens; projetar produtos de uso coletivo; entre outros.
Escolhas dos recursos e processos de baixo impacto ambiental	Selecionar materiais e fontes energéticas com baixo impacto ambiental ao longo das funções e serviços oferecidos. Exemplos: evitar aditivos que causam emissões tóxicas; usar materiais renováveis e biodegradáveis; usar materiais provenientes de refugos de processos produtivos; entre outros.
Otimização da vida dos produtos	Aumentar a durabilidade dos produtos e promover a intensificação do uso dos produtos. Exemplo: evitar materiais permanentes para funções temporárias; projetar vidas iguais para vários componentes; projetar para a manutenção ser fácil no próprio local de uso; entre outros.
Extensão da vida dos materiais	Projetar o reprocessamento e reutilização dos materiais em mais de um produto, tanto como matéria-prima quanto como fonte energética. Exemplos: escolher materiais compatíveis com tecnologias de reciclagem mais eficientes; evitar acabamentos de difícil remoção; usar materiais degradáveis em relação ao ambiente de despejo; entre outros.
Facilidade de desmontagem	Projetar o desmembramento de componentes e separação dos materiais de um produto. Exemplos: adotar estruturas modulares; minimizar o número de fixações; tornar desmontáveis partes que são mais suscetíveis à quebra e desgaste; entre outros.

Fonte: Organizado pela autora a partir de Manzini e Vezzoli (2008).

Manzini e Vezzoli (2008, p. 106) relacionam cada estratégia a etapas particulares do ciclo de vida do produto, sendo que as duas primeiras se destacam por influenciarem o processo por completo, conforme ilustrado na Figura 03. Nesta relação, a facilidade de desmontagem corresponde diretamente à otimização da vida dos produtos e à extensão da vida dos materiais, cujas contribuições são percebidas mais fortemente nas fases finais da vida do produto.

Figura 03: Relação entre estratégias de LCD e etapas do ciclo de vida do produto.



Fonte: Organizado pela autora a partir de Manzini e Vezzoli (2008).

Na presente pesquisa, as estratégias do Design para o Ciclo de Vida foram acionadas para a concepção de um revestimento modular e influenciaram diretamente na seleção da fibra de bananeira como matéria-prima principal. Os critérios são norteadores para as características de forma, utilização, produção e distribuição do produto, sendo que a escolha dos recursos e processos de baixo impacto ambiental e a extensão de vida dos materiais foram estratégias enfatizadas ao optar-se por um recurso renovável local abundante na composição do revestimento.

2.2 Sistema Produto-Serviço Sustentável

Na classificação organizada por Santos (2013), o planejamento de produtos e serviços conjuntamente é uma estratégia de inovação em Design com elevada contribuição para a redução dos impactos ambientais. Todavia, estes sistemas encontram como principal dificuldade para sua implantação a mudança comportamental e cultural dos consumidores, já que se tratam de propostas diferentes para o consumo de bens físicos, propondo a desmaterialização das soluções (serviços em oposição aos produtos) e a desestruturação da noção de posse (uso coletivo e compartilhamento no lugar do uso individual). Apesar de demandar equipes maiores e mais experientes para implementação, no contexto empresarial esta estratégia oferece retornos positivos pois pode influenciar em soluções inovadoras que consolidem novos mercados e fortaleçam as relações com os consumidores a longo prazo, elevando a qualidade das atividades executadas.

No final dos anos 1990, as primeiras discussões sobre *Product-Service System* (PSS), traduzido do inglês como Sistema Produto-Serviço (SPS), começaram a despontar na literatura europeia como modo de inovar em negócios no contexto industrial. Desde então, alguns autores se dispuseram a definir esta abordagem, conforme levantamento realizado por Vezzoli, Kohtala

e Srinivasan (2018) apresentado no Quadro 03. Os autores também notam que, em parte, as inovações propostas pelo SPS são evoluções aprofundadas dos critérios estabelecidos pelo Design para o Ciclo de Vida, que já propunha o redesenho de sistemas de produção.

Quadro 03: Definições para Sistema Produto-Serviço.

Autor	Ano	Definição
Goedkoop, van Halen, te Riele, Rommens	1999	Um Sistema Produto-Serviço (ou a combinação de produtos e serviços) é um conjunto de produtos e serviços comercializáveis, que em conjunto são capazes de satisfazer as necessidades do cliente. [...] O PSS pode trazer benefícios para o meio ambiente em combinação com a criação de um (novo) negócio.
Mont	2002	PSS é um sistema de produtos, serviços, rede de atores e infraestrutura de apoio, que busca continuamente ser competitivo, satisfazer as necessidades do cliente e ter um impacto menor do que os modelos tradicionais de negócios.
UNEP: Manzini, Vezzoli	2002	Resulta de uma estratégia de inovação que muda o centro do negócio do projeto (design) e venda de produtos (física) para sistemas que oferecem produtos e serviços capazes de satisfazer a demanda.
Brandstotter	2003	PSS é um produto material somado a serviços intangíveis concebidos e combinados de modo que, ambos, em conjunto, são capazes de satisfazer uma necessidade específica do cliente. Além do mais, um PSS pode atingir metas sustentáveis.
EU, MEPPS: Van Halen <i>et al.</i>	2005	Resulta de uma estratégia de inovação, focado na concepção e venda de um sistema de produtos e serviços que são conjuntamente capazes de satisfazer uma demanda específica do consumidor.
Baines <i>et al.</i>	2007	PSS é uma oferta integrada de produto e serviço, que fornece um valor. Um PSS oferece a oportunidade de dissociar sucesso econômico do consumo de materiais e, assim, reduzir o impacto ambiental da atividade econômica.
UNEP: Tischner, Vezzoli	2009	Sistema de produtos e serviços (somado à infraestrutura), que de forma conjunta lida com as necessidades e demandas dos consumidores de modo mais eficiente, com melhor valor para as empresas e os clientes, comparada com a oferta de somente produtos [...]. PSS pode dissociar a criação de valor do consumo de materiais e energia e, assim, reduzir significativamente o impacto ambiental no ciclo de vida de produtos tradicionais.

Fonte: VEZZOLI; KOHTALA; SRINIVASAN (2018).

Segundo Vezzoli, Parra e Kohtala (2021), classifica-se SPS em três categorias, sendo elas: SPS orientado ao produto; SPS orientado ao uso; e SPS orientado ao resultado. Todos estes tipos constituem alternativas ecoeficientes em diferentes níveis. Na primeira categoria, o sistema concede valor às fases do ciclo de vida de um produto a partir de serviços que complementam o objeto e uso, tais quais manutenções, reparos e coletas para reaproveitamento. Na segunda categoria, a satisfação do usuário é priorizada contando com plataformas, ferramentas e produtos que atendam a uma demanda específica e que, portanto, permite que o usuário só opere o produto quando necessário. Na terceira categoria, são oferecidos serviços personalizados e integrados em um conjunto de itens onde o usuário não detém nem opera produtos, alcançando satisfação através do resultado fornecido pelos serviços.

Quando um SPS alcança níveis de contribuição originados por exigências de sustentabilidade, cujo peso tenha tanto valor quanto as inclinações competitivas que o acionam para retorno financeiro e de posicionamento de mercado, é então reconhecido como um Sistema

Produto-Serviço Sustentável (SPSS) ou, em inglês, como *Sustainable Product-Service System* (SPSS), por seu potencial de influência positiva no meio ambiente e em medidas de equidade social. Como benefícios, um SPSS pode trazer a extensão do tempo de vida de produtos; aumento do uso de produtos; minimização do consumo de recursos; renovação dos recursos; prolongamento da vida dos materiais; e diminuição da toxicidade e nocividade em emissões, materiais e produtos (VEZZOLI; PARRA; KOHTALA, 2021).

No Brasil, segundo Vezzoli, Kohtala e Srinivasan (2018), a operação de Sistemas Produto-Serviço é recorrente entre negócios, consumidores e setores do governo, porém uma grande parcela acontece fora de um processo sistematizado de Design guiado pela sustentabilidade. Tal circunstância afeta o alcance de soluções favoráveis aos setores social, ambiental e econômico, podendo até mesmo resultar em impactos negativos. Os autores atentam para a ausência de programas aprofundados de formação em Design de Serviços no país que ofereçam condições para a capacitação de profissionais e pesquisadores nesta área. Contudo, apesar do setor de serviços representar ampla fatia no desempenho econômico brasileiro, as políticas estatais e a indústria ainda priorizam investimentos à manufatura e ao consumo de artefatos.

Dado o potencial de contribuição do SPS para a inovação em diversas frentes, discute-se a validade de sua aplicação fora do contexto empresarial capitalizado por representar uma abordagem facilitadora para a ecoeficiência e equidade social. Argumenta-se que um SPS, pelo foco em serviços muito mais do que em produtos, promoveria a redução dos custos e da exploração de materiais, bem como estruturaria redes de trabalho que fortaleceriam economias locais. Por esta razão, localidades com baixa concentração de recursos financeiros, como as inúmeras situadas no Brasil, poderiam se beneficiar com a implantação de SPS's, conforme expressam Vezzoli, Kohtala e Srinivasan (2018). Os autores apresentam, ainda, alguns princípios norteadores para o desenvolvimento de SPS's pautados pela sustentabilidade em contextos economicamente emergentes, como pode ser observado no Quadro 04.

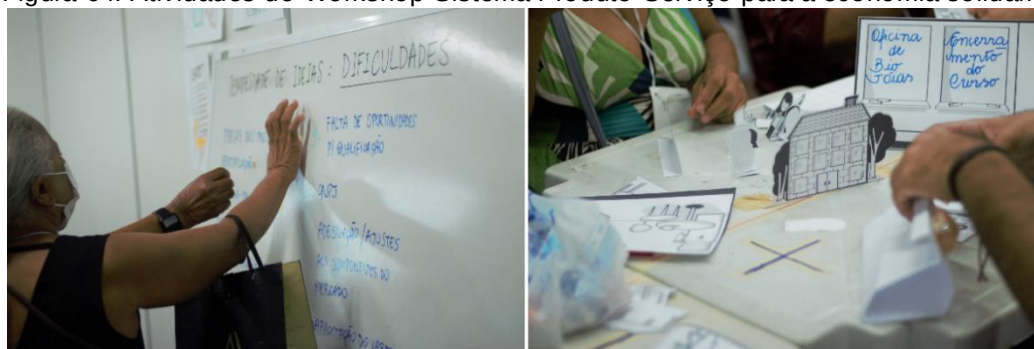
Quadro 04: Princípios Heurísticos de Sistemas Produto-Serviço.

Princípios Heurísticos de Sistemas Produto-Serviço	
Para a Ecoeficiência	Otimização de vida do sistema; Redução do transporte/distribuição; Minimização de recursos; Minimização/valorização dos resíduos; Preservação/biocompatibilidade dos Recursos; Redução da toxidade.
Para a Equidade e Coesão Social	Melhorar as condições de emprego e trabalho; Melhorar a equidade e a justiça na relação entre stakeholders; Instrumentalizar o consumo responsável e sustentável; Favorecer e integrar os frágeis e marginalizados; Melhorar a coesão social; Fortalecer e valorizar os recursos locais.
Para a Viabilização Econômica	Promover a Economia Local; Fortalecer e Valorizar Recursos Materiais Locais; Promover as Organizações em Rede; Valorizar e Reintegrar Resíduos.

Fonte: Elaborado pela autora a partir de Vezzoli, Kohtala e Srinivasan (2018).

Vale citar, em conexão aos impactos positivos que a implantação de SPS's pode articular em contextos fora da indústria, o papel da cocriação. Designers precisam considerar todos os integrantes do quadro que demanda o sistema (VEZZOLI; KOHTALA; SRINIVASAN, 2018), especialmente quando o contexto em questão corresponde a iniciativas dentro da economia solidária, como cooperativas, coletivos de produção artesanal e grupos da agricultura familiar. Na Figura 04, exemplifica-se este modelo de projeção por meio do workshop realizado com grupos produtivos do Centro de Referência Estadual de Economia Solidária do Maranhão – CRESOL em setembro de 2022, que contou com ferramentas para que os próprios participantes identificassem suas necessidades e elaborassem possibilidades de serviços a partir dos produtos que comercializam.

Figura 04: Atividades do Workshop Sistema Produto-Serviço para a economia solidária.



Fonte: Acervo da autora.

Para este trabalho, as proposições do Sistema Produto-Serviço Sustentável enquanto abordagem para elaboração de soluções colaboram como diretrizes para o planejamento de alternativas de modo sistêmico, alinhadas a um modelo de produção e consumo que favorece ações sustentáveis a longo prazo. Deste ponto de vista, a pesquisa sobre a fibra de bananeira e a produção de um artefato utilizando este material, deixando espaço para possibilidades futuras de desenvolvimento de um SPSS para a produção de revestimento modular utilizando matéria-prima renovável existente na região, pode provocar articulações que beneficiem os atores da rede produtiva local, grupo constituído principalmente por artesãs e fornecedores locais, contribuindo na estruturação de um modelo econômico amigável às singularidades das comunidades e de seus entornos.

2.3 Design para o comportamento sustentável

Práticas sustentáveis requerem esforços que, por meio do Design, podem ser dirigidos pelo modo de criar produtos considerando também os seus usos. Segundo Bhamra, Liley e Tang (2011), há um longo caminho a percorrer que depende da existência de mais iniciativas cujas perspectivas se voltem aos impactos sociais e ambientais, bem como ao consumo para além do momento da compra. Os hábitos de consumo e relações entre consumidor e produto são

questões centrais para moldar o comportamento sustentável e, em adição à produção de artefatos, precisam ser compreendidas e desenhadas em detalhes também por designers para combinar desejos individuais e coletivos em estilos de vida diferentes, suscitados por mudanças ambientais.

As perspectivas do Design para comportamentos de consumo também devem considerar as características culturais a eles atreladas como guias para novas soluções, pois cultura e Design estão constantemente realizando trocas e se moldando mutuamente, influenciando normas sociais e valores. No desenvolvimento de artefatos, estruturar equipes de profissionais culturalmente diversos é o cenário desejado para propiciar inovação em abordagens norteadas pela sustentabilidade, considerando que quanto maior e mais variado o número de percepções sobre práticas cotidianas, mais eficaz será a fonte de inspiração. Ao discorrer sobre esse entendimento, Matsushita, Kuijer e De Jong (2009) apontam como uma abordagem de inspiração cultural que pode complementar outras abordagens, tais como o Codesign e o Design Centrado no Usuário.

Nas reflexões de Bhamra, Liley e Tang (2011), a lacuna existente entre a consciência dos consumidores sobre a existência de problemas ambientais e a prática de ações que reduzam os impactos no ecossistema está na construção de hábitos na interação com os produtos. Adicionalmente, é essencial que designers compreendam os possíveis problemas causados pelas maneiras de uso de produtos para mapear soluções. Intencionando colaborar nesta tarefa, as autoras pesquisaram estratégias, a partir da literatura, para aplicação em processos de Design que facilitem a redução dos impactos negativos, do ponto de vista social e ambiental, do uso de produtos. Estas estratégias são vistas no Quadro 05 a seguir:

Quadro 05: Estratégias de Design para o Comportamento Sustentável.

Estratégias	Descrições
Eco-informação: educação orientada pelo Design	Os produtos esclarecem dados sobre consumo de recursos, tornando-os visíveis, compreensíveis e acessíveis para inspirar os consumidores a refletir sobre o uso dos recursos e interagir com eles.
Eco-escolha: empoderamento orientado pelo Design	As escolhas oferecidas pelo produto aos consumidores permitem usos sustentáveis, incentivam reflexões sobre comportamento de uso e estimulam a tomada de responsabilidade sobre as ações.
Eco-feedback: conexões orientadas pelo Design para ações ambiental e socialmente responsáveis	Os produtos oferecem sinais claros (visuais, táteis, sonoros) em tempo real informando o usuário do uso de recursos e facilitando a tomada de decisões ambiental e socialmente responsáveis.
Eco-estímulo: incentivo e penalidade recompensadores orientados pelo Design	Apresentação de recompensas ou penalizações dependendo da forma que o usuário utiliza o produto, inspirando usos mais sustentáveis.
Eco-direção: possibilidades e restrições orientadas para o design	Possibilidades e restrições de uso, incorporadas no design da peça, que incentivam usuários a adotarem hábitos mais ambiental e socialmente desejáveis.
Eco-intervenção técnica: intervenção técnica orientada pelo Design	Através do uso de tecnologia avançada, o produto persuade ou controla a utilização do usuário para restringir os hábitos de uso existentes.

Design inteligente	O comportamento do usuário não é alterado, mas se age automaticamente pautado no aspecto ambiental ou social simplesmente pelo design inovador do produto.
--------------------	--

Fonte: Organizado pela autora a partir de Bhamra, Liley e Tang (2011, p. 6).

Destaca-se que produtos exercem diferentes níveis de influência em comportamentos, a depender das escolhas disponíveis durante o uso e do grau de intervenção permitido ao consumidor. Cada configuração de produto e sua determinada dinâmica de utilização comunicam-se com fases diferentes da jornada de construção de novos hábitos, partindo de uma análise crítica para reconhecimento da mudança, indo para a prática de forma repetida e, posteriormente, consolidando o novo hábito. Modos estratégicos de apresentar informações e inovações tecnológicas são os pontos-chave de cada etapa desta dinâmica (BHAMRA; LILEY; TANG, 2011).

Em nível mais básico, a divulgação dos índices que interferem na sustentabilidade de produtos e serviços precisa existir, de modo que, para Krucken e Trusen (2013), contribuam no valor percebido sobre qualidade e a autenticidade. Os autores pontuam os efeitos positivos da transparência na comunicação como forma de incentivar consumidores a fazerem escolhas mais criteriosas e provocarem práticas de produção, venda e consumo mais sustentáveis. Dois exemplos de estratégias são a inserção de uma tabela contendo porcentagens de materiais dos produtos e suas embalagens, descrevendo também sua origem e destino (vegetal, reciclável, reciclado, compostável, entre outros); assim como a divulgação dos níveis de emissão de gás carbônico ou “custo real”, tática adotada para veículos de transporte.

As intervenções tecnológicas e de Design empregadas em produtos objetivando mudanças de comportamento encontram, no entanto, ressalvas delicadas e que demandam pesquisas em profundidade. Em seus estudos, Bhamra, Liley e Tang (2011) analisam o impasse da eficácia das estratégias frente ao nível de aceitação dos produtos pelo consumidor. Há de se ter atenção às possibilidades de escolha oferecidas a quem utiliza o produto, uma vez que artefatos que restringem a autonomia do consumidor passam a ser rejeitados e menos adquiridos no mercado, reduzindo as contribuições em mudanças efetivas para hábitos pautados na sustentabilidade. No campo social, o desafio torna-se também ético e requer flexibilidade devido à volatilidade das normas exercidas em sociedade.

Compreende-se, no âmbito desta pesquisa, que produtos compostos por materiais renováveis e viabilizados por modos produtivos não-industriais podem oferecer novas perspectivas para que usuários estejam atentos à origem do produto, à sua contribuição para redes produtivas locais e ao seu impacto após o descarte, fomentando um consumo que contribui para a sustentabilidade ambiental e social. No caso do revestimento em fibra de bananeira, a adoção das estratégias de eco-informação e eco-escolha apresentadas por Bhamra, Liley e Tang (2011) colaborariam de forma educativa para o despertar de reflexões críticas sobre consumo

de recursos naturais e modelos econômicos que contribuam para a cuidado com as pessoas e o ecossistema.

3. FIBRA DE BANANEIRA

A bananeira (Figura 05) é uma planta originária do sudeste da Ásia e pertencente à família *Musa*, que compreende cerca de trinta a quarenta espécies entre os tipos selvagem e domesticado. As plantas cultivadas atualmente derivam das espécies *Musa acuminata* (grupo genômico AA) e *Musa balbisiana* (grupo genômico BB), que geram frutos comestíveis de cocção (*plantains*) e para consumo *in natura* (SIMMONDS, 1987). A adaptabilidade da planta a diferentes condições climáticas e geográficas, assim como os constantes melhoramentos genéticos para sua expansão comercial, permitem que a bananeira seja cultivada no mundo todo e tenha grande peso no mercado da agricultura.

Figura 05: Bananeiras em cultivo não-comercial.



Fonte: Acervo da autora.

Dados da *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO) de 2022 mostram que pouco mais de 20 milhões de toneladas de banana foram exportados no ano de 2021 pelas regiões da América Latina e Caribe (LAC), Ásia e África, as mais expressivas globalmente neste setor. O Brasil, país de relevante participação na produção do fruto, registrou em 2021 mais de 6,8 milhões de toneladas de cachos de banana produzidos em uma área total de mais de 453 mil hectares, revertendo para a economia nacional uma soma de mais de 9,9 milhões de reais que cresce anualmente desde 2018, quando sofreu uma pequena queda em relação a 2017 (IBGE, 2021).

Nacionalmente, os maiores produtores de banana são os estados de São Paulo, Bahia e Minas Gerais, somando quase 4,3 milhões de reais gerados em 2021 somente nessas regiões, tendo como expoentes produtivas as cidades de Cajati - SP, Bom Jesus da Lapa - BA e Jaíba - MG. A quantidade de cachos de banana produzidos por estes estados no mesmo ano alcançou

cerca de 2,6 milhões de toneladas. Comparados ao cenário nacional, os três estados citados acima geraram o equivalente a 42,99% do montante financeiro total e 39,17% de todos os cachos de banana colhidos nos países. No Maranhão, as mais de 74 toneladas de banana produzidas em 2021 se reverteram em mais de 83 milhões de reais, sendo a cidade de Itinga do Maranhão o maior destaque na bananicultura (IBGE, 2021). São apresentadas no Quadro 06 as variedades de banana mais comuns no território brasileiro.

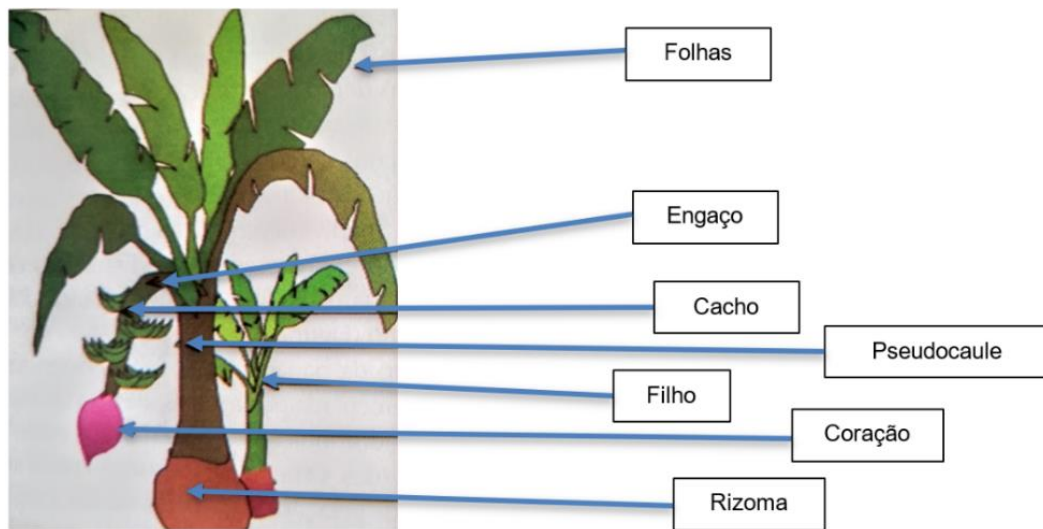
Quadro 06: Variedades de banana mais comuns no Brasil.

Grupo Genômico	Cultivares
AA	Banana Ouro
AAA	Nanicão, Grande Naine, Nanica, SCS452 Corupá, Nanicão Jangada, Williams, IAC 2001 (Subgrupo Cavendish)
	Gros Michel (Subgrupo Gros Michel)
	Caru Roxa, São Tomé (Subgrupo Caru)
	BRS SCS Belluna, Caipira
AAB	Maçã (Subgrupo Maçã)
	Mysore, BRS Thap Maeo, BRS Conquista (Subgrupo Mysore)
	Branca, Prata, Pacovan, Prata-Anã, Prata Gorutuba e Prata Ceraíma, Prata-Rio, SCS 451 Catarina (Subgrupo Prata)
	Terra, Terrinha, D'Angola, Farta Velhaco, Pacovaçu (Subgrupo Terra)
AAAB	BRS Platina, BRS Caprichosa, BRS Garantida, BRS Pacovan Ken, BRS Japira, BRS Preciosa, BRS Vitória, BRS Pacoua, BRS FHIA Maravilha, BRS FHIA-18, Prata Graúda, Galil 18, BRS Tropical, BRS Princesa, Ouro da Mata
ABB	Figo Cinza, Figo, Pelipita, Prata Zulu

Fonte: Organizado pela autora a partir de Donato, Borém e Rodrigues (2021).

Além de possuírem frutos de importância nutricional elevada, bananeiras são valiosas pelo seu potencial enquanto fonte renovável de matéria-prima, uma possibilidade que se justifica pelo ciclo de crescimento da planta. No cultivo da bananeira, apesar da planta em si não ser considerada perene, considera-se assim o seu ciclo. A incidência de luz solar afeta diretamente o desenvolvimento da planta e o tempo total de crescimento pode diferir entre regiões de clima mais frio ou quente. As partes da planta são cacho, inflorescência, folhas, pseudocaule, sistema radicular e caule ou rizoma, com seus respectivos brotos (DONATO; BORÉM; RODRIGUES, 2021), conforme ilustrado na Figura 06.

Figura 06: Morfologia da bananeira.



Fonte: Adaptado pela autora a partir de Donato, Borém e Rodrigues (2021, p. 24).

Após a plantação das mudas, as bananeiras crescem em grupos de brotos que, com o manejo tradicional, são desbastados para facilitar o crescimento de três elementos principais denominados planta-mãe, planta-filha e planta-neta. A nomenclatura utilizada refere-se à ordem cronológica de desenvolvimento da planta, visto que, quando a planta-mãe completa a fase reprodutiva e gera um cacho, o crescimento cessa. Após a colheita, a planta-mãe pode ser cortada para que a planta-filha repita o processo, seguida da planta-neta.

Conforme apresentam Donato, Borém e Rodrigues (2021), o corte do pseudocaule da bananeira após a colheita representa uma série de vantagens ao plantio, podendo influenciar no peso dos frutos do ciclo seguinte e no tempo entre colheitas. O prazo para desbaste e a altura do corte variam de acordo com a espécie plantada e o material desbastado pode ser aproveitado na produção de iscas contra pragas do bananal e como fonte de nutrientes para o solo. A cada ação de manejo da plantação de bananas a quantidade de pseudocaule descartado pode chegar a toneladas, dependendo do porte do bananal, formando um montante de significativo resíduo cultural junto a outras partes da planta, como as folhas e o rizoma. O pseudocaule da bananeira (Figura 07) é particularmente interessante a esta pesquisa pois deste elemento são extraídas as fibras que ganharão aplicações diversas, incluindo em produtos.

Figura 07: Pseudocaule desbastado da bananeira.



Fonte: Acervo da autora.

Ao ser destinado para composição de objetos, o pseudocaule da bananeira passa, então, a ser preparado para uso a partir de processos de beneficiamento que incluem corte, cozimento, tingimento e secagem. O tipo de processamento escolhido para transformar o pseudocaule da bananeira em fibra influenciará no modo como este material será aplicado. Para aplicação na forma de polpa, o pseudocaule geralmente é seccionado em pedaços menores, cortados irregularmente, para então passar pelos demais tratamentos que irão preparar o material de acordo com a textura desejada. Quando há intenção de trançar a fibra, comumente opta-se por separar o pseudocaule em camadas para que o material, ao ser desfiado, conserve a maior extensão possível para que facilite as tramas.

3.1 Aplicação da fibra de bananeira em produtos

O pseudocaule da bananeira gera uma fibra maleável e resistente, cuja versatilidade eleva suas possibilidades de aplicação como matéria-prima de produtos, com aparência que varia de acordo com as tecnologias selecionadas para sua manipulação. Entre os usos possíveis, a fibra de bananeira tem sido aplicada em artigos de vestuário da indústria têxtil, como polpa na indústria de papel, em painéis decorativos, compósitos poliméricos, na construção civil e para colaborar na recuperação e proteção do solo em áreas degradadas (PINHEIRO, 2021).

Entretanto, o principal meio onde a fibra de bananeira é utilizada, considerando as atividades no Brasil, é o artesanato. Nas comunidades onde há bananicultura, além da venda do fruto e de produtos alimentícios derivados ser fonte de renda, a comercialização de peças feitas à mão utilizando fibra de bananeira também oferece uma parcela no suporte financeiro das famílias. Em casos como na região do Vale do Ribeira - SP, onde está localizada Cajati, a cidade com maior produção nacional de bananas atualmente, o artesanato passou a ser opção a partir

de cursos de capacitação profissional e mostrou que a taxa de aproveitamento do material favorece esta atividade, já que a quantidade de pseudocaule residual das colheitas supria com grande folga a demanda por matéria-prima para trabalhos artesanais. As peças mais vendidas nesta região são bolsas, jogos americanos, pulseiras, caminhos de mesa e tapetes (SANTOS, 2005).

Em regiões como o Norte e Nordeste do Brasil, o uso de fibras vegetais é bastante expressivo pela diversidade existente na região, presente principalmente nos estados do Maranhão e Piauí. A riqueza da biodiversidade e seu potencial de uso a partir de saberes locais foram os principais propulsores na dedicação do Design, a partir dos anos 1980, para a facilitação de ações voltadas às atividades artesanais e modos alternativos de produção de produtos com materiais característicos de uma região, como por exemplo, a fibra de bananeira (BORGES, 2011).

Nas cidades de São Luís, Paço do Lumiar e Alcântara, no Maranhão, o trabalho em fibra de bananeira tem sido realizado por pequenos grupos produtores, a citar a OCA Maranhão, a ONG Arte Mojó e a Associação de Mulheres Artesãs da Economia Solidária Luminense - MADESOL. Empregando diferentes técnicas de trabalho, estes grupos utilizam fibra de bananeira natural ou tingida para produzir papel, artigos de papelaria, porta-retratos, bolsas, cestos, jogos americanos, tiaras, porta-guardanapos, luminárias e outros produtos, conforme ilustrados na Figura 08. Para fins deste estudo, concentrou-se nas atividades produtivas realizadas com fibra de bananeira pela MADESOL.

Figura 08: Produtos artesanais em fibra de bananeira.



Fonte: MADESOL (2021).

O grupo de mulheres da MADESOL, situado em Paço do Lumiar – MA, é integrante da rede de produtores de artesanato organizada pelo CRESOL, sediado em um prédio do Centro Histórico da capital maranhense que funciona principalmente como ponto de comercialização das produções artesanais de grupos variados. Nesta pesquisa, a aproximação com o MADESOL é mediada pelo Núcleo de Pesquisas em Inovação, Design e Antropologia - NIDA da Universidade Federal do Maranhão - UFMA, cujos diálogos com o artesanato envolvem outros artesãos e grupos de regiões variadas do Maranhão.

A partir de 2021, o NIDA inicia seu contato com a MADESOL com foco no desenvolvimento de um Sistema Produto-Serviço, objetivando otimizar a produção do ponto de vista do manuseio

de materiais e resíduos, das relações entre integrantes e da criação, divulgação e comercialização de produtos. Desta pesquisa, entre outros dados, resultou um mapa da cadeia produtiva da fibra de bananeira, com atividades exercidas pelo grupo de artesãs, organizado por Farias e Noronha (2021, não publicado) conforme ilustrado na Figura 09. Este mapeamento interessa ao presente estudo pois expressa a relação das artesãs com o material, os processos de beneficiamento existentes, características da logística de transporte da matéria-prima e das peças, assim como a dinâmica de produção do artesanato, expandindo a visão para além dos artefatos feitos em fibra de bananeira e enxergando os atores, o território e a influência do material no ciclo todo.

Convém destacar, a partir dos dados levantados no mapa da cadeia produtiva da fibra de bananeira da MADESOL, as diferentes partes do pseudocaule da bananeira e as técnicas utilizadas para confecção de produtos. O grupo considera fibra, renda, bucho e palmito como camadas do pseudocaule da planta, que, após passarem pelos processos de conservação e secagem, são trabalhados para compor os objetos a partir de tramas manuais ou feitas em tear. Neste modelo produtivo, a inclusão de maquinário ocorre, portanto, somente na etapa de produção, estando as demais fases da cadeia produtiva conectadas às condições climáticas e ao ritmo e ferramentas do trabalho manual.

Figura 09: Cadeia produtiva da fibra de bananeira na MADESOL.



Fonte: FARIAS; NORONHA, 2021 (Não publicado).

Já no estado de Minas Gerais, Sudeste do Brasil, o trabalho com fibra de bananeira também conta com a subdivisão do pseudocaule em partes como casca, renda e fibra, o que confere diferentes aspectos aos produtos onde são aplicados. De acordo com o levantamento do SEBRAE/MG (2010), artesãos e grupos como a Cooperativa Gente de Fibra, o Grupo Rendinha e o Grupo Fibra e Arte produzem petecas, buquês, caminhos de mesa, objetos decorativos, telas, travessas e outros artefatos utilizando somente a fibra ou com fibra combinada a outros materiais, tais como peças descartadas, madeira e polpa de papel craft. Destaca-se o trabalho realizado na Cooperativa Gente de Fibra, na cidade de Maria da Fé - MG, em parceria com o artista Domingos Tótora, que emprega a técnica da moldagem da fibra com polpa de papel na produção de esculturas, organizadores e itens de decoração (Figura 10).

Figura 10: Produtos artesanais em fibra de bananeira.



Fonte: Cooperativa Gente de Fibra (2022).

Ao lado da extensa utilização da fibra de bananeira no artesanato, há crescente interesse da indústria e de pesquisadores da área de materiais na aplicação desta matéria-prima como reforço para compósitos poliméricos, seja por razões econômicas ou ambientais. Foi realizada uma Revisão Sistemática de Literatura, apresentada no tópico seguinte, com o intuito de conhecer algumas destas pesquisas e refletir sobre as propriedades deste material, a contribuição de seu uso nas esferas da sustentabilidade e a participação do Design na viabilização da aplicação da fibra de bananeira em produtos.

3.1.1 Revisão Sistemática de Literatura

Aplicou-se o método de Revisão Sistemática de Literatura (RSL) conforme disposto por Crossan e Apaydin (2010) para identificar os testes mais recentes focados na composição da fibra de bananeira com materiais poliméricos e sua aplicação em produtos. Foram acessados artigos, teses e dissertações publicados no Brasil nos últimos oito anos (entre 2014 e 2022) nas plataformas SciELO, Blucher Proceedings e Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD). Através da RSL, foram selecionadas oito investigações entre 53 trabalhos totais após a

leitura inicial dos resumos. As pesquisas correspondiam às áreas do Design, Engenharia de Materiais, Engenharia Química, Ciências Ambientais e Ciência de Alimentos.

A fibra de bananeira, em grande parte dos estudos coletados, serve aos polímeros sob a justificativa de ser uma opção de baixo custo e maior apelo ambiental para aperfeiçoar as propriedades destes materiais. O fato de a fibra ser proveniente de resíduos agrícolas e, portanto, renovável, foi ressaltado pelos pesquisadores. Entre os polímeros testados estão o policloreto de vinila (PVC), estudados por Becker, Kleinschmidt e Balzer (2014); o Poli-3-hidroxibutirato (PHB), avaliado por Nery, Santos e José (2018); uma blenda de Politereftalato de etileno (PET) e Polietileno de alta densidade (PEAD), adicionada à fibra por Gonçalves (2014); enquanto o amido foi pesquisado por Jacometti (2015) e Silva (2018). Os principais testes realizados almejaram resultados sobre propriedades mecânicas, térmicas, morfológicas e químicas.

As pesquisas de Gonçalves *et al* (2014) e Pinheiro (2021), ainda no âmbito técnico, focaram no estudo da fibra de bananeira, em específico as espécies *Musa Velutina* e *Musa sp*, sem a combinação destas a outros materiais. O objetivo nestas investigações, porém, permanecia na exploração de possibilidades de inserção da fibra no campo dos materiais, em específico nos tecidos, e para tal foram realizados testes para caracterização da fibra e para análise dos processos químicos de beneficiamento. Por fim, o trabalho de Sette e Morgenstern (2018) apresentou preocupações para além do material e abordou aspectos sociais, mercadológicos e ambientais da produção artesanal da fibra de bananeira em produtos têxteis. A seguir, o Quadro 07 apresenta resumidamente o conteúdo das pesquisas analisadas.

Quadro 07 – Pesquisas utilizando a fibra de bananeira identificadas na RSL.

Tipo	Título	Autores/ ano	Observações
Artigo	Compósitos de PVC rígido e fibras de bananeira: efeito do tratamento da fibra	Becker, Kleinschmidt e Balzer (2014)	Estudos comparativos entre PVC e os compósitos com fibra tratada e sem tratamento mostraram diferenças nas propriedades mecânicas e na absorção de água dos materiais. Não houve mudança significativa nas propriedades térmicas. O tipo de tratamento da fibra pode influenciar na resistência ao impacto e à tração.
Artigo	Desenvolvimento e caracterização de biocompósitos de polihidroxibutirato e fibra de bananeira	Nery, Santos e José (2018)	Estudos comparativos entre amostras de PHB acrescido de 5% e 10% de fibras de bananeira mostraram aumento da estabilidade térmica. O compósito PHB + 5% de fibra apresentou maior resistência à tração, flexão e impacto que os demais. Destaca-se a importância da homogeneização dos materiais pois a interação das fibras com a matriz influencia as propriedades mecânicas do material. Tratamentos químicos na fibra aumentaram a adesão com a matriz do compósito.
Artigo	Caracterização mecânica de fibra de bananeira roxa (<i>Musa Velutina</i>)	Gonçalves, <i>et al.</i> (2014)	Estudou-se a fibra de bananeira roxa natural com tratamento alcalino para retirada das impurezas da fibra. Tal processo auxiliou na sua adesão a outros materiais e aumentou a flexibilidade e resistência à tração neste material.
Artigo	Produção artesanal com fibras naturais e abordagem social: perspectivas sustentáveis	Sette e Morgenstern (2018)	O estudo mostrou apontamentos sobre uso das fibras em artefatos diversos e fios têxteis, com possibilidade de inserção dos produtos em mercados internacionais através de parcerias institucionais.
Dissertação	Fibra de bananeira (<i>Musa sp.</i>): processo de extração, beneficiamento e sua aplicabilidade em produtos têxteis	Pinheiro (2021)	O estudo caracterizou a fibra de bananeira para desenvolver fios têxteis para produtos de moda e processos de tingimento. Foram apresentadas conexões entre o Design e o trabalho artesanal, bem como exemplos da aplicação de tecidos com fibra de bananeira em produtos de moda.
Dissertação	Desenvolvimento de compósitos a base de blenda de PET reciclado/PEAD reforçados com fibra de bananeira	Gonçalves (2014)	Foram analisadas as características dos materiais separadamente (PET, PEAD, blenda de PET/PEAD e fibra de bananeira), com posteriores estudos do compósito de PET/PEAD reforçado com fibra de bananeira. Os estudos justificaram a aplicação da fibra vegetal como reforço, demonstrando aperfeiçoamento da resistência à tração e flexão no compósito estudado. A resistência ao impacto, no entanto, mostrou-se inferior comparada ao polímero sem adição da fibra de bananeira. A autora aponta possibilidades em aplicações do material na indústria.
Dissertação	Polpa de fibra de bananeira para produção de polímeros de bioplástico	Silva (2018)	As quatro amostras receberam diferentes quantidades de amido e fibra de bananeira. As amostras com maior quantidade de fibra apresentaram maior resistência e menor biodegradação.
Tese	Utilização de tecido fibroso do pseudocaule de bananeira na produção de bandejas biodegradáveis de amido de mandioca processo de termoformagem	Jacometti (2015)	Produção de bandejas de amido e fibra de bananeira. A adição da fibra reduziu a resistência mecânica das amostras. Bandejas indicadas para produtos secos por conta da alta absorção de líquido do material. Indicação de estudos posteriores em tratamentos químicos/físicos para redução do aspecto hidrofílico do compósito.

Fonte: Elaborado pela autora.

Os estudos analisados na RSL corroboram os benefícios da inserção da fibra de bananeira como reforço para compósitos poliméricos nos aspectos ambiental e econômico. Entretanto, diferentes porcentagens de fibra adicionada nos compósitos representam diferentes comportamentos do material, o que explicita a necessidade de testes mais aprofundados sobre as propriedades dessa matéria-prima e como sua aplicação pode contribuir com a composição de produtos. Neste trabalho, tais questões foram acessadas a partir da literatura e são apresentadas no tópico seguinte.

3.2 Propriedades da fibra de bananeira

Utilizar fibra de bananeira em compósitos e produtos mostra-se, sob a ótica da manutenção dos recursos ambientais, uma solução promissora cuja colaboração pode perdurar a longo prazo. No entanto, os principais entraves observados na bananeira, assim como nas fibras vegetais em geral, estão relacionados à característica hidrofílica desta matéria-prima. Em outras palavras, a fibra de bananeira possui uma predisposição natural à absorção de água, condição desafiadora para seu uso combinado a polímeros por comprometer principalmente a qualidade e a durabilidade (ROSA *et al*, 2012).

Nos testes realizados por Banna, Pereira e Fujiyama (2013), o teor de umidade da fibra de bananeira do tipo São Tomé, oriunda da região amazônica, se mostrou superior às fibras de curauá e juta. Contudo, a resistência à tração destas outras duas fibras foi inferior em comparação à fibra de bananeira, mesmo sem sofrer qualquer tipo de tratamento químico. Os autores também apontaram que o aspecto rugoso da fibra, comprovado através de micrografia com Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) em amostra fraturada pelo ensaio de tração, é indicador de possíveis resultados satisfatórios em caso de junção a matrizes poliméricas.

As texturas da superfície da fibra de bananeira e elementos como a lignina, celulose, hemicelulose, ceras e graxas nela presentes interferem diretamente no processo de mistura da carga com a matriz do compósito. Gonçalves *et al* (2014) comentam como possibilidade a realização de uma limpeza na fibra por meio de mercerização para facilitar a homogeneização dos componentes. Neste procedimento, o tratamento químico é feito com hidróxido de sódio/soda cáustica (NaOH), com posterior lavagem em água para neutralização do pH da fibra, o que colabora na remoção parcial de impurezas do material.

Em estudos desenvolvidos com fibra de bananeira da espécie roxa (*Musa velutina*), Gonçalves *et al* (2014) compararam o desempenho de amostras de fibra natural e tratada quimicamente em ensaios de tração e caracterização por MEV. Na resistência à tração na ruptura, a fibra tratada mostrou-se ligeiramente mais resistente comparada à fibra natural; no módulo de elasticidade e nos resultados sobre deformação específica, a fibra tratada apresentou

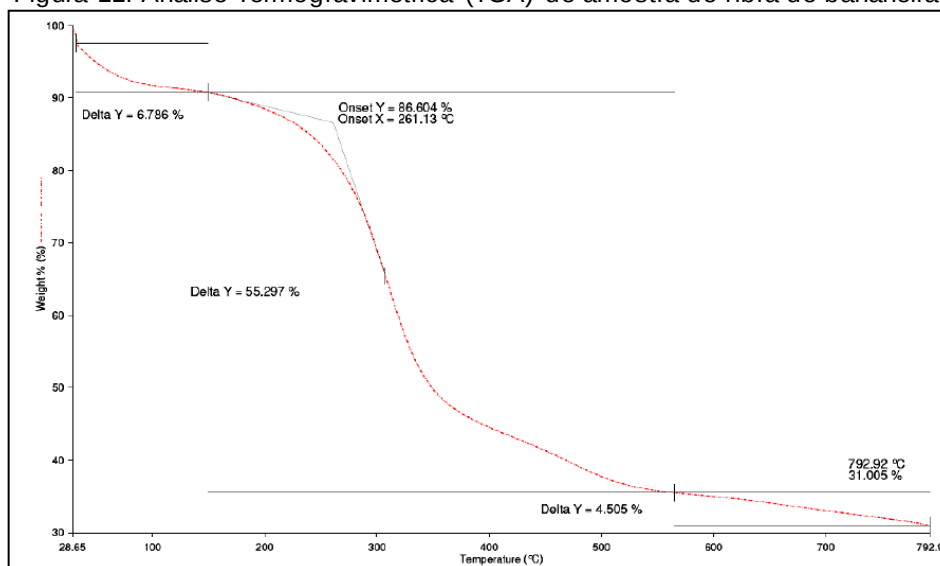
uma maior capacidade de deformação antes da ruptura do que a fibra natural, fato que os autores conectaram à lignina presente na amostra natural.

Para contribuir com o levantamento de dados desta pesquisa, foi realizada análise do comportamento térmico de amostras de fibra de bananeira pela Profa. Dra. Mercês Coelho da Silva, da UNIFEI – Campus Itabira, por intermediação da Profa. Dra. Eliane Ayres durante participação na missão de estudos através do Programa Nacional de Cooperação Acadêmica na Amazônia - PROCAD/Amazônia na Universidade do Estado de Minas Gerais - UEMG. As fibras foram coletadas de bananeiras presentes em propriedade particular na cidade de Carmo do Cajuru - MG e foram submetidas a uma análise termogravimétrica (TGA). Estas análises são aprofundadas no tópico 4.5.1 do presente estudo.

Análises termogravimétricas são métodos populares de estudos de materiais por meio de experimentos com calor, sendo comumente abreviadas de TG ou TGA. Tais análises são compreendidas como meios de investigação de mudanças de composição em matérias-primas através do aumento de temperatura e monitoramento do peso, podendo ocorrer variações decorrentes de decomposições químicas ou reações com a atmosfera (KETT; PRICE, 2016). Após a realização da análise termogravimétrica, são gerados gráficos ilustrativos para obtenção de dados relevantes sobre o material estudado.

Resultados relevantes em análises termogravimétricas podem ser observados nas pesquisas de Rosa *et al* (2012) e Pinheiro (2021), ilustradas respectivamente nas Figuras 11 e 12. Utilizando amostras de fibra provenientes da região do Rio de Janeiro que foram secas em temperatura ambiente por 24 horas e depois moídas e peneiradas, Rosa *et al* (2012) registraram um pico de maior degradação do material em 310 °C. Neste ensaio, os autores também identificaram três estágios distintos, os quais foram atribuídos primeiramente à perda de água, ocorrendo até 200 °C; em seguida, entre 150 °C até 500 °C, à decomposição de hemicelulose e lignina; e por fim, a degradação dos demais componentes da fibra de bananeira a partir de 500 °C até 770 °C, temperatura final do teste.

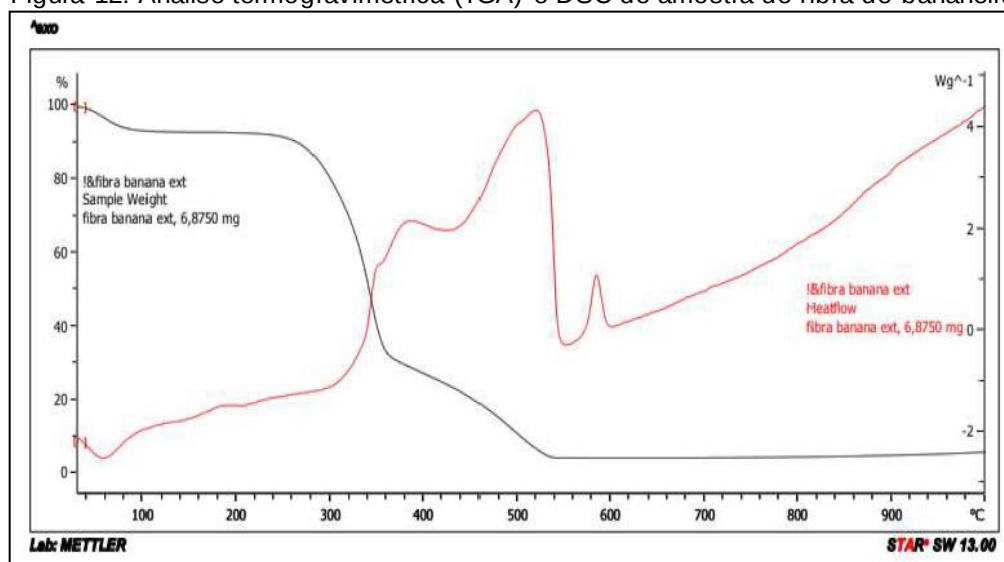
Figura 11: Análise Termogravimétrica (TGA) de amostra de fibra de bananeira.



Fonte: ROSA *et al* (2012).

No experimento conduzido por Pinheiro (2021), utilizando fibras advindas do município de Miracatu na região do Vale do Ribeira em São Paulo, são destacados três eventos observados pela TGA e pela calorimetria exploratória diferencial (DSC). Aos 100 °C, o autor aponta o primeiro evento atribuído à perda de umidade na fibra; em seguida, entre 200 °C e 380 °C, a celulose total sofre degradação; e por fim, entre 380 °C e 540 °C, é a lignina que se degrada.

Figura 12: Análise termogravimétrica (TGA) e DSC de amostra de fibra de bananeira.



Fonte: PINHEIRO (2021).

3.2.1 Propriedades Físicas e Mecânicas da Bananeira

As fibras do pseudocaule da bananeira apresentam características físicas que as tornam fibras de boa qualidade. Como propriedades físicas, a literatura relata que as fibras do

pseudocaule da bananeira possuem bom módulo de elasticidade, boa resistência à tração e rigidez, o que as torna um material promissor (LI *et al*, 2010). Segundo Subagyo e Chafidz (2018), a aparência das fibras do pseudocaule da bananeira é semelhante à do rami e da fibra do bambu, mas sua capacidade de fiação e finura são muito melhores. Possui baixa densidade e uma alta capacidade de absorção de umidade, ou seja, sua absorção e liberação de umidade são bastante rápidas. A Tabela 01 mostra as propriedades físicas e mecânicas das fibras da bananeira em comparação com outros tipos de fibra.

Tabela 01: Propriedades físicas e mecânicas de algumas fibras.

Fibras	Largura ou diâmetro (µm)	Densidade (Kg/m ³)	Razão L/D da célula	Ângulo microfibrilar (grau)	Módulo elástico (GPa)	Tensão de Tração (MPa)	Deformação (%)
Bananeira	80-250	1350	150	10±1	7,7-20,0	54-754	10-35
Coco	100-450	1150	35	30-40	4-6	106-175	17-47
Abacaxi	20-80	1440	450	8-14	34,5-82,5	413-1627	0,8-1
Sisal	50-200	1450	100	10-22	9,4-15,8	568-640	3-7
Palmira	70-1300	1090	43	29-32	4,4-6,1	18-215	7-15

Fonte: SUBAGYO; CHAFIDZ (2018).

Além dos dados apresentados na tabela acima, as fibras da bananeira são biodegradáveis, podendo ser categorizadas como ambientalmente amigáveis. Elas podem ser fiadas usando praticamente qualquer método de fiação, como fiação *open-end*, fiação de anel, fiação de fibra *bast* e fiação semi-penteada (SUBAGYO, CHAFIDZ; 2018).

4. ABORDAGEM METODOLÓGICA

A investigação das bases teóricas voltadas para a conexão entre Design, produtos, sustentabilidade e comportamento social possibilitou a caracterização deste estudo, bem como estabeleceu critérios para seleção do método da pesquisa. Deste modo, neste capítulo, são estruturados os protocolos metodológicos selecionados para o levantamento de informações e o alcance dos objetivos que correspondem ao problema da pesquisa.

4.1 Caracterização da pesquisa

A princípio, compreendeu-se a abordagem do problema nesta pesquisa de modo qualitativo, uma vez que estudos desenvolvidos através desta abordagem representam preocupação em compreender acontecimentos que não podem ser medidos de maneira exata. Nas pesquisas qualitativas, o pesquisador encontra-se na condição de sujeito e objeto, recusa-se a premissa da investigação em todos os campos científicos por meio de um único padrão, bem como são reconhecidas as características empíricas de suas informações (GERHARDT;

SILVEIRA, 2009). No entanto, ao longo da jornada de investigações envolvendo a coleta e análise das informações obtidas, o posicionamento mais adequado desta pesquisa encontra-se no campo experimental. Para Gil (2023), há inúmeras possibilidades de experimentação para itens tangíveis quando são objetos de estudo. Segundo o autor

A pesquisa experimental constitui o delineamento mais prestigiado nos meios científicos. Consiste essencialmente em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis capazes de influenciá-lo e definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto. Trata-se, portanto, de uma pesquisa em que o pesquisador é um agente ativo, e não um observador passivo. (GIL, 2023, p. 31).

Alinhando-se à pesquisa de contribuição aplicada, o presente estudo “objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática” (GERHARDT; SILVEIRA, 2009). Segundo apontamentos de Buchanan (2001), a pesquisa aplicada direciona-se a problemas gerais, utilizando procedimentos sistematizados para coletar informações de casos individuais e com isto elaborar princípios pertinentes às questões de um grupo e que atendam a uma classe de produtos ou atividades. Em correspondência a tais características, a proposta de elaborar estratégias em um SPSS para revestimento de fibra de bananeira pretende colaborar no âmbito geral do desenvolvimento de produtos de maneira ambientalmente responsável.

Quanto à natureza, considera-se que esta pesquisa possui caráter descritivo com aproximação ao caráter exploratório, pois, de acordo com Gil (2023), os estudos desta categoria estão conectados à atuação prática e objetivam descrever as características de um fenômeno, correlacionando suas variáveis e fornecendo perspectivas diferentes sobre o problema. Para tal, segundo o autor, utiliza-se modos padronizados para a coleta de dados, tais como a observação sistemática e participante, pesquisa bibliográfica, questionários e formulários. O caráter exploratório também se faz presente na realização de experimentos para avaliar as propriedades da fibra estudada.

4.2 Seleção do método de pesquisa

Dado o objetivo desta pesquisa de analisar a aplicabilidade da fibra de bananeira na composição de revestimento decorativo produzido de modo artesanal com apoio da MADESOL através de abordagens de Design guiadas pela sustentabilidade, considera-se como referências as três abordagens mapeadas por meio do levantamento teórico. Deste modo, foram enfatizados os princípios do Sistema Produto-Serviço Sustentável, complementados pelos critérios do Design para o Ciclo de Vida do produto e as estratégias de Design para o comportamento sustentável, com foco na criação de artefatos que aproveitem recursos renováveis locais e o planejamento de processos que articulem atividades de geração de renda entre os atores de uma localidade.

O método *Design Science Research* descrito por Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2015) foi escolhido para constituir este estudo em razão das características citadas, sendo apoiado pelas estratégias mapeadas ao longo do estudo. Tal determinação baseia-se no suporte desta metodologia às pesquisas que aspiram pelo desenvolvimento de artefatos. Estas criações através da *Design Science Research* precisam comprovadamente favorecer a solução de problemas do mundo real e permitir “transformar situações, alterando suas condições para estados melhores ou desejáveis. Ela [a metodologia] é utilizada nas pesquisas como forma de diminuir o distanciamento entre teoria e prática” (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR, 2015, p. 67).

Ao intencional a resolução de problemas específicos, as pesquisas conduzidas através do *Design Science Research* podem ser ponderadas por meio de sete critérios elaborados para que as investigações sejam confiáveis, válidas e aplicáveis. Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2015) destacam que tais critérios de análise, apresentados por Hevner *et al* (2004) e detalhados no Quadro 08, são o Design como artefato; a relevância do problema; a avaliação do Design; as contribuições da pesquisa; o rigor da pesquisa; o Design como um processo de pesquisa; e a comunicação da pesquisa (HEVNER *et al*, 2004, p. 83).

Quadro 08: Critérios para pesquisas conduzidas por *Design Science Research*.

Critérios	Descrições
Design como artefato	Pesquisas desenvolvidas através do método <i>Design Science Research</i> devem produzir um artefato viável em forma de constructo, modelo, método ou instanciação.
Relevância do problema	O objetivo da pesquisa em <i>Design Science Research</i> é desenvolver soluções baseadas em tecnologia para sanar problemas importantes e relevantes aos negócios.
Avaliação do Design	A utilidade, qualidade e eficácia de um artefato de Design devem ser rigorosamente demonstradas por meio de métodos de avaliação bem executados.
Contribuições da pesquisa	Pesquisas eficazes conduzidas por meio da <i>Design Science Research</i> devem fornecer contribuições claras e verificáveis nas áreas dos artefatos elaborados, em fundamentos de Design e/ou metodologias de Design.
Rigor da pesquisa	A pesquisa em <i>Design Science Research</i> baseia-se na aplicação de métodos rigorosos tanto na construção quanto na avaliação dos artefatos de Design.
Design como um processo de pesquisa	A busca por um artefato eficaz requisita a utilização dos meios disponíveis para alcançar os fins desejados, ao mesmo tempo em que atendam às leis que gerem o ambiente onde o problema se encontra.
Comunicação da pesquisa	A pesquisa em <i>Design Science Research</i> deve ser apresentada de forma eficaz tanto para o público orientado para a tecnologia quanto para o público orientado para a gestão.

Fonte: Organizado pela autora a partir de Hevner *et al* (2004, p. 83).

Nesta metodologia, os artefatos são compreendidos dentro do contexto de um projeto como itens provenientes da produção humana sendo, portanto, artificiais. Considerando que estes artefatos atuem para um objetivo, atingir este propósito estaria no centro da relação de três bases, sendo elas o próprio objetivo, o ambiente onde o artefato se insere e os atributos deste objeto (SIMON, 1996 *apud* DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR, 2015, p. 57). Artefatos são ainda, nas proposições de Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2015), categorizados em constructos, modelos, métodos, instanciações e *Design propositions*, conforme disposto no Quadro 09 para melhor entendimento.

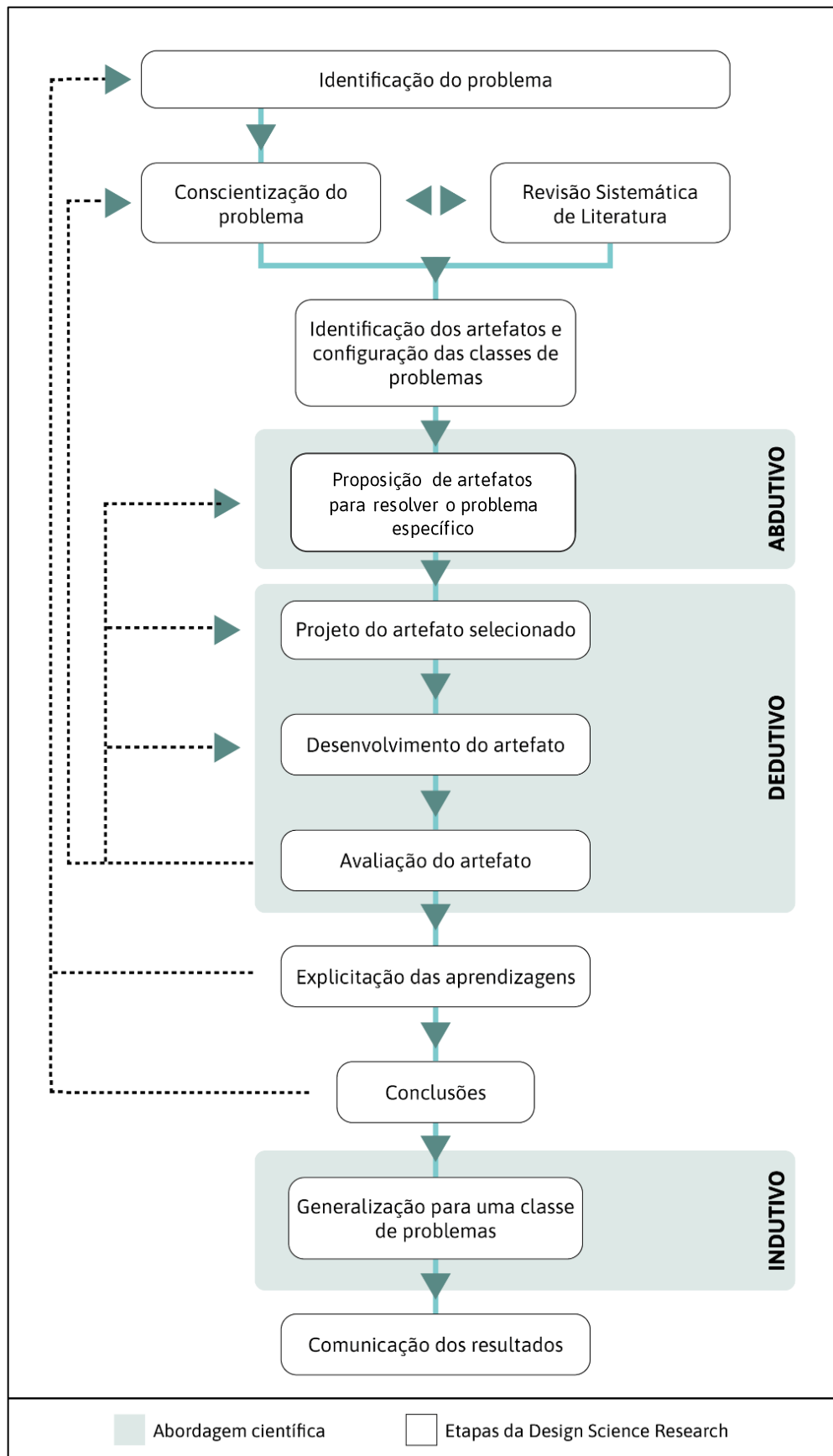
Quadro 09: Classificações dos artefatos no *Design Science Research*.

Classificação	Descrições
Constructos	Elementos conceituais utilizados na descrição dos problemas dentro de um domínio para detalhamento das soluções. Linguagem e números podem ser entendidos como um artefato.
Modelos	Grupo de proposições ou declarações capazes de expressar as conexões entre constructos. Modelos precisam ter utilidade assegurada no <i>Design Science Research</i> e necessitam apreender a realidade em sua forma geral. Podem ser considerados uma descrição de como as coisas são, mesmo sendo imprecisos em seus detalhes.
Métodos	Conjunto de etapas requeridas para a realização de tarefas, podendo ter interpretação em formas gráficas e algoritmos, assim como podem ter ligação aos modelos ou partes deles. Métodos podem representar demandas para aperfeiçoamentos em sistemas, sendo criações típicas no <i>Design Science Research</i> .
Instanciações	Execução do artefato no ambiente onde se localiza, apresentando os potenciais resultados. São considerados artefatos que operam constructos, modelos e métodos visando exibir a eficácia destes elementos. Pode ter papel significativo no processo pois norteia o uso de outros artefatos considerando fatores como a economia, a cultura organizacional e regional, o contexto competitivo, o histórico de um negócio e os prazos para realização das propostas.
<i>Design propositions</i>	Referentes às contribuições teóricas em forma de modelo de atividades para o desenvolvimento das propostas geradas no processo, a serem aplicadas em determinada classe de problemas.

Fonte: Organizado pela autora a partir de Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2015).

Na *Design Science Research*, propõe-se que o desenvolvimento do artefato, em suas diferentes classificações, ocorra em etapas (Figura 13) que se alternam entre as abordagens científicas abdutiva, dedutiva e indutiva, contemplando desde a identificação do problema até a comunicação dos resultados.

Figura 13: Etapas da pesquisa conduzida por *Design Science Research*.

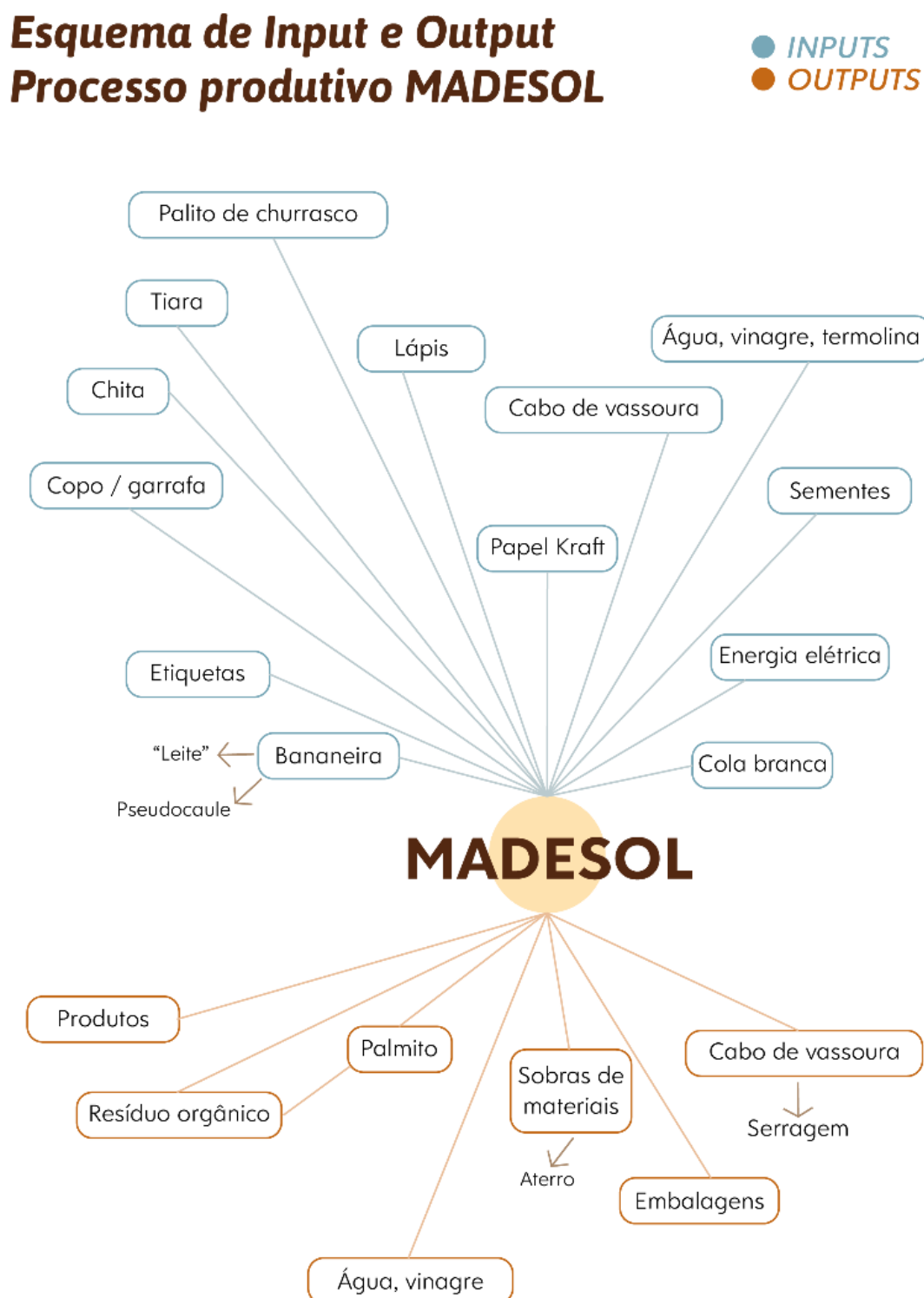


Fonte: Organizado pela autora a partir de Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2015).

4.3 Mapeamento de possibilidades

4.3.1 Análise de cadeia e sistema produtivo MADESOL

Figura 17: Esquema de *input/output* de processo produtivo do grupo MADESOL.



Fonte: A autora.

No levantamento de entradas do processo produtivo do MADESOL foram identificados os recursos orgânicos e inorgânicos, dentro de um raio aproximado de dez a vinte quilômetros, necessários ao grupo para confecção das peças artesanais. Os recursos acessados em cerca de dez quilômetros de distância do ateliê do grupo são a bananeira, de onde são extraídos o pseudocaule e o “leite” utilizados na produção; cola branca; papel kraft; etiquetas; água e energia elétrica. Os demais materiais, acessados em cerca de vinte quilômetros além do ponto de produção, são sementes; palitos de churrasco; cabos de vassoura; copos e garrafas; tiaras; lápis; chita; vinagre e termolina.

Findada a produção de peças artesanais do MADESOL, as saídas identificadas no processo foram os próprios produtos do grupo; o palmito do pseudocaule da bananeira, folhas, palhas e demais resíduos orgânicos (cujas quantidades precisam ser levantadas); água e vinagre; sobras de chita, restos de sementes e demais materiais com possível destinação final em aterros; embalagens; e serragem resultante dos cabos de vassoura.

4.4 Desenvolvimento do artefato

Uma proposta preliminar de desenvolver um revestimento composto de fibra de bananeira foi iniciada antes do período de preparação da atual pesquisa. Inicialmente desenvolvida dentro de trabalho para conclusão do curso de Design na Universidade Federal do Maranhão – UFMA ao longo do ano de 2016, a experiência prévia de produção do revestimento apoiou-se em metodologias de desenvolvimento de produtos, adaptadas para a produção artesanal, com foco apenas no desenvolvimento da peça. O estudo antecedente contou com o apoio do grupo OCA Maranhão – Oficina de Comunicação e Arte, partindo do sistema de produção de papel reciclado e de fibra de bananeira praticado pelo grupo para produzir também o revestimento, considerando as devidas adaptações para tal. Os protótipos e momento da prototipagem realizados anteriormente estão apresentados nas Figuras 14, 15 e 16 abaixo. Por meio destas experiências, identificou-se a necessidade também de produzir um novo molde para desenvolvimento do produto.

Figura 14: Protótipos iniciais do revestimento em fibra de bananeira e papel reciclado.



Fonte: A autora.

Figura 15: Protótipos iniciais do revestimento composto de fibra de bananeira.



Fonte: A autora.

Figura 16: Prototipagem inicial de revestimento composto de fibra de bananeira.



Fonte: A autora.

No período de desenvolvimento da presente pesquisa, foram realizados novos testes, em duas ocasiões, para produção do revestimento em fibra de bananeira utilizando um molde atualizado para facilitação do processo produtivo. Diferentemente da primeira experiência, a fibra de bananeira foi a única matéria-prima utilizada na composição do produto. Os testes atuais aconteceram na residência de Deusa, uma das artesãs da MADESOL, no bairro Paranã em Paço do Lumiar – MA, pois o local também funciona no momento como ateliê para as atividades de confecção de produtos artesanais, uma vez que o grupo não possui sede.

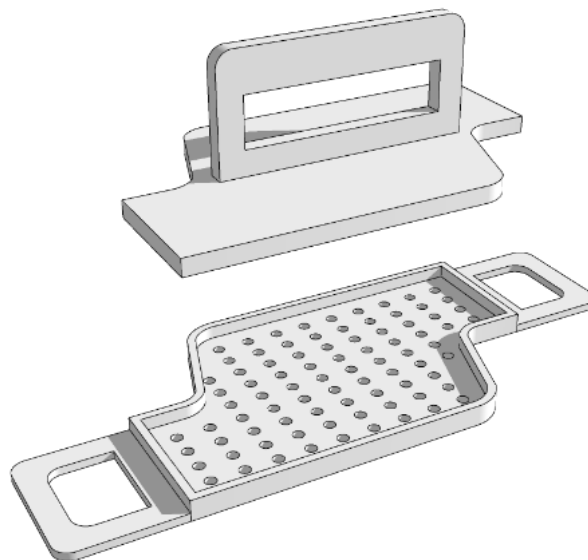
A matéria-prima utilizada para os novos testes foi coletada a partir de bananeiras plantadas para consumo familiar localizadas em terrenos residenciais, já que a prototipagem demandou quantidades pequenas de fibra de bananeira. Após a coleta dos pseudocaules de bananeira, o material foi preparado seguindo o mesmo modo apresentado no tópico 3 deste estudo, o que incluiu descarte das camadas mais externas do tronco, seguido de corte do pseudocaule em

pedaços menores, cozimento e trituração em liquidificador para alcançar a textura de polpa mergulhada em água.

Estas etapas da preparação do material, por serem demoradas, aconteceram com dias de antecedência à data agendada para o teste de produção do revestimento, situação que revelou uma estratégia adotada pelas artesãs para armazenamento do material orgânico para utilização posterior. A necessidade de utilizar meios alternativos para economia do material pelas artesãs da MADESOL ocorre pela dificuldade em conseguir a matéria-prima principal, devido à distância do atual ponto de produção para o terreno onde estão as bananeiras. Portanto, as artesãs passaram a acondicionar a polpa de fibra de bananeira, já cozida e batida, em bolinhas com tamanhos variados moldados com as palmas das mãos. Depois de secas, as bolinhas de fibra podem voltar a ser utilizadas quando mergulhadas em água e moldadas novamente, apresentando modificações na coloração, o que é traço comum à fibra de bananeira.

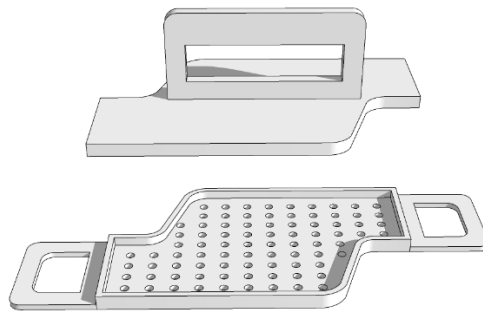
Quanto aos testes para confecção do produto, a versão atualizada do molde para produção do revestimento em fibra de bananeira considerou pontos de aperfeiçoamento e observações identificadas nos experimentos anteriores quanto ao material do molde, funcionalidade, capacidade de escoamento da água e manutenção da forma desejada para o produto. Para tal, utilizou-se o PVC (policloreto de vinil) em placas com espessura de 10 milímetros na composição do molde, o qual era formado por duas peças: uma bandeja com furos para escoamento de água e uma peça de encaixe na bandeja para auxiliar na retirada do excesso de água da polpa de fibra de bananeira. O desenho esquemático das duas peças do molde foi modelado em 3D, conforme apresentado nas Figuras 18 e 19 a seguir.

Figura 18: Desenho esquemático em 3D das peças do molde para revestimento.



Fonte: A autora.

Figura 19: Desenho esquemático em 3D das peças do molde para revestimento.



Fonte: A autora.

A escolha do PVC para compor o novo molde deu-se pela propriedade do material em ser resistente à água, elemento presente em todo o processo de produção do revestimento. Deste modo, a vida útil das peças do molde poderia ser estendida. Adicionalmente, o processo de corte das peças em PVC permitia maior fidelidade ao desenho do revestimento, auxiliando na manutenção do formato do produto que, por ser modular e encaixado em outras peças de revestimento do mesmo modelo, dependia do máximo possível de precisão, levando em consideração suas características artesanal e orgânica. Mantendo com mais precisão a forma do revestimento, permite-se sua aplicação em combinações diversas com melhor acabamento final, alcançando níveis de qualidade em composição e estética imprescindíveis aos produtos desta categoria.

O molde atualizado foi feito sob medida em PVC por uma empresa privada do setor de Comunicação Visual situada em São Luís, Maranhão. Obtido o novo molde, o primeiro teste para produção do revestimento em fibra de bananeira foi agendado para o dia 13 de maio de 2023, ocorrendo entre 14h30 e 16h10. Participaram deste primeiro encontro a autora do presente estudo e quatro artesãs do grupo MADESOL. Ao longo do período em que os experimentos ocorreram neste dia, foram produzidas quatro peças do revestimento em fibra de bananeira utilizando o molde novo. A cada tentativa, foram observados pontos positivos e pontos de melhora, os quais foram cruciais para algumas adaptações no processo produtivo durante o primeiro teste e norteadores para testes futuros.

No modo artesanal de produção do revestimento, foram utilizados, além do molde, dois recipientes grandes: um para armazenamento da fibra imersa em água, outro para receber a água escoada após a inserção da fibra no molde. Para composição da peça, partes da polpa de fibra eram retiradas da solução em água e, após uma remoção manual do excesso de água, eram depositadas na bandeja do molde com furos para escoamento de líquido (Figura 20). Esse processo era repetido cuidadosamente até o molde ser preenchido por inteiro com a fibra, quando então a segunda peça do molde era pressionada contra a bandeja cheia de fibra, com a finalidade de acelerar o processo de remoção de água para facilitar a retirada da peça da forma e acelerar a secagem. Pedacos de TNT (tecido-não-tecido) também foram necessários na

produção para apoiar as peças recém-saídas do molde e deixá-las dispostas sobre placas de cerâmica para secagem ao ar livre.

Figura 20: Fibra de bananeira depositada em molde para produção artesanal de revestimento.



Fonte: A autora.

A primeira tentativa de produção do revestimento não originou um resultado satisfatório devido à fragilidade do produto final. Após a bandeja do molde ser preenchida com a polpa de fibra de bananeira e o excesso de água ser retirado com ajuda da peça de encaixe, o produto deste primeiro teste não alcançou espessura suficiente e não manteve o formato desejado após a tentativa de desenformá-lo, tendo que ser desconsiderado. A fibra utilizada neste primeiro teste foi incorporada ao processo e utilizada novamente para composição das peças seguintes. Em análise realizada com as artesãs participantes deste experimento, concluiu-se que tal problema ocorreu devido à pouca quantidade de fibra inserida, resultando em um produto com espessura mais fina do que o previsto, o que foi corrigido nos testes realizados em seguida.

A partir da segunda experimentação, após correção da espessura do produto, foram obtidas peças do revestimento no formato desejado. Notou-se, no entanto, que o momento de desenformar a fibra de bananeira do molde era bastante comprometedor à qualidade da peça, uma vez que havia resistência do material em sair inteiramente do molde e mantendo o desenho da peça. Como meio de resolver provisoriamente esse entrave, as artesãs sugeriram cobrir a fibra com TNT após a composição na bandeja do molde ser realizada por completo (Figura 21). Assim, uma camada de TNT foi posicionada entre a fibra de bananeira e a peça de encaixe utilizada para comprimir o material e ajudar no escoamento do excesso de água. Após esta etapa do processo, o TNT servia também como apoio para a peça recém-saída do molde e, portanto, ainda molhada, servindo de superfície de apoio para a peça secar em temperatura ambiente (Figura 22).

Figura 21: Adaptação ao processo de produção artesanal do revestimento em fibra de bananeira.



Fonte: A autora.

Figura 22: Secagem em temperatura ambiente nos testes de produção do revestimento.



Fonte: A autora.

Realizadas estas adaptações, os experimentos seguiram durante a tarde e originaram três peças em estado satisfatório para análises posteriores, além da primeira peça descartada pela fragilidade da composição. A produção totalizou quatro peças, conforme citado anteriormente. As fibras utilizadas nestes testes diferiram em tempo de desbaste e preparação, o que conferiu coloração diferente entre as amostras de material empregadas, conforme apresentado na Figura 23. Vale considerar que as diferentes colorações das fibras, características percebidas nitidamente e que são comuns aos materiais de origem orgânica, podem ser foco de discussão do ponto de vista comercial caso haja necessidade de produzir peças sem tingimento com coloração homogênea.

Figura 23: Peças resultantes dos primeiros testes de produção artesanal do revestimento .



Fonte: A autora.

Uma semana após a realização dos primeiros testes, teve início um segundo momento de experimentação na produção do revestimento em fibra de bananeira no dia 20 de maio de 2023, entre 15h e 16h30, aproximadamente. Participaram deste segundo encontro a autora deste estudo e mais quatro artesãs integrantes do grupo MADESOL. Nesta ocasião, foram analisadas as peças produzidas no teste anterior e houve produção de mais cinco peças novas, conforme exibido na Figura 24.

Figura 24: Peças resultantes do segundo teste de produção de revestimento em fibra de bananeira.



Fonte: A autora.

As observações registradas no primeiro experimento auxiliaram na execução do segundo teste com mais rapidez e domínio do processo. Nas novas tentativas, porém, as artesãs aplicaram mais um pedaço de TNT para facilitar ainda mais o processo de desenformar a peça. Em adição ao TNT inserido entre a fibra e a peça de encaixe, um novo pedaço do tecido-não-tecido foi incluído entre a bandeja com furos e a fibra, também com a finalidade de evitar desperdício de material no molde (Figuras 25 e 26).

A bandeja com furos do novo molde e a característica permeável do TNT colaboraram no escoamento do excesso de água da fibra de bananeira. No entanto, novos aprimoramentos no material do molde e no formato da peça de encaixe serão necessários para elevar a eficiência desse item e tornar o processo produtivo mais prático e ergonômico para as artesãs.

Figura 25: Segundo teste de produção de revestimento em fibra de bananeira.



Fonte: A autora.

Figura 26: Segundo teste de produção de revestimento em fibra de bananeira.



Fonte: A autora.

Depois da produção das novas peças, analisou-se as peças produzidas no primeiro teste e que, após sete dias da produção, já estavam com o processo de secagem praticamente concluído. Os revestimentos produzidos apresentaram grande modificação de coloração na fibra, adquirindo aspecto manchado não observado no momento da produção, bem como apresentaram redução significativa em suas espessuras. Essa redução, em algumas peças,

provocou deformação e rachaduras em certas partes das superfícies, localizadas principalmente nas bordas dos revestimentos, como observa-se na Figura 27 abaixo.

Figura 27: Peças resultantes do primeiro teste de produção de revestimento após secagem.



Fonte: A autora.

4.5 Materiais e Métodos

A presente pesquisa concentrou-se na análise da fibra de bananeira como principal matéria-prima a ser utilizada para composição de produtos. Foram avaliadas amostras de fibra coletadas e trabalhadas em diferentes períodos de tempo e localidades, possibilitando resultados mais abrangentes dentro da mesma matéria-prima dos testes. São descritos, nos tópicos abaixo, os experimentos realizados no material mencionado intencionando mensurar as propriedades técnicas desta fibra natural.

4.5.1 Análise Termogravimétrica (TGA) de Fibras de Bananeira

Conforme descrito no tópico 3.2, foi realizada análise de comportamento térmico em amostras de fibras de bananeira com a finalidade de compreender o desempenho do material em diferentes contextos para que, com os dados obtidos dos testes, seja possível contribuir para a utilização mais adequada do material em sua aplicação em produtos variados. A partir da colaboração da Profa. Dra. Eliane Ayres, docente da Universidade do Estado de Minas Gerais – UEMG, como mentora das atividades realizadas no período da missão de estudos do Programa Nacional de Cooperação Acadêmica na Amazônia - PROCAD/Amazônia (entre maio e setembro de 2022), a análise foi desenvolvida utilizando-se fibras de bananeiras plantadas em propriedade particular na cidade de Carmo do Cajuru – MG.

Para esta análise, partes seccionadas do pseudocaule da bananeira foram secas em estufa a 50 °C por 24 horas e depois trituradas, compondo a amostra de teste. Nesta avaliação, realizada em uma termobalança DTA-60 sob atmosfera de ar sintético (fluxo = 20 mL min⁻¹), um total de 2,743 mg de fibra de bananeira foram colocados em um cadinho de alumínio e aquecidos a partir da temperatura ambiente até 750 °C, com uma razão de aquecimento de 10 °C min⁻¹.

4.5.2 Caracterização mecânica da fibra, do Revestimento Antigo e do Revestimento Novo

Neste ponto da pesquisa, foram realizadas análises de comparação do material e do produto tendo em vista o método e período de confecção, considerando-se que na produção do revestimento foram utilizadas fibras vegetais de bananeira que sofreram um processo de emaranhamento e compactação em moldes. No intuito de promover uma avaliação da resistência mecânica dos primeiros exemplares do revestimento, obtidos há cerca de 6 (seis) anos, em comparação aos revestimentos produzidos no desenvolvimento do atual estudo, procedeu-se primeiramente a avaliação das fibras de forma individual, para posteriormente avaliar-se a resistência mecânica dos revestimentos (antigo e novo). Ambos os revestimentos

foram confeccionados seguindo o mesmo procedimento. Esta análise, portanto, tem caráter comparativo quanto ao nível de degradação das propriedades do material e do produto ao longo do tempo corrido entre a produção dos revestimentos.

Para caracterização mecânica de tais elementos foram realizados ensaios de tração, tanto para as fibras, como para os revestimentos. Os ensaios de tração foram realizados numa máquina universal de ensaios, Modelo BIOPDI 100 kN, com célula de carga de 2000 kgf, no laboratório de ensaios mecânicos do Departamento de Desenho e Tecnologia da Universidade Federal do Maranhão - UFMA.

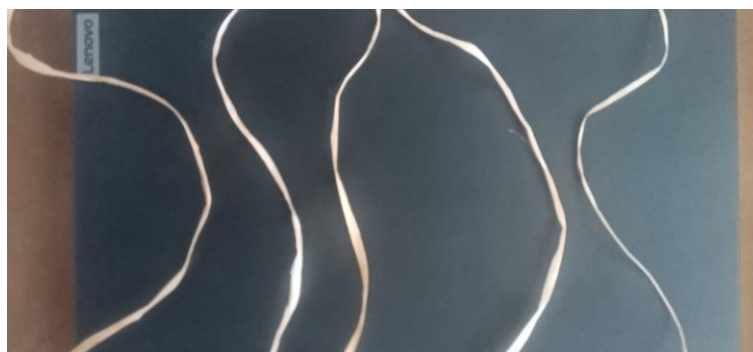
4.5.3 Ensaio de Tração na Fibra

As fibras escolhidas para o ensaio foram coletadas em seu estado natural e, em seguida, secas em estufa a 80°C por 24 horas, sem nenhum tratamento posterior. O ensaio de tração nas fibras se deu, primeiramente, com a seleção de fibras longas e mais homogêneas possíveis, para que fosse possível medir, com a utilização de paquímetro digital, o comprimento, a largura e a espessura da fibra. A Figura 28 (A e B) apresenta as fibras em estado aglomerado de onde foram extraídas as mais adequadas ao ensaio, além das fibras selecionadas.

Figura 28: A) Porção de fibras aglomeradas.



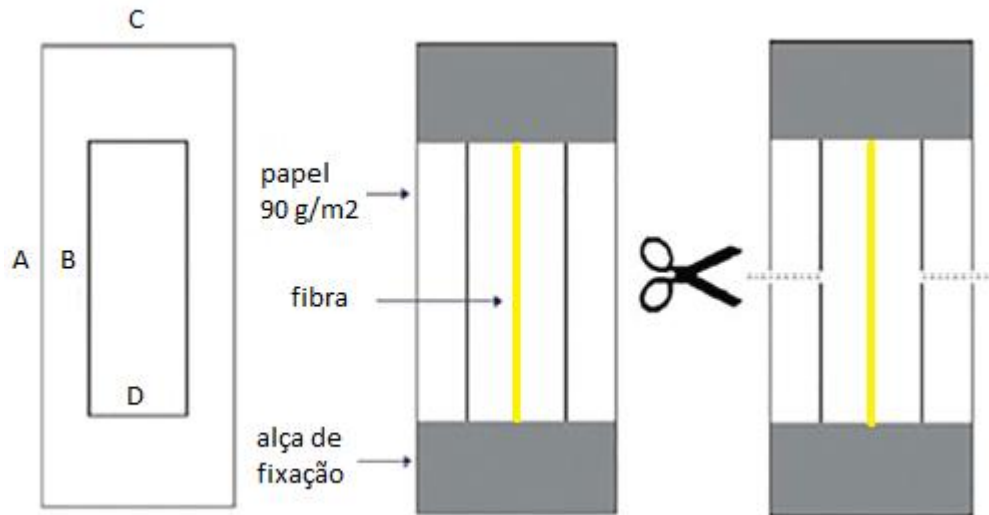
Figura 28: B) Fibras selecionadas para o ensaio.



Fonte: Prof. Dr. Denilson Moreira.

No ensaio, um grupo de três fibras foi utilizado, obedecendo à Norma ASTM C 1557-20. Para tanto, montou-se um dispositivo de fixação para adaptação às garras da máquina de ensaio (Figura 29).

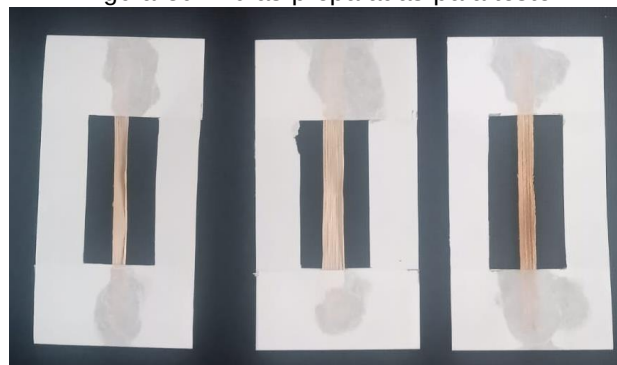
Figura 29: Dispositivo de fixação das fibras para ensaio.



Fonte: Prof. Dr. Denilson Moreira.

As fibras selecionadas foram coladas com cola instantânea ao dispositivo de papel de 90 g/m² com as seguintes dimensões: A = 120 mm, B = 40 mm, C = 40 mm e D = 20 mm, conforme ilustrado na Figura 30 acima. Depois de fixadas as fibras às garras da máquina, foram realizados cortes com tesoura nas regiões pontilhadas. Em seguida, as fibras selecionadas, com dimensões definidas, foram coladas ao dispositivo (Figura 30).

Figura 30: Fibras preparadas para teste.



Fonte: Prof. Dr. Denilson Moreira.

A tensão normal de tração aplicada às fibras foi calculada segundo a Norma ASTM C1557 – 14, obedecendo a expressão $\sigma = \frac{F}{A}$, onde a carga F é dada em Newton (N), a área A é dada em mm² e a tensão em MPa. Para determinação da área dos corpos de prova foram medidas a largura e a espessura, considerando a fibra com secção transversal retangular. Para obter-se a deformação relativa (DR) das fibras ensaiadas, considerou-se o comprimento inicial L₀=40 mm,

pois, $DR = \frac{L}{L_0}$, onde L_0 é o comprimento inicial em mm, L é o comprimento final em mm e DR é a deformação relativa em mm/mm. O ensaio foi realizado com velocidade de avanço de 0,5 mm/min. O posicionamento da fibra colada ao dispositivo de papel na máquina de tração é mostrado na Figura 31 abaixo.

Figura 31: Fibras preparadas para teste.



Fonte: Prof. Dr. Denilson Moreira.

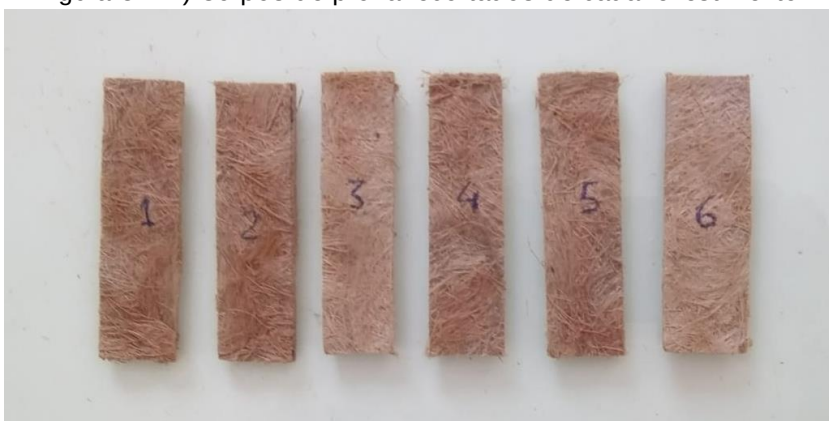
4.5.4 Ensaio de Tração nos Revestimentos (antigo e novo)

Nos ensaios realizados com os produtos prontos, três corpos de prova prismáticos foram retirados de cada revestimento (antigo e novo), obedecendo às seguintes dimensões aproximadas: comprimento de 80 mm, largura de 25 mm e espessura de 3 mm. O ensaio de tração foi realizado obedecendo uma adaptação da Norma ASTM D5035, à uma velocidade de deformação de 05 mm/min. A Figura 32 (A e B) a seguir mostra como os corpos de prova foram retirados dos revestimentos. Foram cortados ao todo 6 (seis) corpos de prova de cada revestimento, e em 3 (três) deles houve ajuste de medidas, o que ocorreu para ambos os revestimentos. Conforme mencionado anteriormente, a caracterização mecânica, neste ponto, detém caráter comparativo quanto à resistência e degradação do material ao longo dos seis anos que separam a primeira e a última produção do revestimento em fibra de bananeira.

Figura 32: A) Posicionamento do corte dos corpos de prova nos revestimentos.



Figura 32: B) Corpos de prova recortados de cada revestimento.



Fonte: Prof. Dr. Denilson Moreira.

A seguir, a Tabela 02 sumariza as dimensões reais utilizadas para realização dos cálculos, tanto para as fibras como para os revestimentos. A variação se deve à não-uniformidade das amostras.

Tabela 02: Fibras preparadas para teste.

Material	Amostra	L Comprimento inicial (mm)	b Largura (mm)	h Espessura (mm)
Fibra	1	40,00	2,16	0,48
	2	40,00	2,91	0,23
	3	40,00	5,30	0,27
Revestimento Antigo	1	50,00	24,00	3,00
	2	51,00	24,60	2,90
	3	51,00	24,80	3,10
Revestimento Novo (mm)	1	51,00	25,10	2,90
	2	51,00	25,05	3,05
	3	50,50	24,80	3,05

Fonte: Prof. Dr. Denilson Moreira.

Uma vez definidos os parâmetros do ensaio de tração, o corpo de prova é fixado à máquina conforme mostra a Figura 33 abaixo:

Figura 33: Fixação do corpo de prova na máquina.



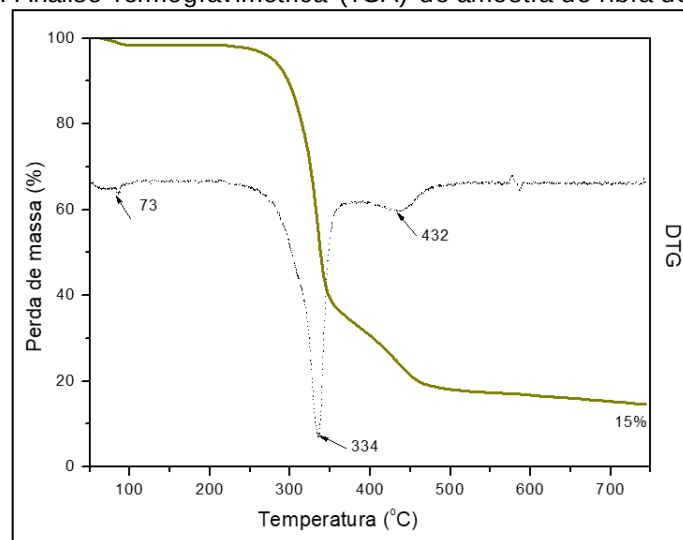
Fonte: Prof. Dr. Denilson Moreira.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Resultados da Análise Termogravimétrica (TGA) das Fibras

Na Figura 34, é possível observar o gráfico resultante da Análise Termogravimétrica realizada nas fibras de bananeira obtidas na região de Carmo do Cajuru – MG.

Figura 34: Análise Termogravimétrica (TGA) de amostra de fibra de bananeira.



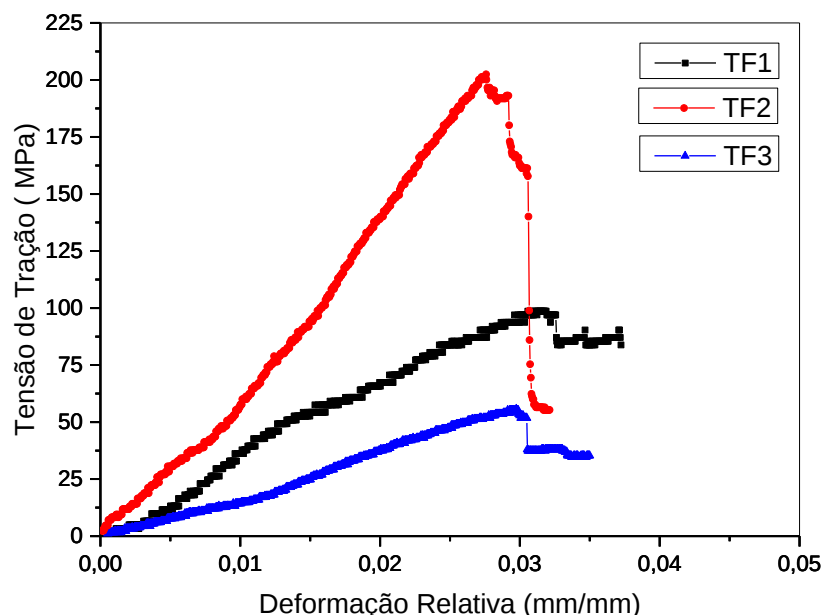
Fonte: Profa. Dra. Eliane Ayres.

Neste experimento, observa-se na curva de TG e a derivada DTG o pico correspondente à temperatura na qual ocorre o máximo de degradação térmica aos 334 °C, correspondente à degradação da celulose, antecedido por um pico aos 73 °C, que corresponde à perda da umidade da fibra e sucedido por outro aos 432 °C correspondente à decomposição da lignina. Vale ressaltar que, a fibra pode ser utilizada até a temperatura de 200 °C que não sofrerá nenhuma alteração física, a não ser a perda de umidade.

5.2 Resultados dos Ensaios de Tração nas Fibras

A Figura 35 apresenta o resultado do ensaio de tração de três fibras selecionadas aleatoriamente. As amostras receberam os códigos TF1, TF2 e TF3 como referência ao termo “Tração na Fibra”.

Figura 35: Gráfico do ensaio de tração nas fibras.



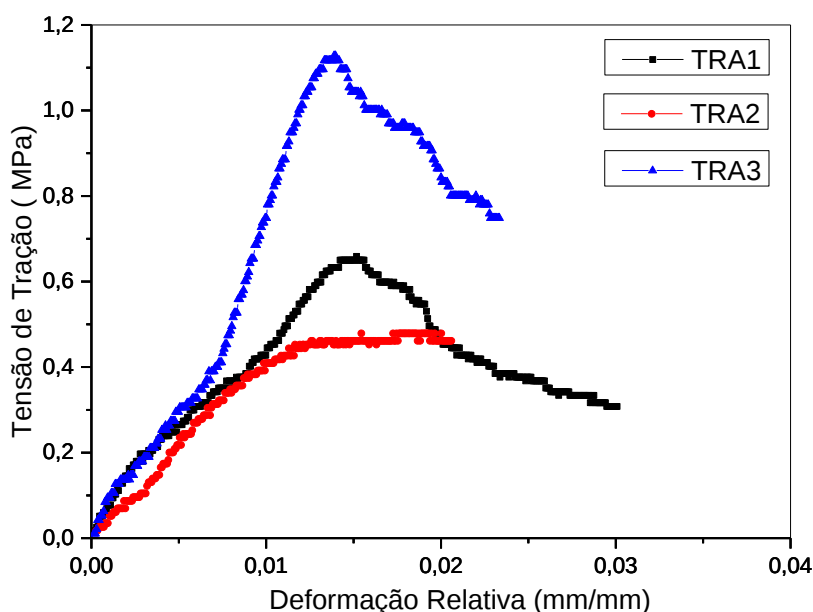
Fonte: Prof. Dr. Denilson Moreira.

O gráfico demonstra que a variação das tensões máximas das fibras é grande, indicando uma não-homogeneidade do material. As tensões máximas encontradas foram de 96,95; 200,13 e 55,71 MPa, o que sugere uma heterogeneidade. Porém, quando se atenta à deformação relativa, percebe-se que este aspecto nas três amostras atingiu a resistência máxima para uma deformação de aproximadamente 0,03 mm/mm, o que pode indicar que a variação de tensão máxima se deve às dimensões da área de cada fibra e não de diferenças internas ao material. Este resultado ratifica o que Subagyo e Chafidz (2018) afirmaram, dizendo que a resistência à tração das fibras do pseudocaule da bananeira varia de 54-754 MPa, com deformação máxima média de 0,029 mm/mm, ou seja, de 2,9%.

5.3 Resultados dos Ensaios de Tração no Revestimento Antigo

A Figura 36 apresenta o resultado do ensaio de tração realizado no revestimento antigo (confeccionado no ano de 2016). Deste produto, foram retirados três corpos de prova. Os corpos de prova foram codificados como TRA1, TRA2 e TRA3, onde TRA significa “Tração no Revestimento Antigo”.

Figura 36: Gráfico do ensaio de tração no revestimento antigo.



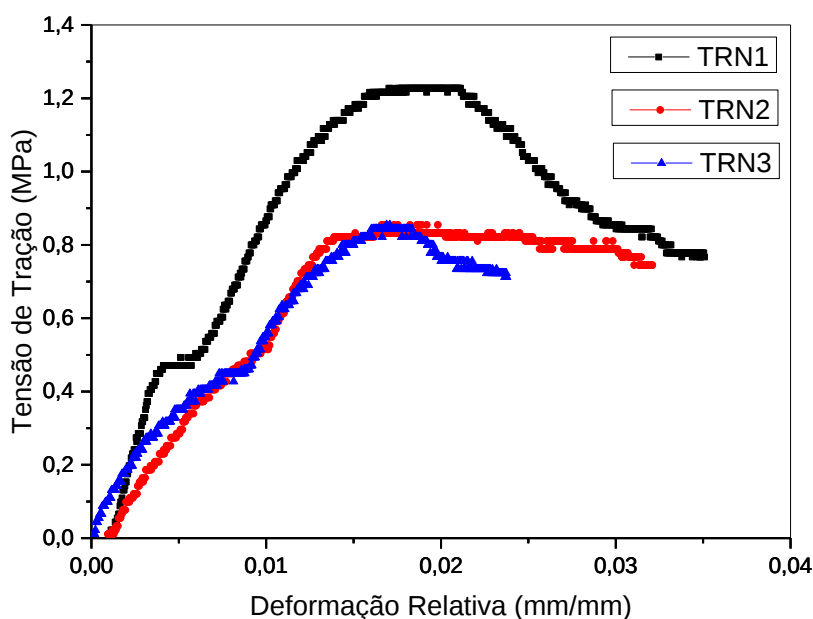
Fonte: Prof. Dr. Denilson Moreira.

Observa-se que os valores de tensão máxima para os três corpos de prova (respectivamente, 0,65; 0,47 e 1,13 MPa) são valores baixos em comparação à resistência máxima das fibras. Em média, a tensão máxima no revestimento antigo se apresenta até 157 vezes menor do que a tensão média máxima das fibras. Esse valor baixo de tensão máxima, em torno de 0,75 MPa (média) enfatiza que as fibras no revestimento apenas se encontram emaranhadas e não se rompem no ensaio, simplesmente tendem a desemaranhar, configurando que as fibras se mantinham emaranhadas devido ao processo de mistura e compactação na elaboração do revestimento. Quando sujeito ao esforço de tração, o desemaranhar das fibras se deu com uma pequena deformação, quando se observa a deformação relativa à tensão máxima. Percebe-se uma deformação relativa média de 0,015 mm/mm, o que significa uma deformação de 1,5% para uma tensão média de 0,75 MPa. Essa pequena deformação possibilita a manipulação manual do revestimento, em aplicações diversas, com a manutenção das dimensões projetadas, ou seja, permite um certo controle dimensional, o que favorece a aplicação sem deformações provenientes da manipulação.

5.4 Resultados dos Ensaio de Tração no Revestimento Novo

A Figura 37 apresenta o resultado do ensaio de tração no revestimento novo (confeccionado no ano de 2023), do qual foram retirados três corpos de prova. Os corpos de prova foram codificados como TRN1, TRN2 e TRN3, onde TRN significa “Tração no Revestimento Novo”.

Figura 37: Gráfico do ensaio de tração no revestimento novo.



Fonte: Prof. Dr. Denilson Moreira.

A análise do gráfico acima permite verificar que, mesmo o revestimento sendo novo, também apresenta valores de tensão máxima média (0,97 MPa), também baixa em comparação à tensão máxima da fibra. Sendo a tensão média do revestimento novo cerca de 121 vezes menor que da fibra. Verifica-se um comportamento semelhante, quando comparado ao revestimento antigo, com pequena elevação na média da tensão máxima (de 0,75 para 0,97 MPa), como também, na média da deformação relativa (de 0,015 para 0,017 mm/mm). Tais resultados direcionam à conclusão de que, com o passar de 7 (sete) anos, o revestimento manteve a qualidade. Ou seja, o envelhecimento pouco prejudica as propriedades mecânicas do revestimento de fibra de bananeira. Valores de tensão máxima e de deformação relativa só demonstram que, na tração, ocorre o desemaranhar das fibras, sem que ocorra o rompimento delas.

A Tabela 03 a seguir sumariza os resultados dos ensaios de tração nas fibras, no revestimento antigo e no revestimento novo. Tais dados facilitam o entendimento da apresentação e discussão em relação aos dados extraídos dos gráficos de tensão X deformação relativa.

Tabela 03: Resultados dos ensaios de tração.

Material	Amostra	Tensão máxima (MPa)	Média ± DP	DR (na tensão máxima) (mm/mm)	Média ± DP
Fibra	TF1	96,95	117,59±74,39	0,031	0,029±0,002
	TF2	200,13		0,027	
	TF3	55,71		0,029	
Revestimento Antigo	TRA1	0,65	0,75±0,34	0,015	0,015±0,001
	TRA2	0,47		0,017	
	TRA3	1,13		0,014	
Revestimento Novo (mm)	TRN1	1,22	0,97±0,21	0,019	0,017±0,001
	TRN2	0,85		0,018	
	TRN3	0,85		0,016	

Fonte: Prof. Dr. Denilson Moreira.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento de produtos físicos guiados pela sustentabilidade dentro de metodologias de Design necessita de estudos com foco especial nos materiais e meios de produção referentes aos objetos em criação. Dada a complexidade destes processos, dificuldades como disponibilidade de recursos financeiros e maior demanda de tempo para as pesquisas podem se tornar impeditivos para que projetos com viés sustentável consigam ser materializados, implantados, comercializados e terem seus impactos avaliados ao longo do tempo.

No presente estudo, buscou-se conceitos e estratégias existentes nos âmbitos do Design para o Ciclo de Vida do Produto, Sistema Produto-Serviço Sustentável e Design para o comportamento sustentável, sob a perspectiva de aplicação de matéria orgânica em um produto cuja finalidade é revestir superfícies diversas sem contato direto com água. A partir de tais abordagens, considerou-se as três esferas da sustentabilidade e a pesquisa foi posicionada, deste modo, especialmente na esfera ambiental, tendo em vista o foco no comportamento e composição dos materiais, seus desempenhos com o passar do tempo e reflexões sobre os respectivos impactos no meio ambiente.

A partir do levantamento dentro da literatura sobre Design e sustentabilidade, foi possível contribuir para o fortalecimento das bases teóricas que alicerçam não somente as discussões que aperfeiçoam métodos e projetos de Design, mas também baseiam possibilidades para evolução prática, no cotidiano de designers. Por transformações práticas, entende-se a princípio como os pontos que tocam a compreensão dos materiais utilizados e seus desdobramentos, a plasticidade e propriedades dos produtos criados e, principalmente, as relações traçadas entre os indivíduos envolvidos no processo criativo. Em complemento, este levantamento teórico ligou-

se, igualmente, ao primeiro objetivo específico definido para a atual pesquisa, que consistia no mapeamento de abordagens de Design guiadas pela sustentabilidade voltadas para criação de produtos e sistemas produtivos.

Ressalta-se que, ao longo da pesquisa, se fez necessário ajustar objetivos e procedimentos para contemplar as possibilidades de trabalho dentro da manipulação da matéria-prima e aplicações dos conceitos teóricos acessados. Apesar da primeira intenção de desenvolver a estrutura de um SPSS para produção de revestimento decorativo em fibra de bananeira, em conjunto com possíveis serviços e atividades complementares ligadas ao artefato, o presente estudo manteve o foco nas estratégias de sustentabilidade no Design a partir da perspectiva da experimentação da matéria-prima. Deste modo, passou-se a estudar as propriedades da fibra de bananeira, voltando-se para o aspecto tangível e de aplicabilidade do material que compõe o produto.

A pesquisa bibliográfica sobre as propriedades da fibra de bananeira e testes mecânicos e de temperatura no material, alinhados ao segundo objetivo específico deste estudo, demonstraram a aplicabilidade desta matéria-prima no propósito pretendido de compor um revestimento modular. Por meio dos resultados obtidos, nota-se o potencial de uso desta fibra orgânica como reforço de compósitos poliméricos em produtos variados em razão de seu baixo custo e redução dos impactos negativos causados pelo descarte dos materiais após a utilização dos produtos. Tais características podem, inclusive, abrir possibilidades para reincorporação dos resíduos resultantes do fim do ciclo de vida do produto de volta às etapas iniciais do processo produtivo. Vale frisar que potencial semelhante pode ser observado não somente com a fibra de bananeira, mas também com outras fibras de origem vegetal, tais como coco, buriti, sisal e jupati.

O uso de matérias-primas orgânicas como as fibras naturais na composição de produtos ainda encontra barreira quanto à durabilidade e resistência destes materiais em comparação a outros. Nesse âmbito, os ensaios de tração apresentados no capítulo 5 foram passos iniciais na demonstração do quanto a fibra de bananeira mantém suas propriedades mecânicas ao longo do tempo, sem que sejam prejudicadas características essenciais à qualidade técnica do material e, por consequência, do produto composto por esta matéria-prima.

Dentro dos resultados obtidos, conforme apresentado no capítulo 5 deste trabalho, comprovou-se resistência da fibra quanto à degradação térmica até os 200°C, a qual manteve as características físicas e apresentou apenas perda de umidade. Quanto às propriedades mecânicas de tração, notou-se grande variação na tensão máxima das três amostras de fibra de bananeira, o que indica a heterogeneidade do material.

Nos experimentos realizados em ambos revestimentos novo e antigo, observou-se que estes possuíam valores de tensão máxima menores que a resistência máxima da fibra. Nos testes, as fibras nos dois tipos de revestimento se desemaranharam em vez de se romperem, apresentando uma pequena deformação que possibilita o manuseio do produto de forma manual

e, portanto, aproveitando métodos artesanais. Por consequência, aumentam as possibilidades de personalização de aplicação do produto em superfícies diversas e mantém-se a facilidade na manutenção. O intervalo de tempo na produção dos dois protótipos de revestimento demonstrou que mesmo o envelhecimento das fibras de bananeira não é capaz de comprometer as propriedades mecânicas da matéria-prima, ou seja, não ocorre comprometimento da qualidade técnica do revestimento ou demais produtos que possam levar este material na composição.

Reitera-se a necessidade de dedicação à pesquisa e aplicação das estratégias de sustentabilidade não somente no Design, como também em esferas diversas, que atendam às demandas sociais, econômicas e ambientais que podem, inclusive, colaborar com as soluções propostas em produtos e serviços com viés sustentável pelo Design. Espera-se que a presente pesquisa contribua nos estudos futuros com a fibra de bananeira para aplicação em tanto em compósitos quanto de forma pura em produtos físicos, processos, ou demais utilizações que somem na redução dos impactos ambientais.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM D5035 – Standard Test Method for Breaking Force and Elongation of Textile Fabrics (Strip Method), 2011.

ASHBY, Michael; JOHNSON, Kara. **Materiais e design**: arte e ciência da seleção de materiais no design de produto. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

BANNA, W. R. E. *et al.* Viabilidade Da Utilização De Compósitos Híbridos Reforçados Com Fibra De Sisal E Pó De Madeira Como Materiais Renováveis. In: **Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química - COBEQ 2014**. São Paulo: Blucher Proceedings, 2015, v. 1, n. 2, p. 13270-13277. ISSN 2359-1757, DOI 10.5151/chemeng-cobeq2014-0259-26300-160202.

BANNA, W. R. E.; PEREIRA, L. C. O.; FUJIYAMA, R. T. Aplicação de Fibras da Bananeira São-Tomé (*Musa Sapientum*, *Musaceae*) em Compósitos Poliméricos. In: **Anais do 68º Congresso da ABM**. São Paulo: ABM Proceedings, 2013, v. 68, n. 68, p. 624-634. ISSN: 2594-5327, DOI 10.5151/2594-5327-22938.

BECKER, D.; KLEINSCHMIDT, A. C.; BALZER, P. S. Compósitos de PVC rígido e fibras de bananeira: efeito do tratamento da fibra. In: **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 3, p. 257-265, 2014. ISSN 1517-7076.

BHAMRA, T.; LILEY, D.; TANG, T. Design for Sustainable Behaviour: Using Products to Change Consumer Behaviour. **The Design Journal**, Londres, v. 14, n. 4, p. 427-445, 2011. DOI: 10.2752/175630611X13091688930453.

BORGES, Adélia. **Design + Artesanato**: o caminho brasileiro. São Paulo: Editora Terceiro Nome, 2011.

BUCHANAN, Richard. Design Research and the New Learning. In: **Design Issues**, Cambridge, Estados Unidos, v. 17, n. 4, p. 3-23, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1162/07479360152681056>.

CALLISTER JR., William D. **Ciência e Engenharia de Materiais**: uma introdução. Tradução de Sérgio Murilo Stamile Soares. 7ª Ed. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2008.

CARDOSO, Rafael. **Uma introdução à história do design**. São Paulo: Blucher, 2008.

CAVALCANTI, A. V.; ARRUDA, A. O.; NONATO, C. B. Sustentabilidade no século XXI: História e possibilidades de avanços através do PSS. In: **Design & Complexidade**, São Paulo: Blucher, 2017, p. 43-60. ISBN: 9788580392159, DOI 10.5151/9788580392159-03.

CROSSAN, M; APAYDIN, M. A Multi-Dimensional Framework of Organizational Innovation: A Systematic Review of the Literature. In: **Journal of Management Studies**, v. 47, n. 6, p. 1154-1191, 2010. DOI: 10.1111/j.1467-6486.2009.00880.x.

DRESCH, A; LACERDA, D. P.; ANTUNES JÚNIOR, J. A. V. **Design science research**: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia. Porto Alegre: Bookman, 2015.

ESCOBAR, Arturo. **Autonomía y diseño**: La realización de lo comunal. Popayán, Cauca: Sello Editorial Universidad del Cauca, 2016.

ESCOBAR, Arturo. ***Designs for the Pluriverse: Radical Interdependence, Autonomy, and the Making of Worlds***. Estados Unidos da América: Duke University Press, 2018.

FARIAS, L. G. D; NORONHA, R. G. **Desenvolvimento de sistemas produto-serviço com grupos produtivos do estado do Maranhão em situação de vulnerabilidade no contexto da crise global do COVID-19**. São Luís, 2021. 39 p. Não publicado.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Banana Market Review 2021**. Roma: FAO, 2022.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T (Org.). **Métodos de Pesquisa**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 7a. ed. São Paulo: Atlas, 2023.

GONÇALVES, Ana Paula Bispo. **Desenvolvimento de compósitos a base de blenda de PET reciclado/PEAD reforçados com fibras de bananeira**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014.

GONÇALVES, A. P. B. *et al.* Caracterização mecânica de fibra de bananeira roxa (Musa Velutina). *In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais*. Cuiabá, 2014, p. 2829-2836.

HESKETT, John. **Desenho industrial**. Rio de Janeiro: José Olympio, 1998.

HEVNER, Alan R. *et al.* Design Science in Information Systems Research. *In: MIS Quarterly*, Minnesota, Estados Unidos, v. 28, n. 1, p. 75-105, 2004. DOI: <https://doi.org/10.2307/25148625>.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção de banana**, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/banana/br>. Acesso em: 03 out 2022.

JACOMETTI, Giselle de Assis. **Utilização de resíduo fibroso do pseudocaule de bananeira na produção de bandejas biodegradáveis de amido de mandioca por processo de termoformagem**. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos), Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2015.

KETT, V. L.; PRICE, D. M. *Thermogravimetry*. *In: GAISFORD, Simon; KETT, Vicky; HAINES, Peter (ed.). Principles of Thermal Analysis and Calorimetry*. Cambridge-UK: Royal Society of Chemistry, 2016. 2a ed. p.18-46.

KRUCKEN, Lia; TRUSEN, Christoph. **A comunicação da sustentabilidade de produtos e serviços**. *In: MORAES, Dijon de; KRUCKEN, Lia (org.). Cadernos de Estudos Avançados em Design: Design e Sustentabilidade I*. 2. ed. Barbacena, MG: EdUEMG, 2013. p. 65-74.

LI K. *et al.* Analysis of the chemical composition and morphological structure of banana pseudo-stem. *In: BioResources*, North Carolina, Estados Unidos, n. 5, p. 576-585, 2010.

MALDONADO, Tomás. *La speranza progettuale: ambiente e società*. 2. ed. Turim: Einaudi, 1971. Col. Nuovo Politecnico, n. 35.

MANZINI, Ezio. **Design para a inovação social e sustentabilidade**: comunidades criativas, organizações colaborativas e novas redes projetuais. Rio de Janeiro: E-papers, 2008.

MANZINI, Ezio; VEZZOLI, Carlo. **O desenvolvimento de produtos sustentáveis**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2008.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MATSUHASHI, N.; KUIJER, L.; DE JONG, A. A Culture-Inspired Approach to Gaining Insights for Designing Sustainable Practices. *In: Anais do EcoDesign 2009: 6th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing*. Sapporo, Japão: The Japan Society of Mechanical Engineers, Dezembro 2009, p. 547-52. Disponível em: <https://studiolab.ide.tudelft.nl/studiolab/kuijer/files/2011/12/EcoDesign2009_Matsuhashi_copyright-JSME.pdf>.

NERY, T. B. R.; SANTOS, Z. I. G.; JOSÉ, N. M. Desenvolvimento e caracterização de biocompósitos de polihidroxibutirato e fibra de bananeira. *In: Revista Matéria*, Rio de Janeiro, v. 23, n. 4, 2018. ISSN 1517-7076.

PAPANEK, Victor. **Design for the real world**. Nova Iorque: Bantam Books, 1973.

PINHEIRO, Luciano Fonseca. **Fibra de bananeira (*Musa sp.*): processo de extração, beneficiamento e sua aplicabilidade em produtos têxteis**. 2021. Dissertação (Mestrado em Têxtil e Moda), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

ROSA, N. C. G. *et al.* Caracterização Por Análise Térmica De Fibras De Bananeira. *In: Anais do 67º Congresso da ABM - Internacional / 12º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas*. Rio de Janeiro: ABM Proceedings, 2012, v. 67, n. 67, p. 4067-4074. ISSN: 2594-5327, DOI 10.5151/2594-5327-21615.

SANTOS, Aguinaldo dos. **Níveis de maturidade do design sustentável na dimensão ambiental**. *In: MORAES, Dijon de; KRUCKEN, Lia (org.). Cadernos de Estudos Avançados em Design: Design e Sustentabilidade I*. 2. ed. Barbacena, MG: EdUEMG, 2013. p. 19-32.

SANTOS, A. P. B.; JARDIM, N. R. T. Biocompósito de resíduo de jupati aplicado a produtos artesanais. *In: 7º Simpósio Design Sustentável*. São Paulo: Blucher Proceedings, 2019, v. 6, n. 3, p. 424-435. ISSN: 2318-6968, DOI 10.5151/7dsd-2.2.039.

SANTOS, Kátia Maria Pacheco dos. **A atividade artesanal com fibra de bananeira em comunidades quilombolas dos Vale do Ribeira (SP)**. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

SETTE, S. S. K.; MORGENSTERN, E. Produção artesanal com fibras naturais e abordagem social: perspectivas sustentáveis. *In: Anais do GAMPI Plural*. São Paulo: Blucher Proceedings, 2018, v. 4, n. 4, p. 119-131. ISSN 2318-6968, DOI 10.5151/gampi2017-11.

SILVA, Juliana Gutierrez da. **Polpa de fibra de bananeira para produção de polímeros de bioplástico**. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais), Universidade de Taubaté, Taubaté, 2018.

SIMMONDS, N. W. Classification and Breeding of Bananas. *In*: PERSLEY, G. I.; DE LANGHE, E. A. (ed.). **Banana and plantain breeding strategies**. Austrália: ACIAR Proceedings, n. 21, 1987. 187p.

SOUSA, R. C.; PERPÉTUO, N. C. F. Fibra de buriti (*Mauritia Flexuosa* Mart.): Características e aplicações. *In*: **Anais do 12º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design**. São Paulo: Blucher Proceedings, 2016, v. 9, n. 2, p. 4316-4326. ISSN: 2318-6968, DOI: 10.5151/despro-ped2016-0371.

SUBAGYO, A.; CHAFIDZ, A. Banana Pseudo-Stem Fiber: Preparation, Characteristics, and Applications. *In*: **Banana Nutrition-Function and Processing Kinetics**. Intech Open, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.82204>.

THE 17 GOALS. **UNITED NATIONS**, 2023. Disponível em: <<https://sdgs.un.org/goals>>. Acesso em: 04 abr. 2023.

VEZZOLI, Carlo *et al.* **System Design for Sustainability in Practice: Methods, tools and guidelines to design Sustainable Product-Service Systems applied to Distributed Economies**. Itália: Maggioli Editore, 2022. DOI: <https://doi.org/10.30448/UNI.916.55745>

VEZZOLI, C.; KOHTALA, C.; SRINIVASAN, A. **Sistema Produto + Serviço Sustentável: Fundamentos**. Curitiba: Insight, 2018.

VEZZOLI, C.; PARRA, B. G.; KOHTALA, C. (ed). **Designing Sustainability for All: The Design of Sustainable Product-Service Systems Applied to Distributed Economies**. London: Springer, 2021. ISBN 978-3-030-66300-1, DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-66300-1>

WEARN, Y. N.; MONTAGNA, L. S.; PASSADOR, F. R. Compósitos de fibra de coco/LDPE: efeito do tratamento superficial das fibras de coco em compósitos verdes. *In*: **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, 2020, v. 25, n. 1. ISSN 1517-7076.