

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN
MESTRADO EM DESIGN

GABRIELA RODRIGUES DE FREITAS

**DA NATUREZA À INOVAÇÃO: USO DO TANINO E FIBRAS DO COCO VERDE
NA CRIAÇÃO DE PAPEL RECICLADO**

São Luís - MA
2025

GABRIELA RODRIGUES DE FREITAS

**DA NATUREZA À INOVAÇÃO: USO DO TANINO E FIBRAS DO COCO VERDE
NA CRIAÇÃO DE PAPEL RECICLADO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal do Maranhão, como requisito à obtenção do título de mestre em Design.

Orientador: Profa. Dra. Ana Lúcia Alexandre de Oliveira Zandomeneghi

Área de concentração: Design de Produtos

Linha de Pesquisa: Materiais, Processos e Tecnologia

São Luís
2025

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

Freitas, Gabriela Rodrigues de.

Da natureza à inovação : uso do tanino e fibras do coco verde na criação de papel reciclado / Gabriela Rodrigues de Freitas. - 2025.

120 p.

Orientador(a): Ana Luí#769;cia Alexandre de Oliveira Zandomeneghi.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Design/ccet, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2025.

1. Design de Materiais. 2. Sustentabilidade. 3. Design Sistemico. I. Zandomeneghi, Ana Luí#769;cia Alexandre de Oliveira. II. Título.

AGRADECIMENTOS

À minha família e aos queridos novos amigos feitos no mestrado, muito obrigada pelo incentivo, encorajamento e suporte.

À minha orientadora Prof^a. Dr^a. Ana Lúcia Alexandre Zandomeneghi, muito obrigada por todo auxílio, suporte e conhecimento compartilhado ao longo da jornada de escrita e conclusão deste trabalho.

Ao professor Denilson Santos pelo irrestrito auxílio, atenção e conhecimento compartilhado durante a execução dos testes no laboratório do Departamento de Design da UFMA.

Ao professor Andrei Rezende do Departamento de Engenharia Mecânica da UFMA pela cooperação e disponibilidade de ajuda na elaboração dos testes em seu laboratório.

À todos os professores do PPGg-UFMA, muito obrigada por todo acolhimento e instruções distribuídas tanto nas disciplinas ministradas quanto em momentos de consulta e suporte ao longo do curso.

Aos professores do BiCT que contribuíram, mesmo que pontualmente, com os seus conhecimentos técnicos necessários para este trabalho.

Por fim, agradeço a todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para o desenvolvimento e realização desta pesquisa. Muito obrigada!

RESUMO

A presente dissertação investiga a criação de um novo material sustentável, à base de papel reciclado, com aditivos extraídos do coco verde descartado na cidade de São Luís (MA), fundamentando-se nos princípios do design sistêmico. A motivação da pesquisa parte do cenário de crescente produção e descarte do coco verde na região, aliado à escassez de soluções eficazes para o reaproveitamento desse resíduo. Considerando as propriedades químicas e físicas promissoras do tanino e das fibras presentes no fruto, a pesquisa busca validar sua aplicação como aditivos para melhora da performance em compósitos que tenham o papel reciclado como base. A metodologia adotada é de natureza aplicada, com abordagem quantitativa e caráter exploratório, combinando revisão bibliográfica e experimentação laboratorial. A investigação demonstrou que o tanino, quando adicionado em pó ao papel reciclado, contribui para uma maior impermeabilidade do material, enquanto a fibra de coco melhora sua resistência à tração. Os resultados obtidos indicam um avanço na performance do papel reciclado, revelando o potencial de uso dos resíduos do coco verde no desenvolvimento de novos materiais sustentáveis e alinhados às práticas que contribuam para um ecossistema de reaproveitamento de resíduos. A pesquisa contribui, assim, para o campo do design de materiais ao propor soluções locais para um problema ambiental urgente, com viés inovador e impacto positivo em escala social, ambiental e econômica.

Palavras-chave: design de materiais; sustentabilidade; design sistêmico.

ABSTRACT

This dissertation investigates the creation of a new sustainable material based on recycled paper, incorporating additives extracted from discarded green coconut waste in the city of São Luís (MA), grounded in the principles of systemic design. The motivation for this research stems from the growing production and disposal of green coconuts in the region, coupled with the lack of effective solutions for repurposing this type of waste. Considering the promising chemical and physical properties of tannin and coconut fibers, the study aims to validate their application as performance-enhancing additives in composites with recycled paper as the base material. The adopted methodology is applied in nature, with a quantitative approach and exploratory objectives, combining bibliographic review and laboratory experimentation. The investigation demonstrated that tannin powder improves the water resistance of recycled paper, while coconut fiber enhances its tensile strength. The results indicate a significant performance improvement of the recycled paper, revealing the potential use of green coconut waste in the development of new sustainable materials aligned with practices that contribute to a waste reuse ecosystem. This research, therefore, contributes to the field of materials design by proposing local solutions to an urgent environmental issue, with an innovative approach and positive social, environmental, and economic impacts.

Keywords: materials design; sustainability; systemic design.

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 - Protocolo utilizado na RSL.....	19
Quadro 02 - Palavras-chave utilizadas na pesquisa de literatura.....	20
Quadro 03 - Associações entre palavras-chave utilizadas na RSL.....	20
Quadro 04 - Conjunto de Consideração Inicial dos Resultados em Português.....	21
Quadro 05 - Conjunto de Consideração Inicial dos Resultados em Inglês.....	21
Quadro 06 - Literatura selecionada resultante da RSL.....	22
Quadro 07 - Análise Descritiva.....	24
Quadro 08 - Tabela-síntese das propriedades, aplicações e potenciais usos dos resíduos do coco verde em materiais alternativos sustentáveis.....	30
Quadro 09 - Quadro-síntese das propriedades, aplicações e potenciais usos dos tanino do coco verde em materiais alternativos sustentáveis.....	55
Quadro 10 - Etapas e procedimentos da pesquisa.....	63
Quadro 11 - Quadro-síntese da descrição e proporção de cada tipo de corpo de prova.....	79
Quadro 12 - Quadro-síntese das pesagens e resultados encontrados no Teste de Cobb utilizando 20g de água e 2 minutos de duração.....	85
Quadro 13 - Quadro de valores da taxa de absorção de água das amostras.....	86
Quadro 14 - Quadro de valores da força máxima suportada pelas amostras.....	91
Quadro 15 - Quadro de valores do limite de resistência das amostras avaliadas....	94
Quadro 16 - Quadro dos valores médios da taxa de absorção de água de cada grupo.....	100
Quadro 17 - Quadro dos valores médios do limite de resistência à tração de cada grupo.....	102

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 - Taxa de Absorção de Água x Grupos de Corpos de Prova..... 101

Gráfico 02 - Taxa de Resistência à Tração x Grupos de Corpos de Prova..... 103

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Identificação das partes do coco verde.....	29
Figura 2 - Inserção do tema/objeto de pesquisa a partir das leituras feitas na RSL	31
Figura 3 - Composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos.....	35
Figura 4 - Canal logístico convencional esquemático.....	38
Figura 5 - Canais de comercialização do coco verde no Brasil.....	39
Figura 6 - Esquema da composição dos materiais compósitos.....	42
Figura 7 - Objetivos para o desenvolvimento sustentável abordados por materiais compósitos que utilizam resíduos como componentes.....	44
Figura 8 - Diagrama ilustrando os benefícios da implementação do design sistêmico na cadeia de um produto ou serviço.....	47
Figura 9 - Diagrama relacionando as etapas do design sistêmico com esta dissertação.....	49
Figura 10 - Morfologia dos cocos em seus diversos formatos.....	51
Figura 11 - Imagens de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) das fibras do coco verde mostrando a sua superfície externa (a), a sua morfologia interna longitudinalmente (b) e um corte mostrando a sua morfologia interna transversalmente(c).....	53
Figura 12 - Imagem de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) dos grânulos do tanino condensado em pó.....	55
Figura 13 - Placa produzida pela NaturLoop utilizando resíduos do coco verde.....	57
Figuras 14, 15 e 16 - Placa CocoPallet (esquerda), comparação de empilhamento entre pallets convencionais e coco pallets (centro) e teste de resistência com carga estática 2000kgs (direita).....	58
Figura 17 - Diagrama fornecido pela Cocona Labs explicando os benefícios do seu tecido.....	58
Figura 18 - Simulação de uso de sementes com o substrato Jelli Grow.....	60
Figura 19 - Simulação de uso do papel feito com resíduos de coco.....	61
Figura 20 - Infográfico com etapas de preparo e teste das fibras extraídas do mesocarpo do coco verde.....	65

Figura 21 - Mosaico de imagens ilustrando diferentes usos do papel reciclado e/ou reforçado com fibras naturais, tais como (a) papel Hexcell para proteção de diversos itens substituindo o plástico bolha em embalagens, (b) “Paper Softwall” desenvolvida pela Molo Design como módulos de divisão de ambientes, (c) papel reciclado A4 fabricado no Brasil pela Chamex, (d) cortinas feitas com papel reforçado com fibra de arroz criados pela Wood & Washi, (e) e (f) papel de parede texturizado e reforçado com fibras de Abacá criado por Phillip Jeffries.....	67
Figura 22 - Roteiro de etapas e procedimentos de elaboração dos corpos de prova e ensaios a serem realizados.....	68
Figura 23 - Mosaico de imagens ilustrando (a) versão original do equipamento Cobb Tester e (b) vista isométrica digital do mecanismo criado pela autora para executar o teste de Cobb.....	69
Figura 24 - Mosaico de imagens ilustrando (a) Equipamento Biopdi MBIO-II no laboratório do Departamento de Design da UFMA e (b) garras utilizadas para fixação dos corpos de prova.....	71
Figura 25 - Mosaico de imagens ilustrando (a) cocos descartados em depósito no COHAJAP, (b) cocos adquiridos completos, ainda com água no seu interior, (c) coco antes da abertura para retirada de água, (d) coco com a abertura por onde foi retirada a água e (e) coco partido em 4 partes e com a “quenga” central já retirada, possibilitando a visualização das fibras do mesocarpo.....	74
Figura 26 - Parte das fibras, ainda levemente úmidas, que foram retiradas manualmente das cascas de coco abertas.....	75
Figura 27 - Fibras após o processo de secagem ao ar livre.....	75
Figura 28 - Mosaico com imagens do processo de amolecimento do papel sendo (a) os papéis picotados à mão e depositados no recipiente ainda sem água e (b) os papéis amolecidos após 12 horas de imersão.....	76
Figura 29 - Mosaico com imagens ilustrando (a) os papéis em processo de trituração no liquidificador e (b) o papel já triturado e acomodado em recipiente plástico.....	77
Figura 30 - Diagrama com formação e significados dos códigos dos corpos de prova.....	78
Figura 31 - Diagrama ilustrativo da confecção das folhas de papel reciclado em	

meio aquoso.....	80
Figura 32 - Mosaico com as imagens que ilustram (a) adição de metade da quantidade da polpa de papel reciclado na tela de serigrafia, (b) adição das fibras de coco já cortadas em pedaços de 5cm de comprimento, (c) adição do tanino condensado em pó, (d) adição da segunda metade da polpa de papel reciclado e (e) transferência o do compósito da tela de serigrafia para tecido em algodão para iniciar o processo de secagem.....	81
Figura 33 - Corpos de prova no local de secagem, onde ficaram por 72 horas.....	82
Figura 34 - Corpos de prova devidamente cortados e identificados.....	83
Figura 35 - Mecanismo confeccionado para o teste de Cobb em (a) vista superior e (b) vista frontal.....	84
Figura 36 - Imagem ilustrando as etapas da transformação da amostra da sua forma inicial até o seu formato final em “gravata”.....	88
Figura 37 - Mosaico com imagens ilustrando (a) a Máquina de Ensaio Universal INSTRON EMIC 23-100 no laboratório de testes do Departamento de Engenharia Mecânica, (b) uma das amostras fixada nas garras da máquina no início do teste e (c) uma das amostras durante a execução do teste.....	89
Figura 38 - Mosaico com imagens ilustrando (a) a Máquina Universal de Ensaio Biopdi MBIO-II no laboratório de testes do Departamento de Design, (b) uma das amostras fixada nas garras da máquina no início do teste.....	90
Figura 39 - Imagem com 03 tipos de amostra, com a proporção de aditivos aumentando da esquerda para a direita.....	96
Figura 40 - Imagem ilustrando o antes e depois das amostras após o primeiro teste - sendo o “depois” a amostra da direita com a marca do cilindro metálico pressionado contra a superfície da amostra.....	97
Figura 41 - Imagem ilustrando o estado do corpo de prova sem aditivos após a finalização do segundo ensaio (acima) e o estado dos corpos de prova intermediários após o mesmo ensaio (abaixo).....	98
Figura 42 - Imagem ilustrando o estado do corpo de prova com a maior proporção de aditivos após a finalização do segundo ensaio.....	99

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
UFMA	Universidade Federal do Maranhão
FAOSTAT	Food and Agriculture Organization of the United Nations
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RSL	Revisão Sistemática de Literatura
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
SNIS	Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	16
1.1 Contextualização.....	17
1.2 Delimitação do Problema de Pesquisa.....	18
1.2.1 Revisão Sistemática de Literatura (RSL).....	20
1.2.2 Pergunta de Pesquisa.....	20
1.2.3 Critérios para Protocolo de Pesquisa da RSL.....	20
1.2.4 Conjunto de Consideração Inicial.....	22
1.2.5 Análise Descritiva dos Achados.....	25
1.2.6 Síntese.....	29
1.3. Objetivos.....	33
1.3.1 Objetivo geral.....	33
1.3.2 Objetivos específicos.....	33
1.4 Justificativa.....	33
1.5 Guia de leitura da dissertação.....	35
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	35
2.1 A problematização dos resíduos sólidos urbanos.....	35
2.1.1 Problemas com o resíduo do coco verde no Brasil e em São Luís.....	37
2.1.2 Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) do Coco Verde.....	38
2.1.3 Normas e Regulamentações.....	41
2.2 Materiais Compósitos.....	43
2.2.1 Novas oportunidades alinhadas com a sustentabilidade.....	44
2.3 Design a partir de resíduos.....	45
2.3.1 Design Sistêmico.....	46
2.3.2 Impactos dessa abordagem aplicados ao cenário local.....	49
2.4 A Caracterização dos Elementos do Coco Verde.....	51
2.2.1 Características e propriedades das fibras casca do coco verde.....	53
2.2.2 Características e propriedades do tanino.....	55

2.2.3 Estudos de caso de reaproveitamento e aplicações dos resíduos do coco.....	57
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	63
3.1. Metodologia.....	63
3.1.1 Classificação da Pesquisa.....	63
3.2 Etapas e Métodos.....	64
4. ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	74
4.1 Processo produtivo.....	74
4.2 Análise dos corpos de prova.....	99
4.3 Análise dos resultados.....	104
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS	109
5.1 Considerações finais.....	109
5.2 Novos materiais e design sistêmico.....	110
5.3 Sugestões para estudos futuros.....	111
REFERÊNCIAS.....	112
APÊNDICES.....	121

1. INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

Nos últimos anos o impacto das mudanças climáticas têm ficado cada vez mais evidente para a população global. Temperaturas extremas, desequilíbrio dos ciclos dos ecossistemas e as crescentes consequências na saúde e qualidade de vida dos habitantes deste planeta (IPCC, 2023) vem disparando uma série de preocupações e questionamentos quanto às nossas atitudes e as suas repercussões no nosso futuro coletivo.

O Brasil, segundo o relatório anual do programa ambiental das Nações Unidas, é o sexto país que mais emite gases nocivos para a atmosfera. Na mais recente publicação deste documento, foi relatada uma redução de 2,5% na quantidade total de gases emitidos pelo país (2023), o que reflete a existência de um incentivo e implementação de esforços para a reversão do quadro de emergência. No entanto, o mesmo documento informa que esta diminuição ainda está abaixo do necessário para a diminuição da temperatura da terra e igualar aos parâmetros da era pré-industrial (parâmetro de segurança utilizado para o equilíbrio das condições climáticas).

Dentro do âmbito da poluição e emissão de gases, um ponto que chama atenção é a produção excessiva de resíduos gerados pelo ser humano diariamente. Segundo o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil elaborado em 2020 pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), 45,30% dos resíduos gerados no perímetro urbano - coleta diária de lixo das residências e limpeza urbana - são compostos por sobras e perdas de alimentos, resíduos verdes e madeiras.

Dentre os resíduos que se acumulam diariamente por todas as cidades deste país, um elemento que se repete nos resíduos encontrados nos aterros das cidades litorâneas são as cascas de coco verde (*Cocos nucífera*). No Brasil, anualmente são produzidos em média 1.639 bilhões de unidades de coco verde (IBGE, 2021) e

apenas 10% dos resíduos são reaproveitados, gerando toneladas de lixo sem destinação ou reuso adequado (BBC Brasil, 2014).

Tais dados demonstram a urgência de atitudes que melhorem esta situação para garantir a continuidade da existência humana. Observando este cenário, indaga-se a possibilidade de resolução de parte desse problema utilizando ferramentas e criações por meio do design. Segundo Papanek (1997), é de alta importância que os designers deem a sua contribuição para o mundo com soluções novas ou que tragam criações para refazer algo de forma melhor. Este campo, enquanto esfera de ação, é munido de possibilidades e ferramentas essenciais para a criação de soluções sustentáveis, auxiliando para a melhora do quadro ambiental, econômico e social de nosso país.

Isto posto, os problemas tratados nesta dissertação de mestrado foram abordados de uma forma integrada a fim de trazer soluções e repensar o modo como são manejados os resíduos do coco verde na cidade de São Luís. Foi proposta a criação de um material compósito que faz proveito das propriedades e elementos químicos presentes nas cascas de coco descartadas no município - especificamente a fibra e o tanino - por métodos de design guiados pelos princípios do Design Sistêmico.

1.2 Delimitação do Problema de Pesquisa

A produção de coco verde representa um mercado que movimenta em torno de 12 bilhões de dólares americanos por ano em todo o mundo (Maximize Market Research, 2023). O Brasil, segundo dados fornecidos pela Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAOSTAT), é o quinto maior produtor de coco verde entre todas as nações (2022). No ano de 2022, que foi o último ano em que as informações foram atualizadas pela organização, o país produziu 2.744.418 toneladas do fruto em questão.

Com o aumento do consumo dos produtos a base de coco (água de coco, óleo de coco, coco ralado, leite de coco, etc) e com *forecast* de mercado entre 2024 - 2030 prevendo um aumento de 7% da demanda de produção deste fruto, o que equivale a 7 bilhões de dólares americanos (Maximize Market Research, 2024), a quantidade

de resíduos pós-processamento do coco é alarmante, dado que 85% do material utilizado se torna rejeito não reciclável após o consumo (VELOSO et al, 2013; ROSA et al, 2008; SANTOS et al, 2008).

Mantendo o foco no nosso país, a região Nordeste, onde a cidade de São Luís está inserida, é a que mais sofre com o descarte e acúmulo destes resíduos, pois nela está localizada a maior concentração de produtores do fruto (IBGE, 2021). Ademais, a produção ocorre durante o ano inteiro, dado que o coco verde não possui sazonalidade (Oliveira, 2022). Com isso, o acúmulo de rejeitos é feito sem interrupção, tornando-se um problema de saneamento e limpeza urbana.

Em São Luís, segundo dados informados em entrevista com o Dr. Harvey Alexander Villa Vélez, engenheiro de alimentos integrante do Movimento Ecoa São Luís, são coletadas 200 toneladas por semana pelo departamento de limpeza urbana, 10 toneladas por semana nos pontos de coleta seletiva, além de 40 a 50 toneladas por semana por apenas uma das diversas empresas privadas de água de coco locais (Vélez, 2024). O Movimento Ecoa, vale a pena comunicar, é uma parceria entre a Universidade Federal do Maranhão, Prefeitura de São Luís e a Secretaria Municipal de Obras e Serviços Públicos com o intuito de trazer educação para a população acerca das políticas, normas e fiscalização sobre os resíduos de coco verde, vidro e resíduos da construção civil, o que a faz uma das poucas iniciativas locais que tem o coco verde dentro do escopo de incentivo ao descarte correto.

Tendo em vista esse cenário, que tende a se agravar com o aumento da demanda do coco, essa pesquisa investiga as possibilidades de reuso das cascas de coco verde, bem como as substâncias retiradas dessas cascas, no desenvolvimento de materiais/produto sustentável a fim de diminuir o impacto gerado pelo consumo deste fruto. Com isso, dentro do rol de possibilidades que foram exploradas dentro deste assunto, mostrou-se necessária a elaboração de uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL) para auxiliar na consolidação do conhecimento que serviu de base para a presente dissertação. Isto posto, no próximo tópico deste texto, foi feita uma investigação do estado da arte das pesquisas voltadas para esta temática, identificando as potencialidades deste campo e assim identificando e delimitando um sólido problema de pesquisa a ser solucionado.

1.2.1 Revisão Sistemática de Literatura (RSL)

Para esta RSL foi adotada a metodologia proposta por Galvão e Pereira (2014), onde os autores propõem que seja feito um protocolo sistematizado que sirva de guia e catalogação dos achados da pesquisa. Em resumo, as etapas consistem em: (1) elaboração da pergunta de pesquisa; (2) busca na literatura com critérios de filtragem padronizados; (3) seleção dos artigos; (4) extração dos dados; (5) síntese dos dados (metanálise); (6) avaliação das evidências; e (7) redação e publicação dos resultados.

1.2.2 Pergunta de Pesquisa

Como forma de conduzir a RSL tendo ciência do cenário onde o problema de pesquisa se enquadra, foi usada como pergunta norteadora a seguinte indagação: *“Como o resíduo do coco verde pode ser aproveitado como matéria prima para novos produtos?”*.

1.2.3 Critérios para Protocolo de Pesquisa da RSL

Para um melhor entendimento de como foi feito o processo de pesquisa e leitura das peças de literatura utilizadas na investigação do tema, foram elaborados os quadros a seguir com todos os critérios utilizados para inclusão e exclusão do material encontrado nas bases de dados online selecionados, período temporal, base de dados utilizadas, tipos de documentos analisados e a áreas de concentração destes documentos (Quadro 01).

Quadro 01 - Protocolo utilizado na RSL.

Base de Dados	Science Direct, BDTD, Periódicos CAPES
Tipos de documentos	Artigos, Dissertações, Teses e Capítulos de Livros
Área de concentração	Design Industrial; Design de Produto; Engenharia de Materiais;
Período	2014 - 2024
Idioma	Português, Inglês

CrITÉRIOS de Inclusão	Artigos, dissertações ou teses que abordem: → Produtos e/ou soluções comprovadas que utilizam o resíduo do coco verde como parte da matéria-prima; → Estudos que analisem as propriedades do coco verde enquanto matéria-prima para desenvolvimento de novos materiais e produtos; → Estudos sobre possíveis usos dos resíduos do coco verde e seus componentes químicos em andamento/ fase de investigação;
CrITÉRIOS de Exclusão	Artigos repetidos; artigos que foquem em soluções que fogem da área do Design; literatura disponível apenas em mídia física.

Fonte: A autora (2025).

Após a delimitação do protocolo de pesquisa, foram selecionadas as palavras-chave que se relacionam diretamente com o tema e escopo desta pesquisa. Os conceitos-chave utilizados podem ser identificados no Quadro 02 a seguir. Como forma de efetuar o cruzamento de conteúdos relacionados às palavras-chave bem como permitir a filtragem do material, foi utilizado nas pesquisas em ambos os idiomas - português e inglês - o operador booleano “AND”. As associações utilizadas para as pesquisas, utilizando o operador booleano e as palavras-chave, estão explicitadas no Quadro 03.

Quadro 02 - Palavras-chave utilizadas na pesquisa de literatura.

	Português	Inglês
Palavras-chave utilizadas na pesquisa	Design de Materiais	Materials Design
	Reaproveitamento de Resíduos	Waste Recycling
	Coco Verde	Green Coconut
	Sustentabilidade	Sustainability
	Design de Produto	Product Design

Fonte: A autora (2025).

Quadro 03 - Associações entre palavras-chave utilizadas na RSL.

	Português	Inglês
Palavras-chave X Operador Booleano	Design de Materiais “AND” Coco Verde	Materials Design “AND” Green Coconut
	Reaproveitamento de Resíduos “AND” Coco Verde	Waste Recycling “AND” Green Coconut

	Coco Verde “AND” Design de Produto	Green Coconut “AND” “Product Design”
	Sustentabilidade “AND” Coco Verde	Sustainability “AND” Green Coconut

Fonte: A autora (2025).

1.2.4 Conjunto de Consideração Inicial

Após a delimitação e finalização de todo o protocolo, foi dado início às pesquisas com base nas associações vistas no Quadro 03. O resultado bruto obtido nas bases de dados selecionadas nesta rodada inicial de captação de material estão ilustrados nos Quadros 04 e 05 a seguir, onde cada um separa os resultados pelos idiomas pesquisados.

Quadro 04 - Conjunto de Consideração Inicial dos Resultados em Português.

Associações das Palavras-Chave em Português	Resultados nas Base de Dados		
	BDTD	Science Direct	Periódicos CAPES
“Design de Materiais” AND “Coco Verde”	13	5	0
“Reaproveitamento de Resíduos” AND “Coco Verde”	9	0	0
“Coco Verde” AND “Design de Produto”	36	0	0
“Sustentabilidade” AND “Coco Verde”	58	0	0
Somatório Total	118	5	0

Fonte: A autora (2025).

Quadro 05 - Conjunto de Consideração Inicial dos Resultados em Inglês.

Associações das Palavras-Chave em Inglês	Resultados nas Base de Dados		
	BDTD	Science Direct	Periódicos CAPES
“Materials Design” AND “Green Coconut”	9	1.033	0
“Waste Recycling”	7	796	0

AND “Green Coconut”			
“Green Coconut” AND “Product Design”	6	743	0
“Sustainability” AND “Green Coconut”	11	898	0
Somatório Total	33	3.470	0

Fonte: A autora (2025).

Após a exclusão de artigos duplicados e dos que não tinham aderência à pesquisa, foram selecionados 65 trabalhos de maior relevância para o presente estudo. A seleção inicial foi feita com base nos títulos, área de concentração e palavras-chave. Em seguida, foi feita uma segunda filtragem do material de relevância com base na leitura dos resumos e introdução e conclusão de cada obra.

A partir deste critério de eliminação, foram selecionadas 8 produções bibliográficas entre artigos e dissertações produzidas entre os anos de 2014 e 2024. Cada artigo e dissertação foi lido e analisado de forma exaustiva a fim de extrair o máximo de informações possíveis que pudessem contribuir para o presente artigo. Os principais dados foram organizados e catalogados de forma que houvesse interligações entre os conceitos abordados por esta revisão.

Os artigos e dissertações selecionados para leitura e avaliação desta revisão sistemática de literatura (RSL) estão apresentados no Quadro 06 a seguir.

Quadro 06 - Literatura selecionada resultante da RSL.

ID Texto	Autor / Autores	Título do Artigo / Dissertação / Tese / Capítulo	Ano	Temas Abordados	Objetivo(s)
N.01	MORBECK, F.	Caracterização do mesocarpo de coco verde e sua aplicação como compósito	2017	Reaproveitamento de Resíduos, Sustentabilidade, Coco Verde	Avaliar as propriedades químicas do mesocarpo do coco verde, seu potencial de emprego para extração de taninos e sua capacidade adesiva em painéis aglomerados fabricados com resíduo de coco verde, analisando assim o uso do mesocarpo do coco verde em dois segmentos industriais distintos.
N.02	NUNES, L; <i>et al</i>	Waste green coconut shells:	2020	Coco Verde, Reaproveitamento	O objetivo deste artigo é identificar e mapear os principais pontos de

		Diagnosis of the disposal and applications for use in other products		de Resíduos, Design de Produto	consumo onde ocorre o descarte de cascas de coco verde ao longo da Costa Sul da Bahia, a fim de gerar subsídios para a organização do uso desse material. Isso inclui a caracterização das áreas de desperdício, avaliação das incertezas nos dados coletados e síntese das possíveis aplicações das cascas de coco, utilizando a ferramenta de análise SWOT (forças, fraquezas, oportunidades e ameaças) .
N.03	NOOR, A; <i>et al</i>	Bio-packaging based on a composite of paper waste and coconut fiber	2020	Coco Verde, Reaproveitamento de Resíduos, Design de Produto, Design de Materiais, Sustentabilidade	O objetivo deste artigo é criar uma solução ecológica para reduzir o uso de plástico, que é um grave problema ambiental. Para tanto, os autores propõem o desenvolvimento de um material de embalagem biodegradável que possa substituir o plástico convencional. Especificamente, o estudo examina a utilização de um composto feito a partir de resíduos de papel e fibra de coco para criar essa bio-embalagem. Além disso, o artigo também mede as respostas da comunidade ao produto de bio-embalagem.
N.04	MISHRA, L.; BASU, G	Coconut fibre: its structure, properties and applications	2020	Coco Verde, Design de Materiais	O objetivo deste capítulo é fornecer uma visão geral sobre a fibra de coco (<i>Cocos nucifera</i> L.), incluindo sua estrutura, propriedades e aplicações. O capítulo descreve a produção e o processo de refinação da fibra de coco, além de apresentar informações sobre as propriedades físicas e químicas da fibra. Ele também discute as aplicações da fibra de coco em produtos têxteis, geotêxteis, agro-têxteis e de isolamento sonoro e térmico, além de discutir as perspectivas futuras para a produção de fibra de coco.
N.05	SANTANA, A; <i>et al</i>	Bioconversion of food waste into bioplastics	2021	Design de Materiais, Design de Produto, Coco Verde	O objetivo do capítulo intitulado "Bioconversion of Food Waste into Bioplastics" é apresentar uma revisão sobre a conversão de resíduos alimentares em bioplásticos, oferecendo uma descrição das fontes de resíduos alimentares, tecnologias de conversão e possíveis aplicações dos produtos resultantes.
N.06	LACERDA, M.	O custo da logística reversa dos resíduos do coco verde e seus impactos para a economia circular.	2021	Reaproveitamento de Resíduos, Sustentabilidade, Coco Verde	O objetivo desta dissertação foi levantar práticas de Economia Circular (EC) adotadas pelos agentes da cadeia do coco verde no que tange ao reaproveitamento dos seus resíduos, além da mensuração da viabilidade do seu reaproveitamento, tendo como parâmetro os custos da sua logística reversa.
N.07	OLADELE, I; <i>et al</i>	Coconut/coir fibers, their composites and applications	2022	Coco Verde, Reaproveitamento de Resíduos	O objetivo deste capítulo é explorar os benefícios, propriedades e aplicações das fibras de coco, juntamente com os seus compósitos, destacando as suas vantagens ambientais, como a biodegradabilidade e o baixo custo. O mesmo discute as limitações das fibras naturais e sugere algumas

					formas de tratamento que podem melhorar as suas propriedades e aumentar as suas aplicações em materiais compostos. O capítulo apresenta diversos exemplos de aplicações das fibras de coco em diferentes setores, incluindo a indústria automotiva e a construção civil.
N.08	VIEIRA, F; <i>et al</i>	Coconut Waste: Discovering Sustainable Approaches to Advance a Circular Economy	2024	Reaproveitamento de Resíduos, Sustentabilidade, Coco Verde	O objetivo deste artigo é otimizar a utilização dos resíduos de coco, destacando os desafios infraestruturais e logísticos e explorando a viabilidade de desenvolver produtos de valor agregado economicamente viáveis. O estudo também examina a integração da valorização de resíduos de coco na bioeconomia circular, defendendo a gestão sustentável de resíduos. O objetivo geral é fornecer uma visão abrangente da história, características de plantio, composições químicas e aplicações do coco, com foco na geração de produtos de valor agregado a partir de resíduos. Este também visa promover práticas sustentáveis, enfatizando em particular a reintegração econômica e industrial da biomassa lignocelulósica como matéria-prima fundamental para produtos de valor agregado.

Fonte: A autora (2025).

1.2.5 Análise Descritiva dos Achados

Dando seguimento aos procedimentos da RSL, no quadro 07 a seguir encontram-se os fragmentos extraídos dos textos selecionados que melhor ilustram as contribuições dos autores para esta parte da pesquisa bem como um resumo dos assuntos abordados, principais achados e conclusões dos respectivos textos.

Quadro 07 - Análise Descritiva.

ID Texto	Fragmentos dos Textos Selecionados	Resumo do Texto
N.01	“A industrialização do fruto do coco e o beneficiamento das partes comestíveis vêm crescendo, tanto no âmbito nacional quanto internacional, o que torna indispensáveis para o desenvolvimento sustentável estudos aprofundados sobre o aproveitamento dos seus resíduos.” (MORBECK, 2017, p. 5) “Este estudo aponta algumas conclusões que servirão de fundamentos para estudo posteriores: 1. O mesocarpo do coco verde é um material com potencial para a extração de tanino e para fabricação de compósitos; 2.O sulfito de sódio a 5% apresentou melhor rendimento na extração tânica; 3.Quando comparado com adesivos sintéticos, os	O objetivo desta dissertação foi estudar a utilização do mesocarpo de coco verde como fonte para extração de taninos e subsequente produção de compósitos com adição de ureia-formaldeído. Durante a pesquisa, foram abordados temas como a apresentação e caracterização do mesocarpo, suas propriedades químicas, além da composição de lignina, celulose e hemicelulose. Também foi estudada a extração de taninos e a produção de compósitos com adição de ureia-formaldeído a partir do mesocarpo de coco verde. Os achados significativos da pesquisa indicam que o mesocarpo de coco verde possui potencial para a extração de taninos e produção de compósitos

	extratos tânicos do coco apresentaram valores que atendem aos requisitos de agente adesivo, assim como a solução dos mesmos a 50%; 3.Os taninos extraídos do mesocarpo do coco verde apresentam potencial para utilização como adesivo em painéis;" (MORBECK, 2017, p. 40)	com adição de ureia-formaldeído. A extração utilizando sulfito de sódio a 5% apresentou melhor rendimento. Ainda, a resistência dos compósitos produzidos com os extratos tânicos do coco apresentaram valores comparáveis aos adesivos sintéticos. Assim, o estudo apresenta uma alternativa para o aproveitamento de um resíduo do mercado agrícola, contribuindo para uma economia mais sustentável.
N.02	" [...] to identify the environmental impacts of green coconut residue on the environment, it is necessary to know the quantity of residue produced at each site, so as to enable awareness of reuse and recycling in the community, which according to Simon et al. (2018) promotes the saving of natural resources, the reduction of environmental pollution, and the generation of direct and indirect jobs." (NUNES; <i>et al</i>, 2020, p.10) "The fiber and powder of the green coconut are obtained by tearing, drying, and sifting the coconut shells (Silva, 2014). The growing demand for coconut fiber and powder in the national and international markets is because of its many different uses, low cost, renewable source, and the current concern of consumers regarding ecologically safe products (Rosa et al., 2009)." (NUNES; <i>et al</i>, 2020, p.14)	O artigo aborda as diversas alternativas para utilização dos resíduos de cascas de coco verde. O mesmo destaca a preocupação com a destinação dos resíduos, que muitas vezes são abandonados em lixões ou em áreas ilegais, causando problemas ambientais em diversos municípios do país. Diante disso, os autores tiveram como objetivo identificar as principais alternativas para o aproveitamento desses resíduos. Dentre as alternativas apresentadas, destacam-se a produção de biomassa, geração de energia, produção de compósitos, fabricação de materiais de construção, artesanato e ainda uso em fertilizantes, entre outros. Além disso, também é apresentada uma proposta metodológica para o tratamento desses resíduos, com a finalidade de minimizar o impacto ambiental e, ao mesmo tempo, gerar alternativas econômicas para a região. A conclusão do estudo aponta que a utilização de resíduos do fruto pode resultar em diversos produtos e aplicações, que vão desde a produção de biomassa para gerar energia até a produção de artesanatos e utensílios. Com a adoção de práticas sustentáveis, é possível reduzir os impactos negativos do descarte inadequado desses resíduos e, ao mesmo tempo, contribuir com a geração de empregos e renda em diversas regiões do país. Além disso, a proposta metodológica pode ser aplicada em outras regiões e em diferentes contextos, possibilitando a replicação do trabalho em outros países em desenvolvimento, visando um futuro mais sustentável e inclusivo.
N.03	" [...] people are diverted to use bio-packaging rather than disposable plastic. Bio-packaging is a packaging that can be degraded by nature, and it has eco-friendly properties. In terms of storage durability and strength, the development of engineered material-based bio-packaging has promising prospects" (NOOR; <i>et al</i>, 2020, p.1) "[...] based on the assessment of packaging perception, it can be stated that bio-packaging is relatively more attractive to the public compared to conventional plastic." (NOOR; <i>et al</i>, 2020, p.4) "Waste paper and coconut fiber composites can be used as bio-packaging materials. The composite can be applied to making packaging with a lifting strength of more than 1 kg. Also, it can be degraded in freshwater and seawater. Through the community perception test, it is also known that bio-packaging is more attractive to the public than conventional plastic." (NOOR; <i>et al</i>, 2020, p.5)	Este artigo descreve um estudo que investigou a viabilidade de produzir embalagens biodegradáveis a partir de um compósito de papel reciclado e fibras de coco, como uma alternativa sustentável às embalagens plásticas descartáveis. A pesquisa testou o desempenho mecânico e biodegradável das embalagens de bioplástico em comparação com o plástico tradicional e também avaliou a percepção da comunidade sobre esses produtos. Os autores apontam que o uso de plásticos, especialmente na forma de embalagens, tem causado danos significativos ao meio ambiente em todo o mundo. A Indonésia é o terceiro maior produtor de resíduos plásticos do mundo, o que motivou a busca por alternativas mais ecológicas. As embalagens de bioplástico compostas por fibras de coco e papel reciclado são uma das opções sustentáveis que o artigo propõe. Com base nos resultados da pesquisa, os autores concluíram que as embalagens compostas por papel reciclado e fibras de coco podem ser usadas como alternativa ecológica às embalagens tradicionais para muitas aplicações, desde que seu

		desempenho mecânico atenda aos requisitos do produto. Além disso, foi constatado que as embalagens biodegradáveis de bioplástico têm uma imagem mais positiva na percepção do consumidor. A pesquisa destaca a importância da busca contínua por alternativas mais sustentáveis, como as embalagens compostas de resíduos de papel e fibras de coco, no sentido de reduzir o impacto ambiental causado pelas embalagens plásticas descartáveis.
N.04	“FAO report (FAO, 2013; FAO, 2015) shows that, there is a steady growth of production of coconut fibre (at the rate of 37%) and it's yarn (at the rate of 10%) in India (Fig. 10.1) due to growing consciousness for using eco-sustainable, biodegradable, natural materials in the world. It is interesting to observe, the trend of growth of world production for coconut fibre is greatly at par with the growth trend of production of coconut fibres in India” (MISHRA; BASU, 2020, p.1) “[...] coconut fibre should not need to be treated as a secondary crop; rather some fibre crop varieties or dual varieties have to be developed, which will concentrate on the fibre quality than the food obtained from it. So, the future scope of coconut fibre sector is to establish the cash crop coconut from the status of food to the status of fibre.” (MISHRA; BASU, 2020, p.23)	O artigo apresenta uma completa revisão sobre as características estruturais, as propriedades mecânicas e as aplicações comerciais da fibra de coco. O mesmo traz uma compilação de informações já existentes sobre o tema, além de algumas pesquisas realizadas recentemente. Os autores apresentam os benefícios do uso da fibra de coco como uma alternativa renovável aos materiais sintéticos, uma vez que ela possui propriedades como alta resistência, ser biodegradável e renovável, além de ser uma matéria-prima disponível em diversas regiões. O artigo ainda detalha o processo de extração, tratamento e preparação da fibra de coco, incluindo as técnicas de produção e as propriedades físicas e químicas da fibra. Também são apresentadas diversas aplicações comerciais para a fibra de coco, como em compósitos, materiais de construção, geotêxteis, papel, entre outros. No geral, os pesquisadores concluem que a fibra de coco é um material altamente versátil e que possui grande potencial de uso em diversas áreas, como nas indústrias têxtil, alimentícia, farmacêutica, entre outras. Além disso, destacam que há um crescente interesse pela fibra de coco entre a indústria, bem como um aumento na pesquisa e desenvolvimento de novas aplicações para o material. No entanto, são apontados alguns desafios, como a necessidade de aprimorar as técnicas de extração e tratamento da fibra e também a melhoria das propriedades da fibra que reduzem o custo e possibilitam novas aplicações.
N.05	“The reuse of byproducts is more economical. For example, less energy, water, time, labor, fertilizers, and pesticides are wasted. In addition, one-third of the product that was previously wasted becomes an added-value product (Martínez <i>et al</i> 2012). Therefore, waste management in the food industry remains an unresolved problem and a top-priority issue.” (SANTANA; <i>et al</i>, 2021, p.3) “The reuse of byproducts is more economical. For example, less energy, water, time, labor, fertilizers, and pesticides are wasted. In addition, one-third of the product that was previously wasted becomes an added-value product (Martínez <i>et al</i>, 2012). Therefore, waste management in the food industry remains an unresolved problem and a top-priority issue.” (SANTANA; <i>et al</i>, 2021, p.5) “Modern society has developed increasingly sustainable products, given the great concern for the waste disposal in the environment (Freitas, Netto, <i>et al</i>. 2020). Bioplastics developed from natural resources, e.g., cellulose, chitin, and starch, are viable substitutes for nonrenewable polymers, with advantages, for	O artigo apresenta uma revisão atualizada das pesquisas recentes sobre a conversão de resíduos alimentares em bioplásticos. O artigo faz parte do livro Sustainable Bioconversion of Waste to Value Added Products (2021) que aborda diversos tópicos relacionados à valorização de resíduos e sobras através da bioconversão. Os principais assuntos discutidos no artigo incluem os resíduos alimentares gerados nas indústrias alimentícias e suas potenciais aplicações na produção de bioplásticos, com destaque para compostos biodegradáveis e biocompatíveis. Além disso, é apresentada uma revisão dos processos de extração de polímeros de resíduos alimentares, bem como sua caracterização e formulação em bioplásticos. A revisão aborda ainda algumas das principais limitações e desafios envolvidos na produção de bioplásticos a partir de resíduos alimentares, assim como possíveis soluções para superar essas limitações. Ao final, o artigo conclui que a bioconversão de resíduos alimentares é uma alternativa promissora

	example, biodegradability, biocompatibility, few toxicity, and cost (Hossain, <i>et al.</i> 2018).” (SANTANA; <i>et al.</i>, 2021, p.8) “The production of synthetic plastics from irreversible processes is a large environmental problem. Therefore, due to their similar functions, bioplastics are a sustainable alternative to the concern of environmental contamination by synthetic materials of low degradability (Tsang, <i>et al.</i> 2019).” (SANTANA; <i>et al.</i>, 2021, p.9)	para a produção de bioplásticos, permitindo a valorização desses resíduos enquanto se reduz a dependência de polímeros sintéticos derivados de combustíveis fósseis. No entanto, os autores destacam que ainda são necessários mais estudos para aprimorar os processos de extração e purificação de polímeros a partir de diferentes tipos de resíduos, bem como o desenvolvimento de formulações e processos para produzir bioplásticos com propriedades mecânicas, térmicas e de barreira adequadas para aplicações específicas.
N.06	“Existem oportunidades inexploradas para o crescimento econômico através da EC, além de economizar custos de material com a reciclagem e a reutilização. Dessa forma, as cascas do coco verde poderiam ser aproveitadas para gerar uma série de subprodutos, que acabam ocupando espaços indevidos por longos 12 anos, que é o tempo médio de decomposição (MAZZUCHETTI <i>et al.</i>, 2020).” (LACERDA, 2021, p.19-20) “Em todo o país ainda não existe um processo tecnológico eficiente para a reciclagem das grandes quantidades de resíduos gerados a partir da cocoicultura. Como não existia a obrigatoriedade de uma solução para tal problema até o ano de 2013, era comum encontrar lixões repletos de cascas de coco em várias cidades do Brasil, mesmo aquelas que não são produtoras.” (LACERDA, 2021, p.29) “Discutir o aproveitamento da casca do coco é uma forma de contribuir para buscar alternativas para a oferta de produtos oriundos de partes de alimentos de grande valor nutricional, usualmente descartadas. Estudos comprovam a sua eficácia, promovendo uma diminuição significativa no volume de resíduos gerados (CARDOSO <i>et al.</i>, 2015).” (LACERDA, 2021, p.29)	Esta dissertação apresenta um estudo sobre a importância da logística reversa para a economia circular, bem como um diagnóstico sobre os custos logísticos envolvidos na cadeia do coco verde, fornecendo subsídios para o desenvolvimento de políticas públicas de gestão de resíduos. Ao longo dos capítulos, a autora aborda os conceitos fundamentais da Economia Circular, a cadeia do coco verde, os custos logísticos, a logística reversa e suas práticas, bem como a metodologia empregada para a coleta e análise dos dados. Os resultados apresentados contemplam uma revisão sistemática da literatura, a pesquisa realizada na internet sobre a logística reversa do coco verde, o custo da logística reversa do resíduo do coco verde e seus principais direcionadores de custos logísticos. A dissertação conclui que a logística reversa é fundamental para a economia circular e o desenvolvimento sustentável. Ademais, o custo logístico, que envolve transporte, manutenção de estoques e administrativo, tem um impacto significativo na cadeia do coco verde. A análise realizada permite concluir que a reciclagem do resíduo do coco verde é viável, apresentando-se como um negócio de baixo custo e com alto potencial lucrativo. Dessa forma, o texto apresenta ferramentas importantes para a gestão de resíduos, incentivando a adoção de práticas sustentáveis pelas empresas e órgãos públicos.
N.07	“The reason for the use of natural fibers for the development of composites in the modern days was basically due to environmental benefits compared to synthetic fibers. They are renewable and have relatively high strength and stiffness without causing skin irritations, though, with some setbacks like quality variations and low thermal stability.” (OLADELE <i>et al.</i>, 2022, p. 192) “The fiber has been discovered as one of the natural/bio-fibers with good properties that can substitute synthetic fibers in an acceptable approach in polymers and ceramics-based matrixes. Despite the level of application of coir fibers for the development of engineering products, owing to its good ductility and energy absorbent potential, as well as the economic benefits and better results that were achieved as reported by many researchers, more products are still been expected from the fiber.” OLADELE <i>et al.</i>, 2022, p. 202)	O capítulo introduz a ideia da inclusão de materiais naturais em matrizes poliméricas de composites. O uso de fibras de plantas como reforço em matrizes poliméricas tem se tornado cada vez mais popular em razão dos altos custos e do impacto ambiental do uso de materiais sintéticos. O objetivo do estudo é avaliar a utilização das fibras de coco em matrizes poliméricas e cerâmicas, bem como permitir o desenvolvimento de produtos ecologicamente corretos. O artigo discute a viabilidade das fibras de coco como alternativa aos materiais sintéticos tradicionais, bem como as principais características das fibras de coco. Uma das principais vantagens da utilização das fibras de coco é o baixo custo e sua ampla disponibilidade. Além disso, o artigo discute os benefícios ambientais da utilização de fibras de coco em comparação com materiais sintéticos, bem como os desafios associados com a sua utilização, como a suscetibilidade à umidade. O estudo detalha a metodologia para o tratamento químico das fibras de coco, bem como os benefícios associados a tal processo.

		A conclusão do estudo ressalta a versatilidade das fibras de coco em aplicações como matrizes poliméricas e cerâmicas, e destaca a importância da utilização de materiais naturais para a produção de compostos de menor impacto ambiental. O estudo também destaca a necessidade de maiores pesquisas sobre as potenciais aplicações das fibras de coco em produtos como materiais de construção, materiais automotivos e as possíveis barreiras comerciais relacionadas à produção desses compostos. Ao final, o artigo enfatiza a relevância da incorporação de materiais naturais na produção de compósitos para auxiliar na preservação do meio ambiente e incentivar avanços tecnológicos.
N.08	“Exploiting the potential of coconut residues has become an important matter in the coconut industry. Besides the residues’ aggregate economic value to the coconut supply chain, renewable raw materials and waste management are major concerns in terms of environmental problems, and it is necessary to stimulate studies to find alternatives to avoid their incorrect disposal.” (VIEIRA <i>et al</i>, 2024, p. 11) “Regarding the large-scale management of coconut residues, the major strategy that has been adopted is direct disposal rather than recycling, recovery of energy potential, or any other reuse method. Therefore, based on the current volume of coconut production and the expected exponential growth, the coconut residue value chain presents a huge potential for supporting green economic development.” (VIEIRA <i>et al</i>, 2024, p. 15) “Furthermore, investment in the research and development of innovative technologies for processing coconut residues can improve productivity and product quality and establish supplier–customer partnerships with industries, small companies, and potential sectors that can use coconut byproducts. This collaboration creates synergies and business opportunities, which can guarantee the viability of a circular economy and boost local economic development based on the “from waste to profit” approach.” (VIEIRA <i>et al</i>, 2024, p. 16)	O artigo apresenta várias abordagens sustentáveis para o aproveitamento dos resíduos de coco. Este estudo foi realizado por um grupo de pesquisadores do Brasil e de Portugal, que se concentraram na busca por soluções que pudessem contribuir para uma economia circular. Os resíduos de coco têm grande potencial em muitos setores, como no uso da casca e da fibra para produção de biocombustíveis, extração de óleo de coco e recuperação dos compostos químicos encontrados na polpa do coco. Os autores enfatizam que, com a crescente busca por formas de economia sustentável, é importante encontrar maneiras de aproveitar os resíduos gerados pela produção e consumo de alimentos para a obtenção de novos produtos e insumos. A pesquisa destaca a importância de buscar alternativas de produção de alimentos e produtos que possam minimizar a geração de resíduos, além de incentivar a utilização de tecnologias que permitam recuperar os compostos químicos contidos nesses resíduos para a produção de novas substâncias. Ao final do estudo, os autores concluem que é possível encontrar maneiras de aproveitar os resíduos de coco para a produção de novos produtos em diferentes áreas. Além disso, eles alertam para a necessidade de se buscar formas de implementar a economia circular em outros setores, de forma a minimizar os impactos ambientais e usar de forma mais responsável os recursos naturais. Destaca-se que as alternativas sustentáveis para a utilização dos resíduos de coco podem ser uma peça fundamental na construção de uma economia circular.

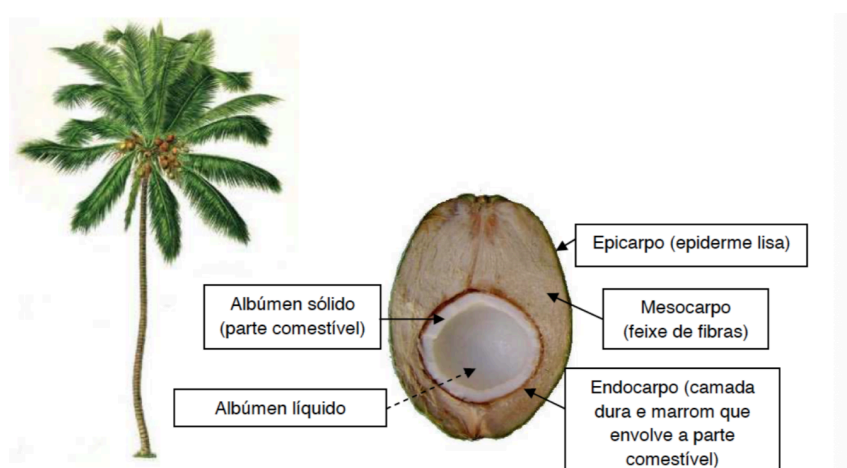
Fonte: A autora (2025).

1.2.6 Síntese

Após a leitura do material, e com um melhor entendimento das propriedades e características das partes que compõem o coco verde bem como as aplicações deste resíduo, foi possível elaborar uma síntese dos achados mais relevantes e também apontar lacunas de pesquisa que direcionam para possíveis novos usos dos resíduos do fruto em questão.

Na maioria dos textos foi enfatizada a importância da criação de novas soluções de aproveitamento de resíduos do coco verde para fins sustentáveis em diversas indústrias e setores, a urgência da revisão do ciclo de vida do fruto, a preocupação com a destinação adequada dos resíduos e a avaliação do impacto ambiental do seu descarte inadequado. No entanto, de acordo com o foco e objetivo estipulados pelos autores, os diferentes estudos e pesquisas avaliados também trazem certas informações enriquecedoras individuais de cada texto. A seguir, no quadro 08, estão sintetizados os mais relevantes achados das leituras organizados de forma didática a fim de facilitar a compreensão do conteúdo absorvido. Também a seguir, na figura 01, estão ilustradas as partes do coco verde para que se tenha uma clara visualização de qual parte os itens descritos no quadro 08 estão se referindo.

Figura 1 - Identificação das partes do coco verde



Fonte: Pereira (2012)

Quadro 08 - Tabela-síntese das propriedades, aplicações e potenciais usos dos resíduos do coco verde em materiais alternativos sustentáveis.

Fonte	Componente do resíduo	Propriedades mencionadas	Possíveis aplicações
OLADELE <i>et al</i> , 2022; MISHRA, BASU, 2020	Fibras (Mesocarpo)	Durabilidade, tenacidade, resiliência, capacidade de retardar a chama, imunidade à umidade, fungos e podridão, resistência à temperatura.	Cordas, tecidos, reforço para compósitos a base de polímeros e cerâmica entre outros
MORBECK, 2017; SANTANA <i>et al</i> , 2021; NOOR <i>et al</i> ,	Tanino (Mesocarpo)	Antifúngico, antibacteriano, antioxidante, antipragas, baixa toxicidade, baixa inflamabilidade, resistência a umidade.	Tintas de proteção e de revestimentos, lã de isolamento térmico e acústico, embalagens

2020			diversas, produto para acabamento de madeira, curtimento de couro entre outros
NUNES <i>et al</i> , 2021	Turfa/Pó (Mesocarpo e Epicarpo)	Retenção de água	Uso em jardinagem
NUNES <i>et al</i> , 2021	Quenga de Coco (Endocarpo)	Alto poder calorífico, alta densidade, baixo teor de cinzas, boa resistência mecânica e estabilidade dimensional	Artesanato e biocombustíveis
LACERDA, 2021	Albúmen sólido	Alto valor nutricional	Indústria alimentícia e de cosméticos
LACERDA, 2021	Albúmen líquido	Alto valor nutricional	Indústria alimentícia

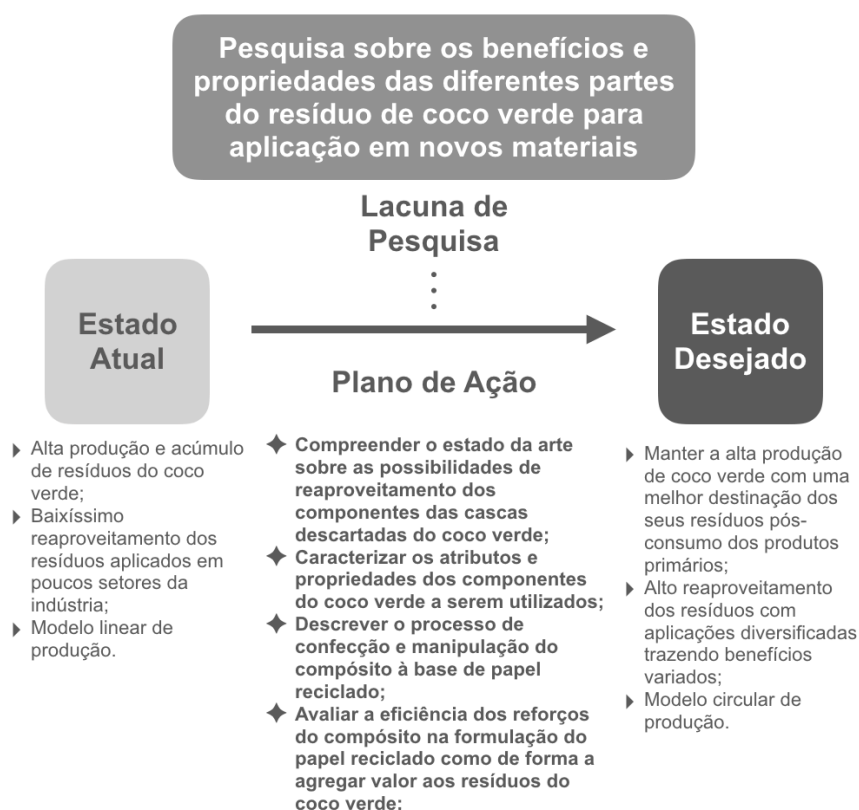
Fonte: A autora (2025).

Uma vez tendo os principais pontos listados, foi possível notar que os estudos publicados no Brasil tem um grande volume de conteúdo voltado para os setores da agricultura e biocombustíveis enquanto as publicações internacionais trazem aplicações que se estendem para além deste campo - trazendo múltiplas funções e utilidades para os componentes do resíduo. Sendo assim, é possível inferir que há uma lacuna de entendimento de como as partes do resíduo do coco verde podem ser melhor aproveitadas de formas mais diversas, apreendendo as suas respectivas características e aplicando processos de design para criação de novos materiais em território nacional. Como ainda não há uma dedicação ao tema na literatura nacional, aplicações e soluções inovadoras à base de resíduos de coco podem auxiliar na redução do acúmulo de resíduos.

Outro ponto identificado após a síntese foi que na literatura publicada no Brasil, em sua grande maioria, há a recorrência de aplicações e subprodutos que utilizam apenas um elemento proveniente da casca do coco verde, não considerando o uso de múltiplas partes do mesmo resíduo na criação de um material ou compósito que se beneficie das diferentes propriedades de diferentes partes do resíduo. Com isso, é identificado um campo para o desenvolvimento de pesquisas com foco na investigação das propriedades e compreensão das possibilidades que cada elemento pode trazer para o desenvolvimento de novos materiais combinando os benefícios de duas ou mais partes do coco. Dos itens listados no quadro 08, a fibra e o tanino foram os componentes que mais chamaram a atenção da autora dadas

as suas propriedades identificadas na RSL e variações de aplicações - podendo assim serem unidos e agregarem os seus atributos dentro da composição de um novo material. Sendo assim, a figura 2 abaixo traz a inserção desta lacuna de pesquisa identificada dentro do escopo e tema da presente pesquisa.

Figura 2 - Inserção do tema/objeto de pesquisa a partir das leituras feitas na RSL



Fonte: A autora (2025).

Isto posto, foi possível formular a questão norteadora desta dissertação: **Como os resíduos de coco verde descartados em São Luís podem ser agregados na composição de um novo material sustentável?**

1.3. Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Propor aplicação para o tanino e fibras de cocos verdes descartados em cidades litorâneas na criação de um compósito à base de papel reciclado fundamentado nas diretrizes do design sistêmico.

1.3.2 Objetivos específicos

- I. Compreender o estado da arte sobre as possibilidades de reaproveitamento dos componentes das cascas descartadas do coco verde;
- II. Caracterizar os atributos e propriedades dos componentes do coco verde a serem utilizados;
- III. Descrever o processo de confecção e manipulação do compósito à base de papel reciclado;
- IV. Avaliar a eficiência dos reforços do compósito na formulação do papel reciclado visando agregar valor aos resíduos do coco verde;

1.4 Justificativa

Primeiramente, este estudo é justificado pelos dados levantados nas lacunas identificadas pela RSL explicitada no tópico 1.2.1 deste documento. Em adição a estes argumentos, a região Nordeste do Brasil é notoriamente reconhecida pela sua elevada produção de coco (IBGE, 2021) e a cidade de São Luís recentemente tem mostrado um crescimento notável na expansão da produção de coco verde (Mirante Rural, 2023). Tal aumento na produção de coco sucede um excedente de resíduos ainda maior, agravando ainda mais o desafio atual de como proceder os refugos dos frutos pós-consumo. Atualmente, há uma carência de iniciativas eficazes para reutilizar ou reciclar os resíduos de coco verde na cidade e com isso surge a oportunidade de se desenvolver processos e tecnologias que incentivem a reutilização desses resíduos, resultando na sua redução do seu acúmulo bem como dos seus danos ambientais.

Na literatura acadêmica contemporânea, diversos são os estudos que abordam a reciclagem de resíduos gerados pelo homem. São constantemente abordadas a incorporação destes na criação de compósitos e novos materiais como modo de contribuir para a diminuição dos impactos no meio ambiente, bem como formas de

evoluir e melhorar cada vez mais os seus usos enquanto matéria prima. Em vista disso, o tanino e as fibras extraídas do resíduo do coco verde possuem propriedades químicas e físicas bastante valiosas que podem ser exploradas para o desenvolvimento de novos materiais.

Apesar do seu potencial reconhecido na literatura internacional, as aplicações destes elementos permanecem subexploradas no Brasil, como pode ser visto na RSL. Investir em pesquisa e desenvolvimento (P&D) nessa área abrirá novas vias para a inovação, levando a produtos que contribuam para a economia circular, sendo ambientalmente sustentáveis, economicamente viáveis e socialmente benéficos. Portanto, esta pesquisa não só aborda a problemática do descarte de coco verde em São Luís, mas também propõe soluções na área de design de materiais que contribuem para a sustentabilidade local em consonância com a urgência imposta pela crise climática global.

Tendo em vista a investigação prévia, juntamente com os resultados dos experimentos realizados pela autora em disciplinas ministradas no mestrado onde foram testados o uso do tanino e das fibras do coco verde em um compósito à base de gesso, indaga-se a possibilidade da reutilização destes mesmos elementos em um compósito de base orgânica - já que foi percebido na interpretação dos testes que por serem materiais de origem orgânica, eles formariam uma liga mais eficiente em uma base também orgânica.

Com a coleção de informações sobre os componentes do coco verde e as possibilidades que eles trazem consigo, a base orgânica constituída por papel reciclado foi selecionada vide que os elementos de reforço suprem as dificuldades inerentes às suas características originais. Com isso, dando sequência à análise de literatura que aborda estes elementos, os mesmos serão postos à prova prática na composição de um novo material. Desta forma, a eficácia das características e propriedades poderão ser avaliadas em ação conjunta com a base orgânica na intenção de validar a sua efetividade e aplicação.

1.5 Guia de leitura da dissertação

A presente dissertação está organizada em cinco capítulos. O primeiro, o qual chega ao seu final neste tópico, traz um panorama geral como uma introdução e contextualização do tema para melhor situar o leitor sobre o tema abordado e qual será o direcionamento do texto.

O segundo capítulo trata do referencial teórico utilizado como guia desta investigação, catalogando os conceitos e temas ligados à pesquisa e encadeando a linha de pensamento dos argumentos que serão trazidos ao longo do texto.

O terceiro capítulo pormenoriza todos os tópicos e classificações desta pesquisa no que diz respeito aos procedimentos metodológicos, técnicas que serão utilizadas nos ensaios e formas de avaliação dos resultados. O quarto capítulo traz em mais detalhes todos os procedimentos dos testes e ensaios feitos para avaliação do uso dos resíduos enquanto componentes de um novo material, relatando o processo percorrido pela autora. Além disso, o mesmo traz as análises dos resultados obtidos e a discussão em torno desses achados.

Por fim, o quinto capítulo traz as considerações finais deste estudo, discutindo os procedimentos, dificuldades e limitações encontradas no desenvolvimento do trabalho. Além disso, este mesmo capítulo também traz reflexões e sugestões para estudos futuros.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

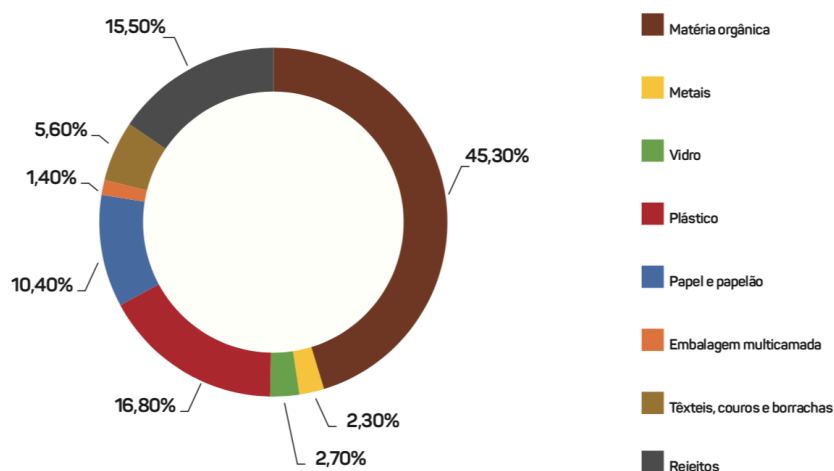
2.1 A problematização dos resíduos sólidos urbanos

Conforme dados informados no Relatório Perspectivas da População Mundial 2024 das Nações Unidas (2024), no momento, o nosso planeta possui 8,2 bilhões de habitantes e há a perspectiva de crescimento para 10,3 bilhões em meados da década de 2080. Com o crescimento contínuo da população, o aumento da geração e acúmulo de resíduos é inevitável. Atualmente, no Brasil, estima-se que cada habitante gera em torno de 379,2 kg de lixo por ano (AUBICON, 2022) sendo em média 170 kg de matéria orgânica gerada por pessoa por ano (ABRELPE, 2020) e,

consequentemente, com a multiplicação de residentes no país com o passar dos anos, a quantidade de refugos também se expande.

Nos centros urbanos, onde há a maior concentração de serviços e pessoas, os resíduos se dividem nas categorias explicitadas na figura 3 a seguir.

Figura 3 - Composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos



Fonte: ABRELPE (2020)

Os resíduos orgânicos, como ilustrado na figura acima, compreende a maior porção de todo o lixo que é descartado nas cidades brasileiras. O coco verde se enquadra nessa categoria e em cidades litorâneas, como é o caso de São Luís, 70% do lixo urbano orgânico é composto por casca de coco verde (Bittencourt; Pedrotti; Almeida, 2014).

Os números da produção de lixo causam espanto e a porcentagem do que de fato é reciclado gera um impacto ainda maior: estima-se que o índice de recuperação de resíduos orgânicos é de apenas 0,2%, de acordo com o Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (2018). Todo o material orgânico que não é reciclado ou reutilizado de alguma forma se torna um agente para o agravamento da crise climática. A degradação dos resíduos orgânicos é uma das principais fontes de emissão de gás metano - segundo maior gás contribuinte para o aumento da temperatura da Terra (Scabin, 2024). Os aterros sanitários, que ainda são os principais destinos finais do lixo orgânico no Brasil (Brasil, 2022), são a terceira

maior fonte antropogênica mundial de metano (Humer & Lechner; 1999, Rose; Mahler; Izzo, 2012).

Com isso, se torna essencial a implementação políticas e práticas de redução, reciclagem e valorização dos resíduos orgânicos para mitigar as emissões de gases de efeito estufa e reduzir os impactos ambientais deles decorrentes aumentando assim a contribuição com os esforços nacionais para o combate às mudanças climáticas (Brasil, 2022).

2.1.1 Problemas com o resíduo do coco verde no Brasil e em São Luís

O coco verde, fruto culturalmente produzido e consumido no Brasil, vem passando por um aumento ainda maior da sua demanda. Com o reconhecimento e propagação dos seus benefícios à saúde, o consumo tanto da água bem como o dos produtos derivados de seu albúmen sólido (coco ralado, leite e óleo de coco) gerou a rápida expansão da área de plantio e do número de frutos produzidos (Fontes; Ferreira; Siqueira, 2002). Como consequência, também cresceu a quantidade de cascas do fruto descartadas de maneira inapropriada junto à ausência de cultura de beneficiamento pós-consumo primário.

A maior parte das cascas descartadas tem o mesmo destino: podem ser queimadas ou são encaminhadas para aterros sanitários e lixões pelas empresas de limpeza pública ou descartadas de modo inapropriado por consumidores e pequenos comércios em terrenos baldios (Souza *et al*, 2021). Ao serem queimadas, são liberadas substâncias nocivas ao equilíbrio do meio ambiente; quando descartadas em aterros ou lixões, apresentam um longo tempo de degradação, de em média 12 anos e também liberam substâncias que podem prejudicar o solo e quando descartadas em terrenos baldios, tornam-se problema de saúde pública (Silva; Jerônimo, 2012).

Agora voltando o foco para a cidade de São Luís, segundo o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (2022), a cidade é a capital brasileira que tem a maior taxa de recuperação de resíduos recicláveis secos - o que é um excelente dado. Porém, quanto à reciclagem de resíduos orgânicos, não foram encontrados registros oficiais divulgados em nenhum veículo de comunicação. Tendo em vista a porcentagem nacional de reciclagem deste tipo de lixo ficando em 0,2%, como visto no tópico

anterior, supõe-se que o reaproveitamento dessa classe de resíduos deve ser igualmente baixa.

Como mencionado na introdução deste estudo, segundo o Dr. Harvey Vélez (2024), são coletadas em média 270 toneladas por semana apenas na cidade de São Luís. Tais resíduos são provenientes da limpeza pública, coleta seletiva, empresas fabricantes de água de coco envasadas, setor hoteleiro e de hospitalidade, entre outros. Tendo em vista que, como também já mencionado na introdução, se em média apenas 10% destes resíduos são reaproveitados (BBC Brasil, 2014), temos 243 toneladas de coco que se amontoam semanalmente na capital maranhense. Tal cenário denota uma necessidade urgente de soluções e alternativas que ajudem a reverter essa situação, de forma a trazer benefícios ambientais, sociais e econômicos para a região.

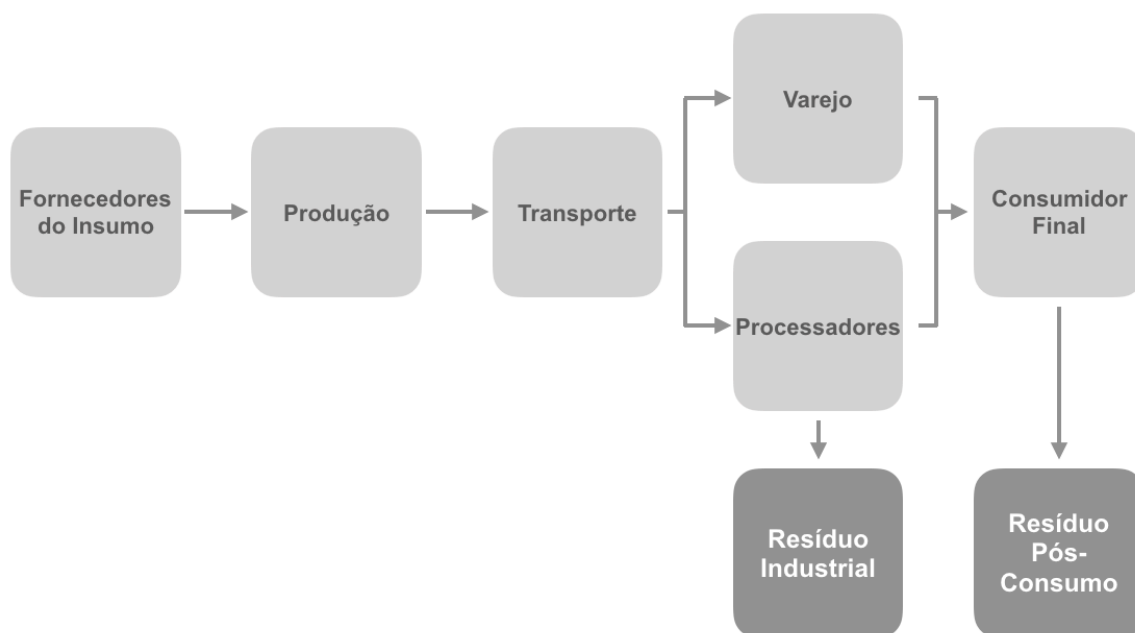
2.1.2 Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) do Coco Verde

A alta produção e baixo uso das cascas descartadas são informações já bastante mencionadas neste texto, porém, para que haja um melhor entendimento de todo o processo de produção e distribuição do coco verde, nesta porção do texto será dissecado o seu ciclo de vida e cadeia produtiva. Como o objetivo desta dissertação é a proposta de criação de um material sustentável - onde o conceito de sustentabilidade se apoia nos pilares dos benefícios ambientais, sociais, e econômicos - se faz necessário entender todo o encadeamento da situação atual e assim propor sugestões de mudanças e melhorias com base em ferramentas do design.

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta para avaliar a entrada, saída, e os potenciais impactos de um sistema produtor ao longo de todo o seu ciclo de vida (Puspaningrum *et al*, 2023). Tal análise é elaborada para avaliar o nível de sustentabilidade atrelada ao produto. Aqui, a avaliação do ciclo de vida do coco verde foi utilizada para identificar os impactos da sua produção no meio ambiente para então auxiliar na sugestão de melhorias neste processo.

A seguir, na figura 4, está ilustrado o processo do canal logístico convencional de produção desde a plantação até o descarte e consequentemente geração de resíduos.

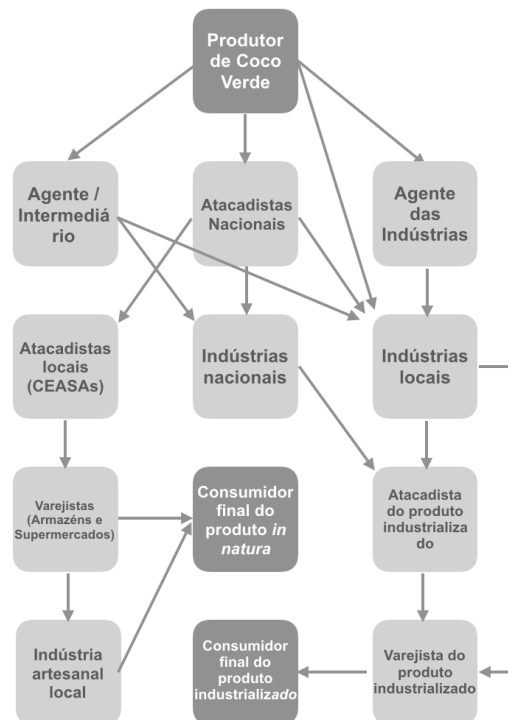
Figura 4 - Canal logístico convencional esquemático



Fonte: Adaptado de Lacerda (2021)

Já na figura 5 a seguir, é ilustrada como atualmente é feita a rota comercial convencionalmente praticada pelo mercado, identificando as ramificações dos canais de comercialização do coco verde a fim de compreender os possíveis caminhos que o fruto permeia até chegar ao destino final do seu descarte de baixo reaproveitamento.

Figura 5 - Canais de comercialização do coco verde no Brasil



Fonte: Adaptado de Fontes, Ferreira e Siqueira (2002)

Na literatura analisada, muitas são as adversidades identificadas na produção e distribuição do coco verde. Temas como a necessidade de uso intenso de fertilizantes e pesticidas nas plantações e poluição gerada pelo transporte na distribuição para indústrias e canais finais por todo o país chamam atenção dado o seu impacto na saúde humana e do meio ambiente como um todo (Puspaningrum *et al*, 2023). Porém, mesmo que estes pontos façam parte do escopo de problemas a serem enfrentados nesse modelo de produção, os mesmos não serão analisados neste estudo pois fogem do campo abrangido pelas soluções do design a ser proposta na conclusão deste documento.

No entanto, um outro ponto que chama a atenção - e este sim tem a acrescentar na finalidade deste estudo - é a falta de destinação ou reuso adequado após a ingestão ou uso dos produtos pelo consumidor final. O ciclo de vida do coco, atualmente, é dado de uma forma linear onde o seu fim é representado pelo descarte e acúmulo em aterros e lixões (Lacerda, 2021). Com o desenvolvimento de novos materiais com base no reaproveitamento dos resíduos gerados pelo consumo do fruto, tal

cenário pode vir a ser revertido, saindo do atual modelo linear poluente e partindo para um modelo circular sustentável.

2.1.3 Normas e Regulamentações

Atualmente, no Brasil, não existe nenhuma legislação que aborde ou exija o reuso dos resíduos do coco que compreenda todo o território nacional. A única política onde o reuso do fruto compõe a agenda principal é a Lei Ordinária Nº 7768, de 6 de novembro de 2017, instituída no Estado do Rio de Janeiro. Com ela, é estabelecido o Programa de Reciclagem do Coco Verde em todo o estado, com as finalidades de preservar a espécie Samambaiçu, preservação o meio ambiente, aumentar a vida útil dos aterros sanitários, gerar empregos, incentivar a criação de Cooperativas e transformar estes resíduos sólidos em receita para o Estado.

Para tal, o Estado assegura o apoio estratégico para aprimorar a atividade econômica da reciclagem de matéria residual do coco verde como também fiscalizar o cumprimento de metas de proteção ao meio ambiente, informação aos consumidores e conscientização da sociedade, a respeito de danos provenientes do descarte residual do coco no meio ambiente e das vantagens da prática de sua reutilização em escala comercial (Rio de Janeiro, 2017).

No entanto, no que diz a respeito do tratamento de resíduos em geral, foram encontradas algumas leis nacionais e locais que abordam o tema. A primeira a ser citada, por ordem cronológica, é a Lei Federal nº 12.305/2010 que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) dispõe sobre os princípios, objetivos e instrumentos para alcançar o correto gerenciamento de resíduos. De acordo com o Art. 3º, Inciso VII, da referida lei, destinação final ambientalmente adequada é definida como:

[...] destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes [...] entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos. (Brasil, 2010, p. 3).

Dando prosseguimento, temos o Programa Nacional de Bioinsumos instituído em maio de 2020 pelo Decreto nº 10.375/2020, que tem como finalidade ampliar e fortalecer a utilização de bioinsumos no Brasil. Conforme o Art. 5º, um dos seus objetivos é: “incentivar práticas e tecnologias de tratamento de resíduos sólidos para geração de insumos apropriados para uso na produção de bioinsumos” (Brasil, 2020).

Seguido por esse decreto, também existe a Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020, a qual atualiza a Política Nacional de Saneamento Básico, modernizando diversos trechos da legislação anterior que era do ano de 2007. O novo marco legal do saneamento básico trouxe novos princípios, diretrizes e orientações para o planejamento e execução dos serviços públicos de saneamento básico. Dentre eles estão a limpeza urbana e o manejo de resíduos sólidos, constituídos das atividades e da disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais de coleta, varrição manual e mecanizada, asseio e conservação urbana, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos domiciliares e dos resíduos de limpeza urbana (Brasil, 2020).

No âmbito local, temos a Lei Nº 6.321/2018, que institui o Sistema de Limpeza Urbana de São Luís. Tal legislação tem como objetivos principais proteger e promover a saúde pública e a qualidade do meio ambiente bem como preservar e assegurar a utilização sustentável dos recursos naturais e a promoção de padrões ambientalmente sustentáveis de produção e consumo, reduzindo a geração de resíduos sólidos e incentivando o consumo sustentável, a coleta seletiva, a reutilização e a reciclagem, além de minimizar os impactos ambientais e sociais causados pela disposição inadequada de resíduos sólidos (São Luís, 2018).

Com isso, pode ser observado que existem leis e planos em curso que explicitam o desejo pela mudança na situação atual dos resíduos, diminuindo o seu impacto e trazendo benefícios tanto para o meio ambiente quanto para a população. Desta forma, os objetivos deste estudo se alinham não apenas com os pontos escritos nas leis, mas também com os anseios da sociedade por uma vida mais sustentável.

2.2 Materiais Compósitos

Como o objetivo principal desta pesquisa é a análise da eficácia do uso dos resíduos do coco verde na composição de um novo material, se faz necessária a elucidação do que são materiais. Segundo Ashby & Johnson (2011, p. 55) os materiais são “a matéria de que é feito o design de produto”. Ou seja, o material é a base de onde surgem os diversos produtos, ferramentas e objetos criados pelo campo do design.

Dentro do rol desta temática, temos os materiais compósitos, os quais são constituídos por dois ou mais componentes com propriedades químicas ou físicas diferentes. A combinação desses materiais resulta em propriedades superiores quando comparados com materiais individuais. Os compósitos são conhecidos pela resistência, eficiência e durabilidade aprimoradas (Fibrenamics, s.d.) dada a soma das propriedades do material base agregada aos novos componentes adicionados.

As partes que compõem os materiais compósitos, na maioria dos casos é composta por duas partes: a matriz/ligante e o reforço (Figura 6). A cargo de exemplificação, podemos imaginar as propriedades e utilidade de um tijolo reforçado com fibras. Este compósito é desenvolvido com uma matriz cerâmica e reforçado com fibras, sejam elas naturais ou artificiais. Neste caso, a matriz é responsável pela distribuição eficiente de tensões e cargas para o material de reforço, enquanto o reforço aumenta as propriedades mecânicas do compósito e absorve as tensões da matriz.

Figura 6 - Esquema da composição dos materiais compósitos



Fonte: Fibrenamics (s.d.)

O uso e combinação de materiais com características distintas apresenta benefícios substanciais. Desta forma, a agregação das partes para a criação de um novo material possibilita, quando há o êxito dessa investigação e ideia, a obtenção de propriedades inovadoras quando comparados a componentes ímpares primários. Sendo assim, esta pesquisa busca unir as propriedades químicas e físicas encontradas nos componentes dos resíduos do coco verde aplicados no design de um novo material que tenha as suas características superiores quando comparado à sua forma original básica.

2.2.1 Novas oportunidades alinhadas com a sustentabilidade

Com a definição de materiais compósitos já elucidada, surge a reflexão sobre como tais materiais podem auxiliar no combate ao avanço das mudanças climáticas e no auxílio na transição para uma economia mais responsável ambientalmente. A implementação de resíduos das mais diversas fontes, com as suas diferentes características e propriedades podem ser utilizados como força motriz para o início de uma transição para uma sociedade mais verde. Refugos que antes não tinham um destino final adequado, devem ser investigados para que elas encontrem uma nova serventia dentro de um modelo de mercado circular.

Tal atitude se alinha com alguns pontos dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) propostos pelas Nações Unidas. Dentro dos 17 pontos que contribuem para que o Brasil atinja a Agenda 2030 - documento que orienta as nações rumo ao desenvolvimento sustentável - os 3 destacados a seguir são atendidos pelo uso de resíduos em materiais compósitos:

Figura 7 - Objetivos para o desenvolvimento sustentável abordados por materiais compósitos que utilizam resíduos como componentes



Fonte: Nações Unidas Brasil (2015)

No que diz respeito ao objetivo 11, os materiais compósitos com resíduos auxiliam a “reduzir o impacto ambiental negativo per capita das cidades, inclusive prestando especial atenção à qualidade do ar, gestão de resíduos municipais e outros” (Nações Unidas Brasil, 2015).

Em relação ao objetivo 12, tais materiais se relacionam com as atitudes que promovem o “manejo ambientalmente saudável dos resíduos, ao longo de todo o ciclo de vida destes, de acordo com os marcos internacionais acordados, e reduzir significativamente a liberação destes para o ar, água e solo, para minimizar seus impactos negativos sobre a saúde humana e o meio ambiente”; reduzem “substancialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso” e fortalece “suas capacidades científicas e tecnológicas para mudar para padrões mais sustentáveis de produção e consumo” (Nações Unidas Brasil, 2015).

Por fim, com o objetivo 13, esses materiais quando fazem o uso resíduos acumulados em lixões e aterros, surgem como uma das “medidas urgentes para combater as alterações climáticas e os seus impactos” (Nações Unidas Brasil, 2015).

2.3 Design a partir de resíduos

Manzini, na obra “Design para a inovação social e sustentabilidade: comunidades criativas, organizações colaborativas e novas redes projetuais” (2008) defende que

a sociedade deve mover-se em direção à redução do consumo material em busca do desenvolvimento sustentável. Designers, enquanto agentes de inovação e mudança, surgem como atores fundamentais nesse movimento.

O papel do design, quando pensamos nesse paradigma da mudança por soluções sustentáveis, está em ligar o “tecnicamente possível” com o “ecologicamente necessário”, criando propostas que refletem o momento cultural atual que representa um marco histórico, sem precedentes, onde não há outro caminho se não o de respeito pelo ambiente (Manzini & Vezzoli, 2002).

O design que tem como ponto de partida o reuso de resíduos como base para o pontapé das mais diversas criações, é uma das formas pela qual este campo do conhecimento pode contribuir para a melhoria do estado de emergência climática no qual a sociedade está enfrentando neste momento. Sendo assim, é possível de ser feita a concepção de novos produtos e materiais onde o uso de matérias-primas primárias é reduzido - vide que estão cada vez mais caras e escassas no planeta - ao mesmo tempo que os resíduos adquirem um novo propósito. O que antes seria o fim do seu ciclo de vida, por meio de métodos de design, se torna um novo e sustentável recomeço.

A dinâmica de desenvolvimento de produtos e materiais que possam ser fabricados com o reaproveitamento de resíduos em larga escala, é fundamental na redução do acúmulo dos mesmos (Ashby & Johnson, 2014). Não só o benefício ecológico é colocado em evidência mas também o benefício econômico é de alto impacto na sociedade. De acordo com a UNEP (2024), o crescimento econômico associado a estas práticas sustentáveis poderia levar a um ganho líquido total de US\$108,5 bilhões por ano mundialmente.

Com a inegável importância dessa dinâmica devidamente elucidada, cria-se a conexão para o tópico seguinte que desenvolverá os temas acerca do método do Design Sistêmico.

2.3.1 Design Sistêmico

No campo do design, diversas são os métodos e abordagens aplicadas na criação de produtos, sistemas e serviços. Com o foco voltado para a questão da sustentabilidade, tendo em mente a necessidade urgente de repensar o modo como criamos, surge o design de abordagem sistêmica. Tal metodologia, segundo Lepre (2023, p. 1078):

“une Design, pensamento sistêmico e pensamento complexo, com vistas a dar suporte no enfrentamento de questões complexas e sistêmicas, como as que envolvem a descontinuidade dos estilos de vida antrópicos e a proposição de novos caminhos para o desenvolvimento sustentável, em todas as suas dimensões.”

Tal metodologia é fomentada por diversas escolas de design pelo mundo, tais como AHO - Oslo School of Architectural and Design de Oslo, na Noruega, OCAD University - The Ontario College of Art and Design University, no Canadá, Núcleo de Abordagem Sistêmica do Design (NASDesign) na Universidade Federal de Santa Catarina, no Brasil, entre outras. No entanto, para esta dissertação, foi dado o foco para a metodologia desenvolvida por uma escola específica, a Politecnico di Torino, da Itália, pois as suas diretrizes se alinham perfeitamente com a proposição da presente investigação.

De acordo com esta escola, o principal mote do design com abordagem sistêmica é mudar a mentalidade da sociedade, de modo que se compreenda as coisas como sistêmicas e interdependentes (Systemic Approach studio, 2016). Esta abordagem e a questão da emergência climática estão intimamente relacionados pois ela leva em consideração o impacto de um produto ou serviço em todo o sistema, incluindo os impactos sociais, ambientais e econômicos, promovendo a sustentabilidade (Systemic Approach studio, 2016).

Na imagem a seguir é possível entender como é pensada a rede de conexões onde o resíduo de um sistema serve de matéria-prima para outro - que é a situação

enfrentada nesta dissertação. Com essa conexão criada, é gerado um sistema circular onde os benefícios são gerados para o território, para os novos produtos e serviços sustentáveis resultantes dessa troca e também para a comunidade. Além disso, todas essas ações levam à uma produção onde o objetivo final é zerar as emissões de carbono.

Figura 8 - Diagrama ilustrando os benefícios da implementação do design sistêmico na cadeia de um produto ou serviço.



Fonte: Adaptado de Systemic Approach studio (2016)

Agora com o conhecimento dos benefícios desta abordagem, a seguir serão apresentadas as etapas de trabalho sugeridas pela linha de pensamento da Politecnico di Torino. O desenvolvimento de soluções seguindo a metodologia do design sistêmico passa pelas seguintes etapas (Systemic Approach studio, 2016):

1. Compreender o contexto ecológico e social do problema a ser abordado;
2. Identificar as interconexões e interdependências no sistema;

3. Desenvolver soluções que abordem múltiplas partes interessadas e considerem as inter-relações entre elas;
4. Implementar e avaliar continuamente essas soluções em um ciclo iterativo.

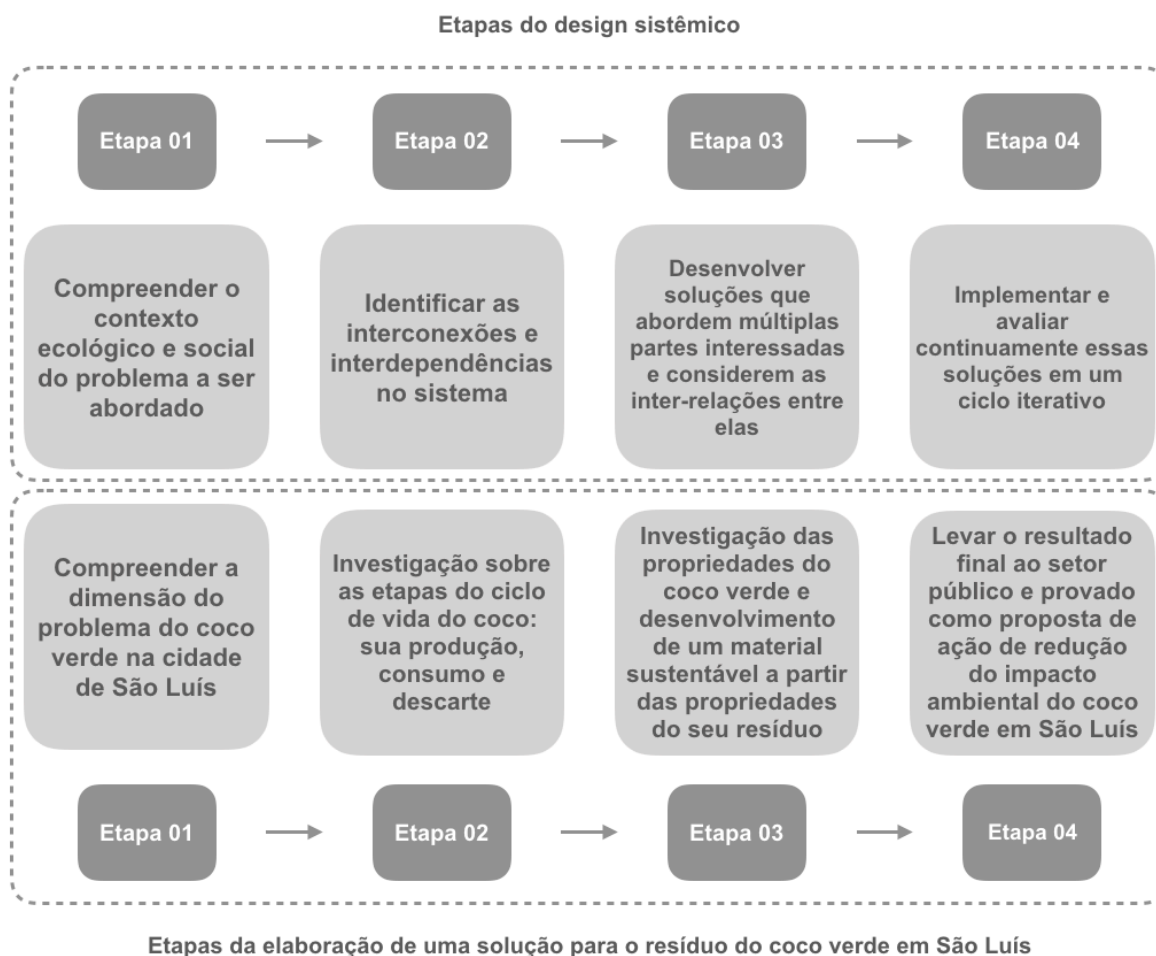
Com esse roteiro é possível de ser elaborado um levantamento abrangente do território e das partes envolvidas, com a finalidade de avaliar os efeitos de uma reformulação sistêmica que potencialize as cadeias de valor locais. Desta forma é possível projetar/imaginar uma solução que incentive a implementação de um sistema circular e auto suficiente com base nas relações entre as partes interessadas locais com uma meta de alcançar zero emissões de carbono.

Segundo Fletcher & Grose (2019, p. 156), “O designer é aquele que exerce seu papel como educador, comunicador, facilitador, ativista e empreendedor. Ele é fundamental no enfrentamento dos desafios da sustentabilidade”. Portanto, com o uso da metodologia do design sistêmico, é possível repensar a forma como os atuais sistemas funcionam e criar soluções regenerativas que tragam benefícios para a sociedade.

2.3.2 Impactos dessa abordagem aplicados ao cenário local

Pensando no roteiro sugerido pelo Systemic Approach studio (2016), é possível fazer um paralelo deste plano com o cenário onde o presente estudo está localizado. onde a solução aqui buscada se pauta nos passos sugeridos pela abordagem do design sistêmico. A seguir, foi elaborada a figura abaixo relacionando as etapas indicadas pela abordagem sistêmica com a problemática abordada por esta investigação.

Figura 9 - Diagrama relacionando as etapas do design sistêmico com esta dissertação.



Fonte: A autora. (2025)

A aplicação do design sistêmico ao problema do descarte do coco verde na cidade de São Luís evidencia uma abordagem estratégica e integrada, cujos benefícios se estendem para além da mitigação de impactos ambientais, alcançando dimensões sociais, econômicas e territoriais. A partir da compreensão do ciclo de vida do coco verde, tal abordagem possibilita a requalificação do resíduo enquanto recurso, inserindo-o em uma lógica circular de aproveitamento.

Nesse contexto, o design sistêmico permite a estruturação de uma resposta ao problema utilizando ferramentas e métodos design integrados tanto à matéria (criação de um novo material utilizando o resíduo do coco) quanto às questões sociais e de infraestrutura (descarte feito de forma indevida). Essa abordagem possibilita a identificação de conexões do sistema de produção de coco com diferentes agentes públicos e privados de São Luís, permitindo o desenvolvimento

de soluções sustentáveis que articulam os pilares ambientais, econômicos e sociais da cidade.

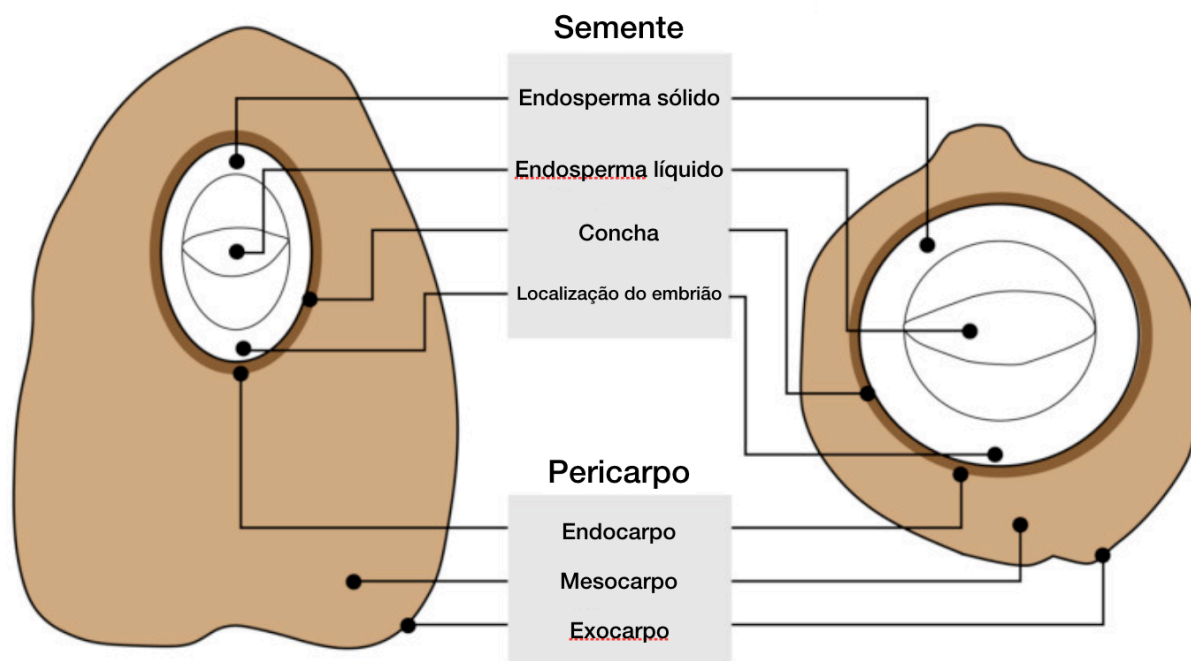
Além da proposta de reintrodução produtiva de um rejeito, a dimensão educativa trazida por esse processo também merece destaque. Ao tornar visíveis as conexões entre consumo, descarte e reaproveitamento de resíduos, o design sistêmico pode estimular o engajamento da população local em práticas mais sustentáveis, reforçando a importância da corresponsabilidade ambiental. Tal trabalho, como já mencionado anteriormente, já está sendo posto em prática pelo Movimento Ecoa São Luís e a investigação feita por esta pesquisa na criação de um novo material à luz das diretrizes do design complementa e reforça a importância de tais iniciativas para o sucesso da execução de uma dinâmica sistêmica no território local.

Em síntese, a adoção do design sistêmico no contexto de São Luís contribui para a mitigação dos impactos ambientais causados pelo descarte do coco verde, ativando um conjunto de transformações estruturais de natureza econômica, social e institucional. Ao integrar múltiplos agentes e promover soluções enraizadas nas especificidades territoriais, essa abordagem se mostra capaz de criar dinâmicas regenerativas, fundamentais para o desenvolvimento sustentável integrado da capital maranhense.

2.4 A Caracterização dos Elementos do Coco Verde

A fim de melhor compreender o objeto de estudo desta pesquisa, se faz necessária a elucidação dos seus principais componentes e elementos. Desta forma, mais fácil será a compreensão de quais partes compõem os resíduos do coco verde e de onde serão retirados os insumos para os experimentos de criação de um novo material. O coco é composto pelo seu exocarpo (casca externa), 35% mesocarpo (fibra), 12% endocarpo (“casca” seca interna), 28% endosperma (“carne”) e 25% água (San Andrés *et al.*, 2023). Na figura abaixo estão identificadas as diferentes partes da morfologia do fruto visto em secção longitudinal.

Figura 10 - Morfologia dos cocos em seus diversos formatos.



Fonte: Adaptado de Beveridge *et al.* (2022)

A sua morfologia e propriedades possuem uma forte ligação com a sua origem e disseminação pelo mundo. É especulado que os primeiros frutos, que nasceram de forma livre e selvagem próximos ao oceano Pacífico, obtiveram o formato alongado e com uma grande camada fibrosa (mesocarpo) para facilitar a sua propagação proporcionando a capacidade de boiar em água marítimas ao mesmo tempo que fornece proteção à semente contra a salinidade do mar (Harries, 1978). Uma vez que os cocos chegassem em uma nova terra firme, ali aconteceria o crescimento das suas raízes. Além de facilitar a flutuação, a casca grossa também protegia a semente da queda do fruto do topo da árvore bem como de eventuais mordidas de predadores tanto em terra quanto no mar (Beveridge *et al.*, 2022).

A medida que o coco foi sendo cultivado pelo homem como fonte de água e futuramente venda dos frutos, os de formato mais arredondados foram favorecidos pela facilidade de armazenamento e maior quantidade de água no seu interior. Como os frutos não precisavam mais flutuar, a camada fibrosa decresceu para dar espaço a um reservatório de água maior (Harries, 1978) e estes mantêm a mesma morfologia até hoje. Além do formato, a cor da casca externa também possui

algumas variações, podendo ser verde, amarelado, amarronzado, ou até mesmo em tons de laranja ou vermelho.

O mesocarpo é o que facilmente identificamos como a grossa camada fibrosa que avistamos ao abrir o fruto. Esta camada pode ter entre 3 a 5 centímetros de espessura, apresentando fibras longas e curtas, além de também ser composto pelo pó que se agrega à superfície dessas fibras (Rosa *et al.*, 2002). O endocarpo é a dura casca interna, de tonalidade marrom escuro, que protege a parte comestível do coco, ele é a parte que mais é utilizada em artesanatos por ser extremamente resistente.

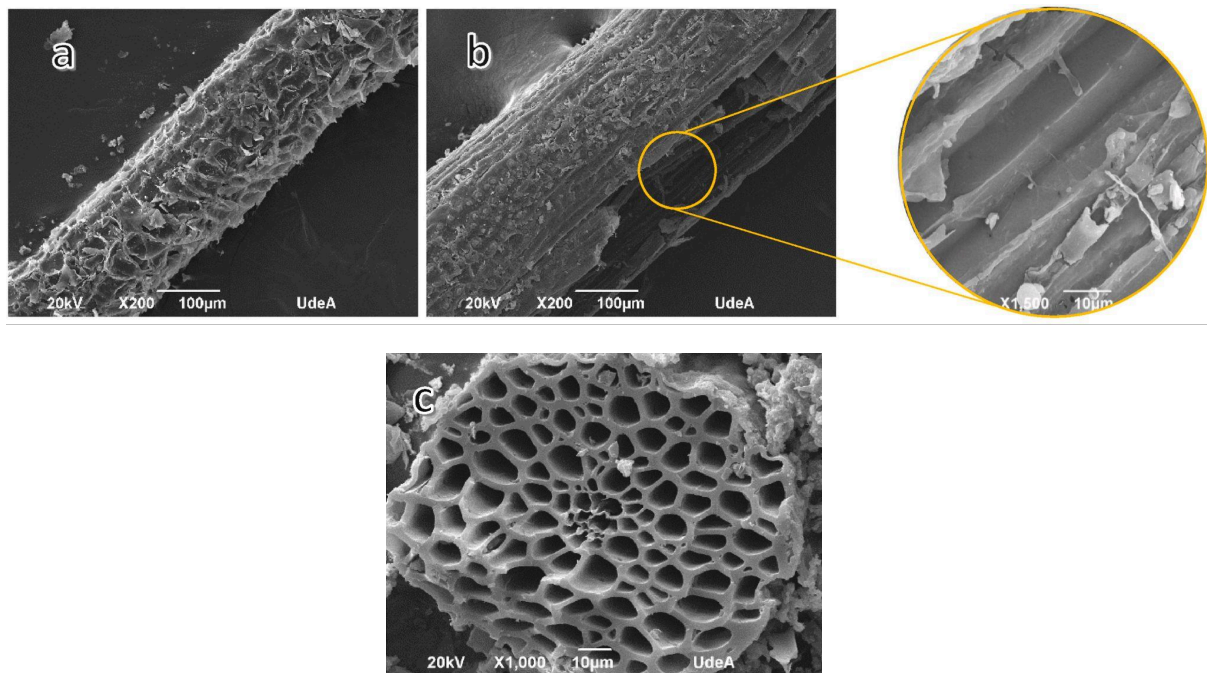
Por fim, dentro da semente, temos o endosperma líquido, que popularmente é chamado de água de coco, e o endosperma sólido, que popularmente é chamada de “carne” do coco ou polpa. A água é o principal produto do fruto, consumido mundialmente enquanto a polpa, quando não consumida no momento da abertura do coco, geralmente é descartada junto com o restante da casca.

Em algumas culturas a árvore do coco é chamada de árvore da vida pois todas as partes do fruto tem algum uso (Beveridge *et al.*, 2022). Para este estudo serão utilizados como insumos para os experimentos apenas as fibras extraídas do mesocarpo e o tanino que pode ser colhido desta mesma estrutura.

2.2.1 Características e propriedades das fibras casca do coco verde

Como forma de entender o que a fibra da casca do coco verde pode de fato oferecer aos compósitos onde ela será adicionada, neste tópico serão exploradas as suas características e propriedades físicas e químicas. Iniciando pela sua estrutura, as fibras têm secção circular, são multi-fibrilares e apresentam baixa relação comprimento-diâmetro (Mishra; Basu, 2020).

Figura 11 - Imagens de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) das fibras do coco verde mostrando a sua superfície externa (a), a sua morfologia interna longitudinalmente (b) e um corte mostrando a sua morfologia interna transversalmente(c).



Fonte: Adaptado de Andrés; Aguilar-Sierra; Graziella (2023)

Em relação às suas propriedades físicas, a fibra de coco tem baixa tenacidade de ruptura e módulo inicial, mas alta elongação na ruptura, baixa rigidez na flexão e baixa resistência ao atrito interfibrilar, tornando-a adequada para aplicações têxteis grosseiras (Mishra; Basu, 2020). A mesma ainda é caracterizada por apresentar baixa condutividade e resistência a impactos, bactérias e água (Senhoras, 2003). Quando devidamente tratadas, as fibras possuem estabilidade dimensional, pois a absorção de água e o inchaço são baixos (Mishra; Basu, 2020).

A fibra da casca do coco pertence ao grupo das fibras duras, sendo multicelular, e tem por principais componentes a hemicelulose e a lignina. Estas são responsáveis pela rigidez e dureza e, como são apresentados altos índices destes elementos, estas fibras também são habilitadas a serem utilizadas como reforço para compósitos (Jerônimo; Silva, 2013).

Quanto às suas propriedades químicas, os principais elementos da fibra do coco são lignina e polissacarídeos, com pequenas quantidades de outras substâncias,

incluindo pectina, sais inorgânicos, matéria corante e cera (Mishra; Basu, 2020). As suas estruturas microscópicas apresentam superfície irregular, contendo micro-imperfeições e têm parede celular com microfibrilas paralelas longitudinais (Mishra; Basu, 2020).

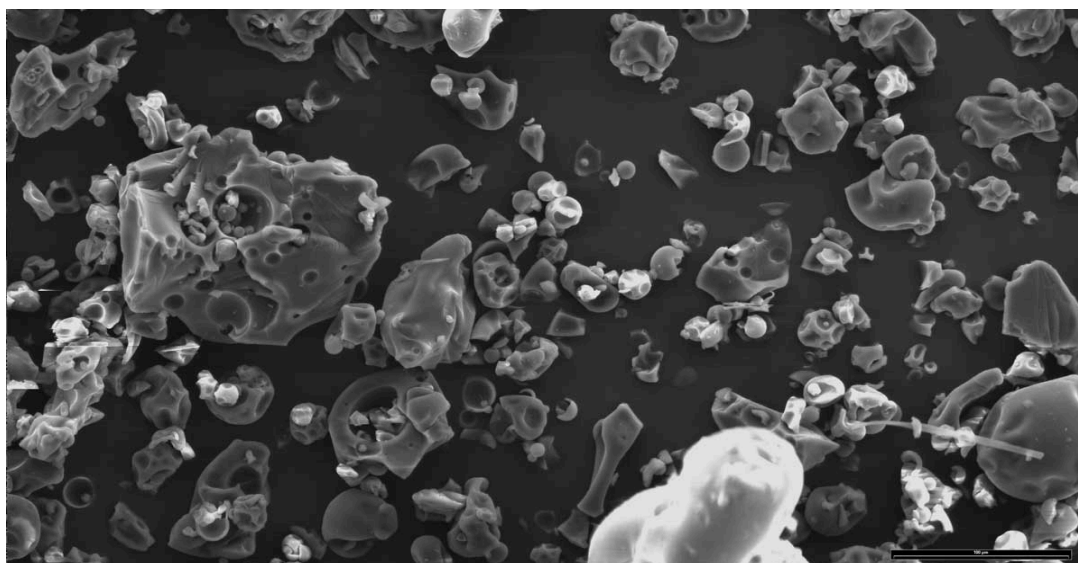
Com os dados acima apresentados, é possível compreender que a aplicação da fibra do coco em um compósito traz os seguintes benefícios: boa resistência mecânica, alta resistência à tração, baixa densidade, é biodegradável e possui baixo custo pois vai ser reaproveitada de resíduos descartados.

2.2.2 Características e propriedades do tanino

Assim como na fibra do coco, o tanino encontrado na casca do coco verde também tem as suas características singulares. De modo a compreender como ele pode ser uma adição benéfica em um compósito, é necessário compreender quais são as suas propriedades.

Os taninos, de uma forma geral, são compostos fenólicos encontrados naturalmente em diversas partes das plantas, como na casca, raízes e folhas das árvores, e em diversas espécies de frutas e vegetais. Nas plantas, de onde ele pode ser extraído, o tanino atua como agente de defesa, protegendo as árvores de fungos, patógenos, insetos e animais herbívoros (Kumar Das *et al.*, 2020). Este composto, como já foi mencionado, pode ser encontrado em cascas e frutos de diversas espécies de plantas, porém o coco verde é o fruto que tem a maior concentração da substância para ser extraída em uma menor quantidade de material bruto (Peroni *et al.*, 2019).

Figura 12 - Imagem de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) dos grânulos do tanino condensado em pó.



Fonte: CAPPEQ - Tannins under the Microscope (s/d)

No quadro 09 a seguir podem ser encontradas, de forma resumida e esquemática, as propriedades do tanino relatadas na literatura.

Quadro 09 - Quadro-síntese das propriedades, aplicações e potenciais usos do tanino do coco verde em materiais alternativos sustentáveis.

Fonte	Propriedade	Aplicação
Shirmohammadli, Efhamisisi, Pizzi (2018), Morbeck et al. (2019), Missio et al. (2019), Das et al. (2020)	Adesiva	Substituição para adesivos sintéticos a base de petróleo
Silveira <i>et al.</i> (2017); Shirmohammadli, Efhamisisi, Pizzi (2018); Missio <i>et al.</i> (2019); Das <i>et al.</i> (2020)	Antibacteriano / Antifúngico	Materiais e produtos que são susceptíveis à proliferação de mofo e bolor
Shirmohammadli, Efhamisisi, Pizzi (2018); Missio <i>et al.</i> (2019); Das <i>et al.</i> (2020)	Antioxidante	Materiais e produtos que podem sofrer oxidação com a ação da salinidade presente no ar
Missio <i>et al.</i> (2019)	Antipragas	Materiais e produtos que sofrem com ataque de pragas como traças e cupins
Shirmohammadli, Efhamisisi, Pizzi (2018); Das <i>et al.</i> (2020)	Baixa inflamabilidade	Materiais e produtos que possam entrar em contato com possíveis agentes que levem ao início do processo de combustão
Shirmohammadli, Efhamisisi, Pizzi (2018)	Baixa toxicidade	Materiais e produtos que tenham sejam de uso direto ou ingestão por

		seres vivos, podendo ter ou não contato direto com a pele e mucosas
Shirmohammadli, Efhamisisi, Pizzi (2018); Missio <i>et al.</i> (2019)	Resistência à umidade	Materiais e produtos que possam ter as suas propriedades/características prejudicadas por estarem em ambientes com alta umidade ou leve contato com a água

Fonte: Adaptado de Rodrigues; Zandomeneghi (2024).

Com todas estas informações, é possível compreender que o tanino extraído dos resíduos do coco verde possui diversos benefícios e os mesmos podem adicionar novas qualidades e propriedades quando adicionado a um compósito.

2.2.3 Estudos de caso de reaproveitamento e aplicações dos resíduos do coco

Como forma de elucidar possíveis maneiras de como os resíduos do coco verde já são reutilizados mundo afora, aqui serão trazidos alguns exemplos de empresas ou estudos elaborados por pesquisadores onde algum elemento do fruto foi incorporado na sua produção. Para essa seção, foram buscadas aplicações que fogem dos usos amplamente utilizados no nosso país - que como pode ser visto na RSL, primordialmente estão ligados à agricultura ou biocombustíveis. Aqui foram investigados produtos e materiais que prezam pela inovação, seja ela tecnológica ou de usabilidade, trazendo alternativas que demonstram as potencialidades e benefícios do uso dos resíduos do coco verde.

NaturLoop - Suíça

Fundada em 2020 por quatro sócios com experiência na área de desenvolvimento de novos materiais e com grande interesse na economia circular, foi criado o primeiro mínimo produto viável onde os resíduos de coco são transformados em painéis que substituem o tradicional MDF, o Cocoboard. Tais placas podem ser utilizadas para mobiliários planejados, divisórias e itens decorativos. Os painéis são feitos a partir da fibra do coco (90% da sua composição) e estas são combinadas com uma bioresina feita a partir do tanino também extraído do coco (10% restantes da sua composição). Desta forma, a fabricação das placas auxilia a implementação da cadeia circular dos rejeitos do coco verde, traz todos os benefícios do tanino para

ítems de madeira que naturalmente iriam se degradar ao longo do tempo e os ingredientes nocivos para a saúde humana e do meio ambiente são eliminados da produção desse novo material sustentável (NaturLoop, 2023).

Figura 13 - Placa produzida pela NaturLoop utilizando resíduos do coco verde



Fonte: NaturLoop (2023)

CocoPallet - Holanda

A empresa CocoPallet surge no mercado com a proposta de ser uma alternativa mais eficiente e sustentável em relação aos *pallets* de transporte tradicionais. Ele é fabricado de forma a ocupar menos espaço, utilizar 100% dos resíduos do coco verde, é resistente à pragas, é retardante de chamas, resistente à umidade além de ser um produto de baixo custo. Além dos benefícios no seu uso frente ao concorrente convencional, ao fim do seu ciclo de vida no ramo dos transportes, os CocoPallets podem ser utilizados como um aditivo nutritivo para o solo (CocoPallet, 2020).

Figuras 14, 15 e 16 - Placa CocoPallet (esquerda), comparação de empilhamento entre pallets convencionais e coco pallets (centro) e teste de resistência com carga estática 2000kgs (direita)



Fonte: CocoPallet (2020)

Cocona Labs / 37.5 Cellulose Technology - Estados Unidos da América

A empresa Cocona é a responsável pela criação de tecidos de alta performance à base de fibra de coco. Os tecidos, que são aplicados em roupas desde trajas casuais até equipamentos para prática de esportes em condições extremas, prometem ser auto reguladores da temperatura corporal, não desbota, não esgarça, não acumula odores, é 50% mais respirável do que os concorrentes, é de rápida secagem além de ser biodegradável, não faz o uso de microplásticos ou elementos químicos pesados e utiliza os resíduos do coco verde e minerais vulcânicos como matéria-prima (Cocona Labs, 2024).

Figura 17 - Diagrama fornecido pela Cocona Labs explicando os benefícios do seu tecido.

ACTIVE PARTICLES:
Employing natural active particles to do the heavy lifting, Cocona® technology actively attracts moisture that your body produces, vaporizes it, and captures the body heat released as you ride. The energy is used to convert the liquid to vapor, speeding up the drying process. And as you may know, staying dry is critical to maintaining warmth, resulting in increased comfort and ultimately allowing you to stay out on the hill longer.

BENEFITS:
Cocona® technology benefits don't just stop at performance factors such as faster drying times and odor management, it is also more environmentally friendly than other processes or treatments. Cocona® active particles are derived from naturally occurring minerals, are permanently embedded so they won't wash or wear out.

COCONA® FLEECE:
Cocona® fleece fabrics remove moisture with the same active particle technology used in the Cocona® shell fabrics, so you can layer with confidence when wearing this highly breathable mid-layer. Our Cocona® fleece is an integral part of our Cocona® layering system. Independent labs have proven that Cocona® technology accelerates the dry rate performance of the entire system by 100% compared to competitor products on the AATCC heated plate method.

LAMINATE:
The half layer in our Cocona® 2.5L and 3.5L fabrics is the grey/black, slightly raised, textured print applied to the backside. The Cocona® technology is put closest to the body so the active particles can process moisture at the source.

TESTED & APPROVED:
Cocona® products are tested and certified in their Boulder, Colorado lab to ensure that each fabric delivers accelerated performance. Active particle technology has been tested by industry standards and been found to enhance the dry rate performance of fabrics by 30 to 50% using AATCC test methods.

Fonte: Cocona Labs (2024)

Nanollose / Jelli Grow - Austrália

A empresa Nanollose é responsável pela fabricação de diversos produtos à base dos resíduos do coco verde - diferentes tipos de tecido, linhas e até mesmo roupas finalizadas - porém o que mais chama atenção pela sua particularidade é o Jelli Grow. Este é uma alternativa de substrato para crescimento de sementes em locais

onde não há acesso ao solo natural, tais como cidades ou mesmo estações espaciais em órbita, ou para fins de *display* e atividades educativas. O Jelli Grow se diferencia das demais opções do mercado por ser feito 100% de materiais naturais, é biodegradável e não traz malefícios à saúde. Além disso, por ser feito inteiramente por fibras e componentes orgânicos, ele possui a capacidade natural de reter água, provém nutrientes para as sementes e elimina a possibilidade de proliferação de doenças recorrentes em plantações feitas direto no solo.

Figura 18 - Simulação de uso de sementes com o substrato Jelli Grow.



Fonte: Nanollose (2024)

Favini - Itália

A Favini é uma tradicional empresa do ramo de confecção de papéis de alta qualidade - iniciando as suas atividades em 1736 - e desde os anos 90 ela firmou um compromisso com a sustentabilidade e circularidade da sua produção. Além das inovações nos processos fabris como diminuição do uso de água no processo de fabricação dos papéis, redução do uso de energia e também de emissões de CO₂,

a empresa criou seis linhas de produtos que utilizam diversos tipos de resíduos como componente dos papéis. As linhas são: Alga Carta (utiliza algas marinhas), Crush (utiliza resíduos agrícolas), Remake (utiliza resíduos da indústria de bens de couro), Refit (utiliza resíduos têxteis), Shiro Echo (utiliza diferentes tipos de papéis reciclados) e Tree Free (utiliza resíduos de bambu e algodão). Na linha Crush, são utilizados diversos resíduos de alimentos que caracterizam as cores naturais dos papéis e é nela que está incluso um produto feito à base dos resíduos do coco. O produto tem uma característica cor escura, proveniente do processo de oxidação da fibra e transformação da casca em carvão vegetal para intensificar ainda mais a sua tonalidade, possui 5 opções de gramatura diferentes e pode ser produzido em grandes formatos (Favini, 2024).

Figura 19 - Simulação de uso do papel feito com resíduos de coco.



Fonte: Favini (2024).

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1. Metodologia

O presente capítulo disserta acerca dos procedimentos metodológicos e ferramentas utilizadas para responder a seguinte pergunta de pesquisa: “Como os resíduos de coco verde descartados em São Luís podem ser agregados na composição de um novo material sustentável?”. Como o autor Antônio Carlos Gil traz em sua obra Métodos e Técnicas de Pesquisa Social (2008, p.08): “Para que um conhecimento possa ser considerado científico, torna-se necessário identificar as operações mentais e técnicas que possibilitam a sua verificação”. Ainda seguindo as recomendações feitas por Gil (2002, p.20), de forma a elucidar as etapas e processos utilizados - e consequentemente o entendimento completo da metodologia de pesquisa utilizada - neste capítulo serão encontradas as seguintes informações:

- I. Identificação do tipo de pesquisa;
- II. Elaboração dos instrumentos e determinação da estratégia de coleta de dados;
- III. Determinação do plano de análise dos dados;
- IV. Previsão da forma de apresentação dos resultados.

3.1.1 Classificação da Pesquisa

Quanto à abordagem, esta pesquisa se qualifica como **quantitativa**. Em todas as etapas dessa pesquisa, os dados serão levantados, quantificados e listados para que seja feita uma análise imparcial e mais acertada da realidade. Quanto à sua natureza, esta pesquisa se classifica como **aplicada**. A presente pesquisa se conduzirá de maneira a buscar informações que oferecerão resoluções para problemas reais e específicos do objeto de pesquisa. (GIL, 2002) Quanto aos seus objetivos, esta pesquisa se classifica como **exploratória**.

3.2 Etapas e Métodos

De acordo com Santos (2018, p. 10) “A capacidade de desenvolver soluções para problemas não convencionais e/ou complexos através da utilização de métodos de pesquisa [...] tem a possibilidade de prover respostas a problemas com maior robustez e confiabilidade, com argumentos fundamentados em dados e fatos, de forma mais lógica, menos imparcial e mais objetiva.” Nesta porção do capítulo são listados os métodos e técnicas utilizadas por cada etapa seguido pela sua definição e justificativa de uso (Quadro 10).

Quadro 10 - Etapas e procedimentos da pesquisa.

ETAPA	OBJETIVO	PROCEDIMENTO METODOLÓGICO	FERRAMENTAS UTILIZADAS
Delimitação do tema e compreensão das problemáticas em torno do objeto de estudo	Entender os problemas gerados pelo coco verde e as possíveis aplicações deste resíduo em novos materiais	Pesquisa bibliográfica	Revisão sistemática de literatura
Fundamentação teórica	Identificar na literatura fontes que tragam informações técnicas sobre o coco verde, como ele pode ser um elemento benéfico em um material compósito e produtos que já o utilizam como matéria-prima em produtos.	Pesquisa bibliográfica	Revisão narrativa de literatura / Observação indireta
Testes em laboratório	Confeccionar corpos de prova de papéis reciclados, adicionados de fibra de coco e tanino condensado em pó, e efetuar ensaios para testar a sua eficácia enquanto um material compósito.	Pesquisa experimental	Observação em laboratório
Análise dos resultados	Sistematização dos dados obtidos em laboratório e suscitação de produtos onde a amostra deste novo material pode ser aplicada.	Pesquisa experimental	Triangulação de dados

Fonte: A autora (2025).

Como primeira etapa da pesquisa, foi feita uma pesquisa bibliográfica por meio da revisão sistemática de literatura (RSL). Tal método é utilizado para “responder uma pergunta específica e que utiliza métodos explícitos e sistemáticos para identificar, selecionar e avaliar criticamente os estudos, e para coletar e analisar os dados destes estudos incluídos na revisão” (Castro, 2001). Tal tipo de metodologia é mais

adequada para a presente pesquisa dada a necessidade da aplicabilidade dos resultados encontrados e solução prática para um problema real.

O processo desse tipo de revisão foi composto por 7 etapas, sendo elas: (1) elaboração da pergunta de pesquisa; (2) busca na literatura com critérios de filtragem padronizados; (3) seleção dos artigos; (4) extração dos dados; (5) síntese dos dados (metanálise); (6) avaliação das evidências; e (7) redação e publicação dos resultados. Com essa RSL foi possível fazer o levantamento do estado da arte das pesquisas e trabalhos feitos até então voltados para os atuais e planejados usos dos do coco verde, identificar as potencialidades deste campo, identificar uma lacuna de pesquisa e assim delimitar um sólido problema de pesquisa a ser investigado.

Após finalizada a primeira etapa de pesquisa bibliográfica, foi dado início ao segundo momento da pesquisa com a consulta de literatura focada em tópicos auxiliares à temática do coco verde. Assuntos como o seu ciclo de vida (para entender como pode ser reduzido o impacto dos seus resíduos), as suas propriedades químicas e físicas (para compreender de que forma ele pode trazer benefícios para um compósito) bem como qual a metodologia de design é mais adequada para auxiliar no processo de desenvolvimento do material final foram investigados neste momento.

Ainda neste mesmo capítulo foram feitas breves observações de produtos e aplicações no mercado atual a partir de uma pesquisa bibliográfica de empresas que elaboram produtos utilizando resíduos do coco verde com insumo. Com isso, foram levantados dados por meio de observação indireta, levantando dados, imagens e documentos disponibilizados pelas respectivas empresas.

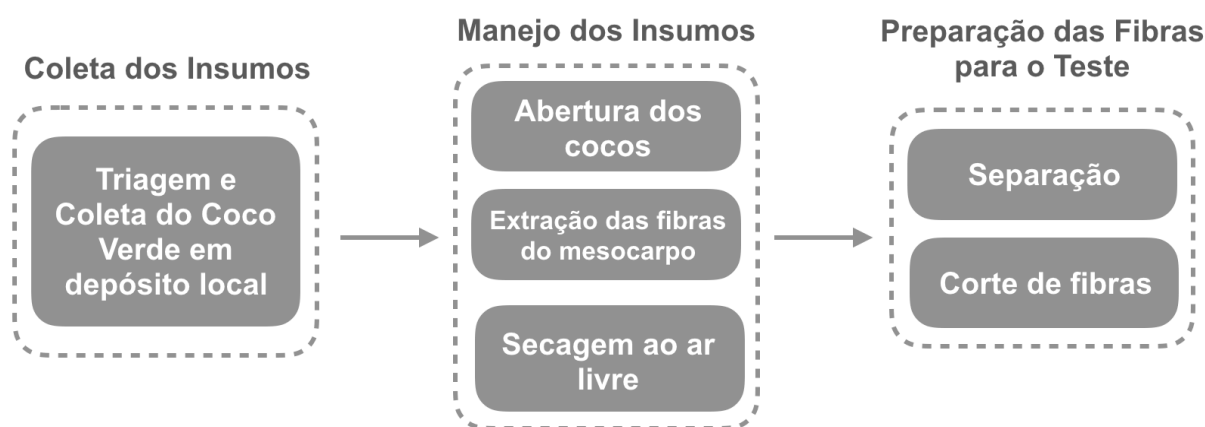
Com a fundamentação teórica completa, será dado início aos testes em laboratório por meio de método experimental. O método experimental é aquele em que as variáveis são manipuladas de maneira preestabelecida e seus efeitos suficientemente controlados e conhecidos pelo pesquisador para a observação do estudo, descobrindo assim conexões causais e atingindo a demonstrabilidade. (Fachin, 2005, p.43). Na etapa, primeiramente, serão coletadas amostras de fibras -

a serem retiradas e tratadas pela autora *in loco* - e tanino - a ser adquirido na sua forma condensada e em pó.

A manipulação e preparo dos reforços do compósito foram simplificadas para que o foco principal dos experimentos fosse avaliar os resultados dos ensaios com os corpos de prova e atestar a eficácia de sua aplicação. A análise de melhores formas de extração ou mesmo uma análise laboratorial de cada componente não será abordada neste trabalho, apenas serão utilizados como base as informações encontradas na literatura de outros autores que focaram na extração e análises individuais destes componentes.

Para a extração das fibras, as etapas consistem na: (1) coleta do material em pontos de venda na cidade de São Luís, (2) abertura dos cocos e extração do mesocarpo de cada unidade, (3) secagem do material ao ar livre, (4) separação das fibras manualmente e por fim o (5) corte das fibras no tamanho adequado para os ensaios de tração. Na figura 18 a seguir, estão ilustradas as etapas de manuseio e preparo das fibras.

Figura 20 - Infográfico com etapas de preparo e teste das fibras extraídas do mesocarpo do coco verde.



Fonte: A autora (2025).

Com todas as amostras de fibra prontas e o tanino condensado em pó devidamente adquirido em estabelecimento especializado, será iniciada a confecção dos corpos de prova do compósito. Os reforços serão adicionados à matriz de papel reciclado e expostas a testes em situações artificiais em ambiente controlado (laboratórios da

Universidade Federal do Maranhão) com o intuito de responder ao objetivo principal levantado pela pesquisa e interpretar os resultados encontrados.

Tal base para o compósito foi selecionada por dois motivos: a necessidade de um material de base orgânica para o tanino e fibras do coco proverem uma melhor adesão e performance das suas propriedades - vide a precária eficácia apresentada em ensaio previamente elaborado com uma base de origem mineral - e a facilidade de confecção da polpa.

A polpa será confeccionada por um processo artesanal utilizando apenas papéis sulfite brancos, feitos a partir de fibras de eucalipto, descartados em atividade de escritório de arquitetura. Tal atividade profissional gera uma constante acumulação de papéis descartados pois são impressas diversas plantas baixas, esquemas e desenhos no processo de desenvolvimento de um projeto de arquitetura.

Ademais, o papel, enquanto material com alta versatilidade, pode ser utilizado nos mais diversos usos em uma vasta gama de indústrias. O mesmo pode ser empregado em embalagens de inúmeros produtos, revestimento de parede na construção civil, desenvolvimento de mobiliários, documentos manuscritos ou impressos, entre outros.

Tal polivalência - como ilustrado no mosaico de imagens a seguir - não só demonstra uma flexibilidade de aplicação do material no eventual sucesso experimental do compósito proposto por esta pesquisa, mas também aponta na direção de como tal ação sistêmica pode beneficiar diversos ramos da indústria e da sociedade ao mesmo tempo em que auxilia na solução do problema das cascas de coco verde descartadas.

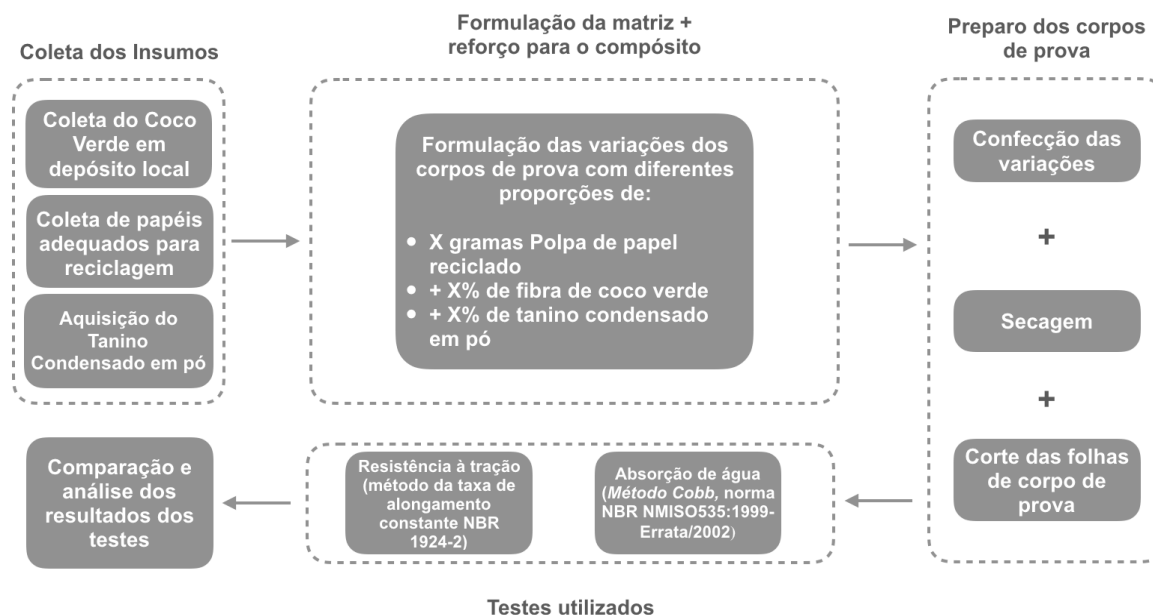
Figura 21 - Mosaico de imagens ilustrando diferentes usos do papel reciclado e/ou reforçado com fibras naturais, tais como (a) papel Hexcell para proteção de diversos itens substituindo o plástico bolha em embalagens, (b) “Paper Softwall” desenvolvida pela Molo Design como módulos de divisão de ambientes, (c) papel reciclado A4 fabricado no Brasil pela ChameX, (d) cortinas feitas com papel reforçado com fibra de arroz criados pela Wood & Washi, (e) e (f) papel de parede texturizado e reforçado com fibras de Abacá criado por Phillip Jeffries.



Fonte: (a) Kudos Giftwrap (s/d); (b) Molo Design (s/d); (c) ChameX (s/d); (d) Wood & Washi (s/d); (e) e (f) Phillip Jeffries (s/d).

As fibras do coco e o tanino em pó serão adicionados no momento da confecção da polpa, de forma que estas façam parte da composição do papel reciclado. A seguir, na figura 20, pode ser visto o processo de elaboração dos corpos de prova.

Figura 22 - Roteiro de etapas e procedimentos de elaboração dos corpos de prova e ensaios a serem realizados.



Fonte: A autora (2025).

Uma vez confeccionadas as amostras com as diferentes proporções de reforços, os mesmos serão levados a ensaios onde serão simuladas situações análogas às que o material a ser produzido nesta etapa poderá ser submetido em suas possíveis aplicações. Os testes, previstos em normas específicas de controle de qualidade de papéis, avaliarão a sua eficácia além de servir de comparativo entre as diferentes proporções de reforço na matriz do compósito proposto. As simulações em laboratório são as seguintes:

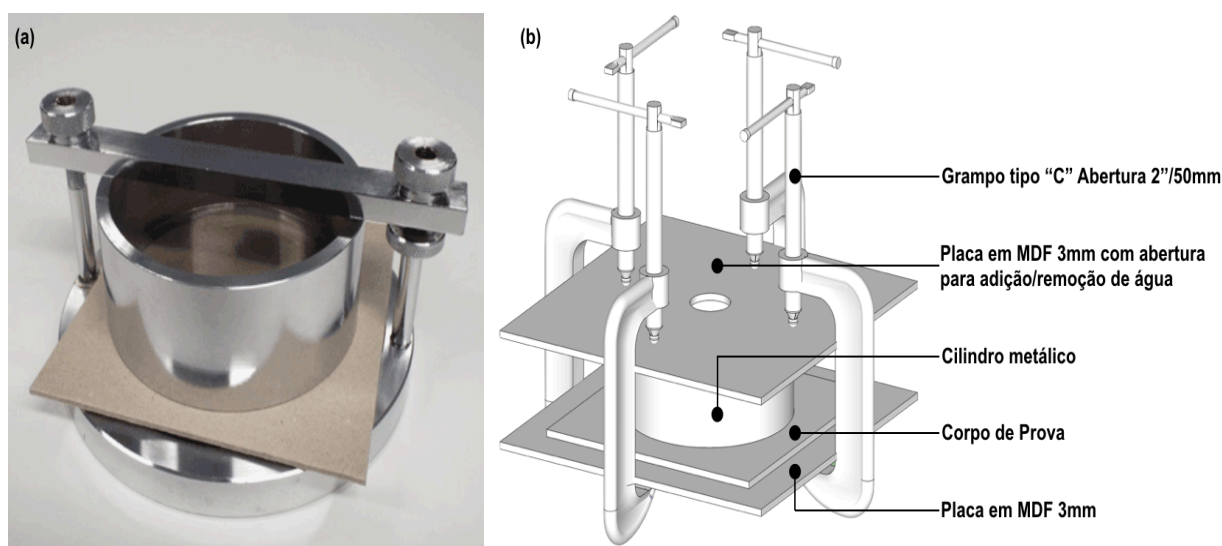
- I. Teste de absorção de água utilizando o Método Cobb - como instruído pela norma NBR NM-ISO 535 (1999);
- II. Teste de propriedades de tração utilizando o método da taxa de alongamento constante (20 mm /min) - como instruído pela norma NBR ISO 1924-2 (2012).

O primeiro ensaio a ser realizado, o Teste de Cobb, serve para atestar a quantidade de água que um papel ou papelão consegue absorver em um determinado período. Esse teste avalia a resistência à umidade de materiais utilizados em embalagens, garantindo que mantenham sua integridade estrutural quando expostos à água (NBR NM-ISO 535,1999).

O processo de execução do teste é composto por cinco etapas de fácil realização. Elas consistem em: (1) Preparação das amostras, cortando-as em dimensões padronizadas e aferindo o peso inicial de cada uma, (2) contato das amostras com a água, sendo sempre a mesma quantidade e o mesmo tempo de exposição para todas, (3) remoção do excesso de água das superfícies das amostras, (4) pesagem as amostras para aferir a diferença de peso em relação ao peso inicial após o contato com a água e, por fim, (5) o cálculo do valor de Cobb, que consiste na diferença entre os pesos inicial e final ilustrando assim a quantidade de água absorvida por metro quadrado de papel (NBR NM-ISO 535,1999).

Neste teste é utilizado o maquinário chamado de Cobb Tester, porém, na ausência de disponibilidade de tal maquinário, a autora confeccionou um mecanismo capaz de desempenhar a mesma função do equipamento original. A seguir, no mosaico de figuras abaixo, à esquerda está ilustrado o (a) equipamento original e à direita uma (b) vista isométrica com todos os elementos componentes do mecanismo elaborado pela autora.

Figura 23 - Mosaico de imagens ilustrando (a) versão original do equipamento Cobb Tester e (b) vista isométrica digital do mecanismo criado pela autora para executar o teste de Cobb.



Fonte: (a) Smithers (s/d); (b) A autora (2025).

Como forma de apresentação dos resultados encontrados, será feita uma tabela informando o peso inicial das amostras, o peso após a execução do teste e a diferença entre esses valores, tendo assim, o valor em gramas da quantidade de água absorvida pelo corpo de prova. Com esses valores é possível também calcular a taxa de absorção de água por metro quadrado. A fórmula para obtenção deste valor é a seguinte:

$$A = (m_2 - m_1) / F$$

Onde **A** é a capacidade de absorção de água, **m₂** é o valor final do corpo de prova após o ensaio (massa final), **m₁** é o valor inicial do corpo de prova em gramas (massa inicial) e **F** é o valor em cm² da área do corpo de prova que esteve em contato com a água (NBR NM-ISO 535,1999). Ao final dos cálculos, quanto menor for o valor de **A**, melhor é a performance do corpo de prova.

Com a finalização do teste de Cobb e secagem completa dos corpos de prova, o segundo e último ensaio realizado é o teste de resistência à tração. Tal teste servirá para aferir se a adição das fibras de coco verde no compósito de fato aumenta a resistência dos corpos de prova aos possíveis esforços de tração que o papel pode sofrer em suas diversas aplicações. Segundo a NBR ISO 1924-2, este teste serve para medir a resistência à tração, o alongamento no momento da ruptura e a energia absorvida na tração do papel com a velocidade constante de alongamento de 20 mm / min.

Tal teste foi realizado no laboratório do Departamento de Design da UFMA fazendo uso da Máquina Universal de Ensaio Biopdi MBIO-II e também no laboratório do departamento de Engenharia Mecânica fazendo o uso da Máquina de Ensaio Universal INSTRON EMIC 23-100, com uso de garras para fixação dos corpos de prova ao equipamento. Na figura a seguir, podem ser vistos os equipamentos em questão e o modelo de garras apropriadas para o tipo de ensaio a ser realizado.

Figura 24 - Mosaico de imagens ilustrando (a) Equipamento Biopdi MBIO-II no laboratório do Departamento de Design da UFMA e (b) garras utilizadas para fixação dos corpos de prova.



Fonte: Acervo da autora (2025).

O processo de execução deste teste é composto por seis etapas. Elas consistem em: (1) Preparação das amostras, cortando-as em dimensões padronizadas em formato de “gravata”, (2) registro das dimensões necessárias para alimentar o software da máquina de ensaio, (3) configurar o software da máquina com os todas as informações do tipo de ensaio, velocidade do ensaio, área da seção do corpo de prova e quais os resultados e gráficos que ela deve fornecer ao final do ensaio (4) montagem dos corpos de prova nas garras, (5) execução do teste e, por fim, (6) retirada do corpo de prova fragmentado da máquina e inserção da próxima amostra para um novo ensaio.

O equipamento fornece os valores obtidos em tabela bem como gráficos comparativos com os resultados de cada ensaio. Com os valores em mãos, pode ser feito o cálculo do limite de resistência utilizando a seguinte fórmula:

$$\sigma = F / A0$$

Onde σ é o valor de limite de resistência, F é o valor em Newtons da força máxima de tração aplicada na amostra e $A0$ equivale à área em milímetros quadrados da seção do corpo de prova antes da aplicação da força (Biopdi, 2023). Quanto maior o σ , mais resistente é o material. Assim como no primeiro ensaio, os valores das amostras onde as fibras e o pó de tanino foram comparados com o corpo de prova básico (sem aditivos) a fim de entender qual proporção de aditivos no compósito apresentou o melhor resultado conferindo uma melhor performance.

Com todos os resultados dos ensaios em mãos, foi feita a triangulação de dados. A interpretação das informações coletadas durante todo o trabalho são essenciais para o entendimento global da pesquisa e completude do raciocínio da investigação. Ao efetuar a triangulação como análise final, se tem a “percepção de totalidade acerca do objeto de estudo e a unidade entre os aspectos teóricos e empíricos, sendo essa articulação responsável por imprimir o caráter de cientificidade ao estudo” (Marcondes, Brisola, 2014). Nesta etapa as informações foram “contextualizadas, criticadas, comparadas e trianguladas” (GOMES et al., 2010, p. 185) culminando na conclusão desta investigação.

Além da análise dos dados obtidos em cada teste, é de extrema importância para esta pesquisa que seja feita uma correspondência entre estes resultados alcançados com o que eles representam dentro da dinâmica do design sistêmico. É neste ponto de culminação das análises que será feita a interpretação de como todo o processo de coleta, tratamento e aplicação dos resíduos do coco verde se insere no contexto do design sistêmico, na tentativa de entender como esta proposta de material de fato tem o seu valor dentro de um ciclo sustentável. Aqui serão trazidos de volta os pontos-chave desta metodologia de design e feitas as considerações finais com base na experiência final deste estudo.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Processo produtivo

Esta porção da dissertação é destinada a descrever e ilustrar com diagramas, tabelas e fotografias todas as etapas do processo de produção dos corpos de prova e testes realizados. As etapas e finalidades de cada procedimento foi registrada no tópico anterior e aqui serão ilustrados como de fato aconteceu durante o processo de produção. Tais registros se fazem necessários em pesquisas experimentais tanto para o entendimento pleno do leitor sobre como foram feitos cada procedimento quanto para garantir a reprodutibilidade dos processos em investigações e estudos futuros.

“[...] o compartilhamento do protocolo de pesquisa antes do início dos experimentos, a disponibilização de todo o registro primário referente à condução da pesquisa, e a permissão de acesso a todos os dados brutos gerados pela pesquisa são práticas fundamentais para a garantia da Reprodutibilidade da Pesquisa.” (USP, s/d)

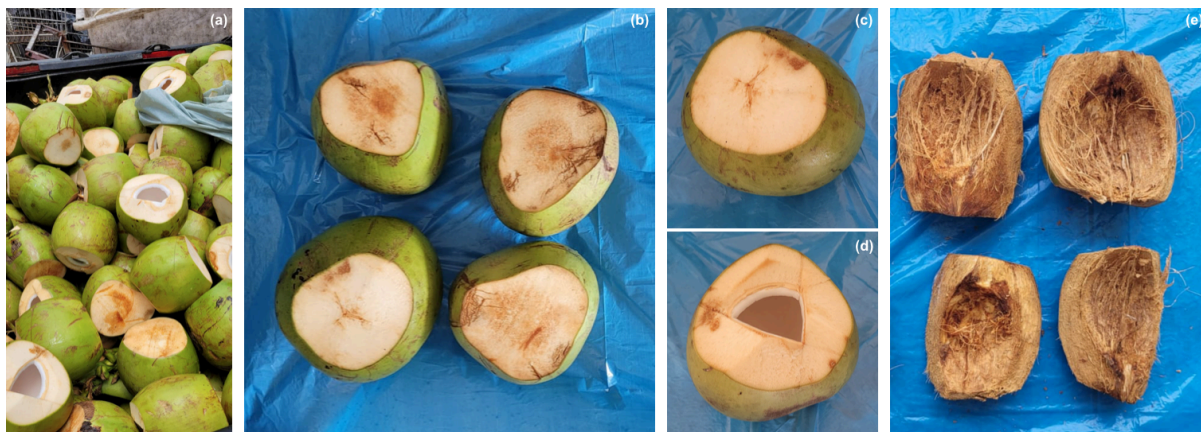
Os materiais utilizados na produção dos corpos de prova são os listados abaixo:

- A. Cascas de coco verde;
- B. Faca para corte e abertura dos cocos;
- C. Papéis sulfite A4 com impressão em jato de tinta descartados;
- D. Água filtrada;
- E. Recipiente de plástico com capacidade para 17 litros;
- F. Liquidificador caseiro;
- G. Copo medidor;
- H. Balança de precisão;
- I. Tela para serigrafia esticada em moldura em madeira pinus 25cm x 30cm;
- J. Moldura em madeira pinus para serigrafia 25cm x 30cm sem tela;
- K. Tecido em algodão cru em faixas de 35cm x 55cm (10 unidades);
- L. Tanino concentrado em pó;
- M. Caneta esferográfica;
- N. Tesoura;

- O. Luvas nitrílicas para proteção das mãos;
- P. Esponja de limpeza multiuso;
- Q. Estilete;
- R. Etiquetas autocolantes;
- S. Régua.

Iniciando pela coleta de amostras de coco verde, as quais foram adquiridas em um depósito e ponto de venda do fruto no bairro do COHAJAP em São Luís. Nesta primeira fase os cocos foram esvaziados de sua água e abertos ao meio para que fosse feita a retirada e descarte do endocarpo - também conhecido como “quenga” do coco e que não será utilizado em nenhuma fase de experimento ou análises desta pesquisa. Após a retirada do mesmo, as cascas são partidas mais uma vez pela metade (totalizando a divisão de um coco em quatro porções separadas) para facilitar o manuseio para a extração e separação das fibras do mesocarpo.

Figura 25 - Mosaico de imagens ilustrando (a) cocos descartados em depósito no COHAJAP, (b) cocos adquiridos completos, ainda com água no seu interior, (c) coco antes da abertura para retirada de água, (d) coco com a abertura por onde foi retirada a água e (e) coco partido em 4 partes e com a “quenga” central já retirada, possibilitando a visualização das fibras do mesocarpo.



Fonte: Acervo da autora (2025).

Uma vez retiradas as fibras de forma manual, elas são expostas ao ar livre para que seja feita uma secagem natural a fim de aperfeiçoar a limpeza e separação das fibras do pó da casca do coco. No momento em que as fibras são desagregadas do formato inicial do coco, estas ainda possuem uma grande quantidade de umidade

na sua composição, fazendo com que o pó siga unido à fibra. Uma vez que estão secas, a limpeza e retirada manual do pó se torna mais fácil.

Figura 26 - Parte das fibras, ainda levemente úmidas, que foram retiradas manualmente das cascas de coco abertas.



Fonte: Acervo da autora (2025).

Após 24 horas expostas ao ar livre em local aberto e com ventilação natural, as fibras apresentam um aspecto mais seco e também demonstram uma maior rigidez e resistência quando comparado ao seu estado úmido recém retirado do coco. O próximo passo para as fibras será o seu corte para adição na polpa do papel reciclado, porém este será feito em uma etapa mais adiante na elaboração dos corpos de prova.

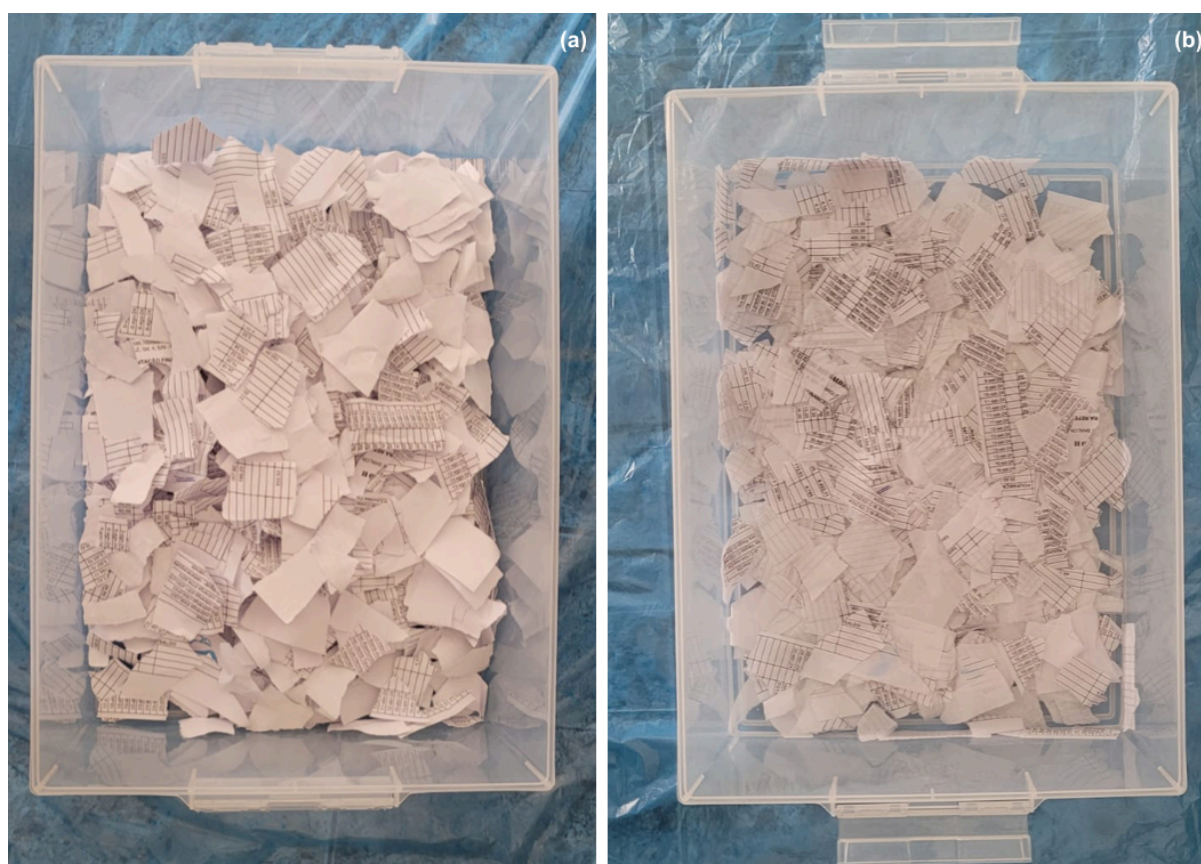
Figura 27 - Fibras após o processo de secagem ao ar livre.



Fonte: Acervo da autora (2025).

Em seguida, com as fibras já prontas, seguimos para a confecção da polpa de papel reciclado. De início, é feita a coleta e registro em foto dos papéis sulfite a serem reciclados, os mesmos são rasgados de forma grosseira à mão e deixados em um recipiente com água durante 12 horas para que as fibras do papel sejam amaciadas e possibilite a reestruturação das mesmas em uma nova folha de papel reciclado.

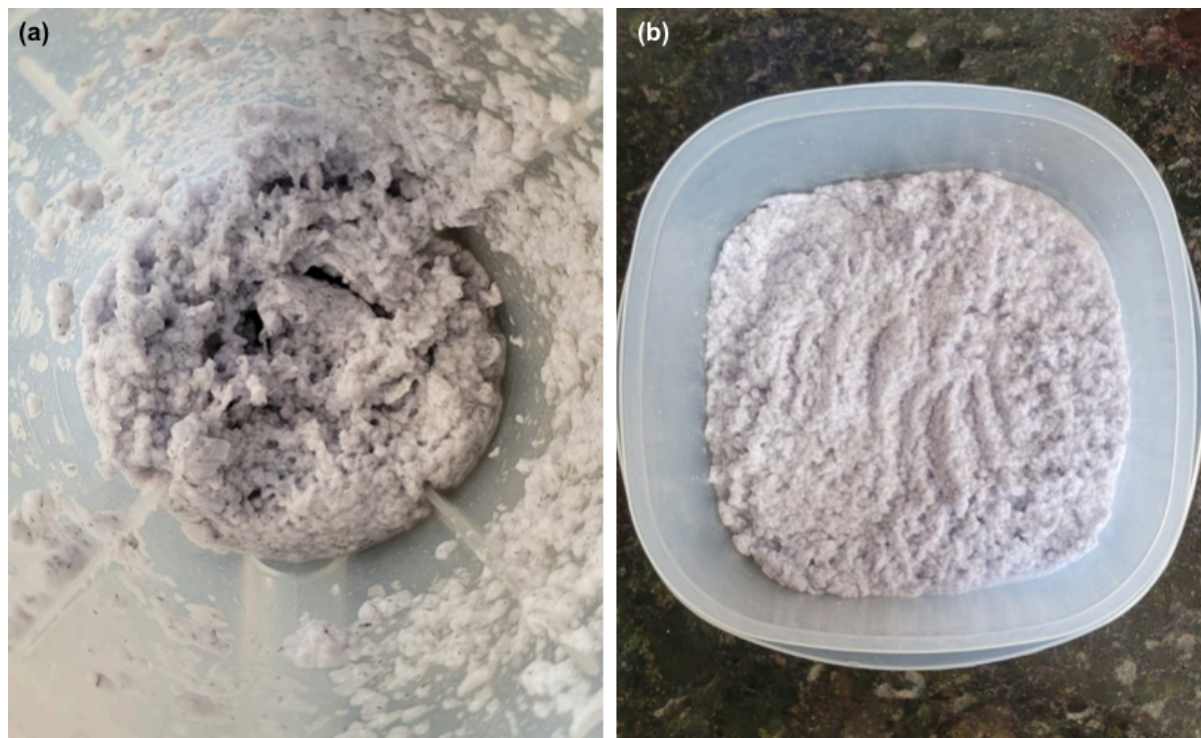
Figura 28 - Mosaico com imagens do processo de amolecimento do papel sendo (a) os papéis picotados à mão e depositados no recipiente ainda sem água e (b) os papéis amolecidos após 12 horas de imersão.



Fonte: Acervo da autora (2025).

Após completadas as 12 horas de imersão em água, o material está visualmente semelhante porém estruturalmente bem diferente. Em seguida, este material é levado ao liquidificador na proporção 3 para 1, sendo 3 partes de água filtrada para 1 parte do papel que ficou imerso por 24 horas em água. Desta forma o material pode ser diluído na água para não queimar o aparelho. Cada pulso do liquidificador foi feito por 10 segundos e entre eles foram dados intervalos de 30 segundos também para evitar a queima do equipamento.

Figura 29 - Mosaico com imagens ilustrando (a) os papéis em processo de trituração no liquidificador e (b) o papel já triturado e acomodado em recipiente plástico.



Fonte: Acervo da autora (2025).

Com todo o material já triturado e homogeneizado pelo liquidificador, é iniciada a etapa de confecção inicial das folhas como um teste de proporções. Como na literatura disponível sobre confecção de papel reciclado com reforços de fibras naturais não foram fornecidas as informações da relação entre a quantidade de polpa de papel reciclado e o molde onde serão feitas as folhas, se fez necessária a elaboração série de testes iniciais com a polpa sem aditivos para entender o quanto de papel seria utilizado nos ensaios da presente pesquisa. A tela utilizada como forma possui 30cm x 25cm e, após algumas tentativas, concluiu-se que 800g de polpa de papel eram necessários para cobrir toda a superfície de maneira uniforme.

Nesse teste também foi avaliado qual o peso final do material seco - informação esta que, igualmente, também não é mencionada nos artigos e trabalhos similares à este - o qual resultou em 90g de papel reciclado uma vez finalizado o processo de secagem. Desta forma, conclui-se que a polpa é composta por 11,25% de fibras de papel e 88,75% de água a ser evaporada. Com estes dados em mãos foi possível

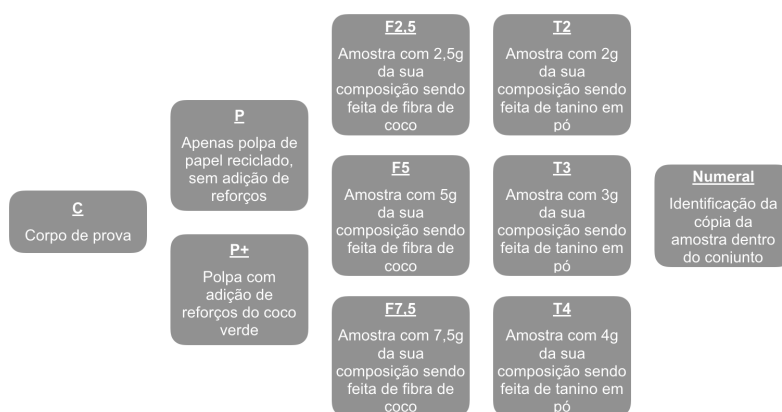
iniciar uma relação entre as quantidades de fibra de coco e tanino em cada corpo de prova.

Com as informações do volume de papel e o seu peso final já definido, notou-se que não poderia ser utilizado uma grande proporção de fibra na sua composição. Apesar das fibras serem ultra leves, elas apresentam um volume relativamente alto e quanto maior a quantidade de fibras, mais difícil fica a sua inserção de maneira uniforme na polpa do papel reciclado.

Mais uma vez, foram necessários testes para entender quais seriam as quantidades máximas de fibras e pó de tanino nas amostras de forma que elas não prejudicassem a confecção das folhas de papel. Com os testes finalizados, foi averiguado que o peso máximo de fibras utilizadas por corpo de prova seria de 7,5g para que as fibras ficassem bem distribuídas dentro do papel. E o máximo de tanino utilizado na polpa seria 4g, pois, além dessa quantidade, a polpa apresentou uma coagulação e formação de grumos os quais impediam que a folha se tornasse uma peça única.

Com todas essas constatações iniciais finalizadas, foram estipuladas as variações de proporções de cada amostra que seria levada aos ensaios finais. Para fins de identificação das mesmas, foi criado um sistema de códigos referentes à proporção de polpa de papel reciclado, fibra de coco e pó de tanino. No diagrama a seguir, pode ser observado o significado de cada caractere.

Figura 30 - Diagrama com formação e significados dos códigos dos corpos de prova.



Fonte: A autora (2025).

Os códigos de cada corpo de prova e as suas respectivas proporções de componentes foram organizados no quadro a seguir para facilitar a compreensão da constituição de cada tipo a ser testado.

Quadro 11 - Quadro-síntese da descrição e proporção de cada tipo de corpo de prova.

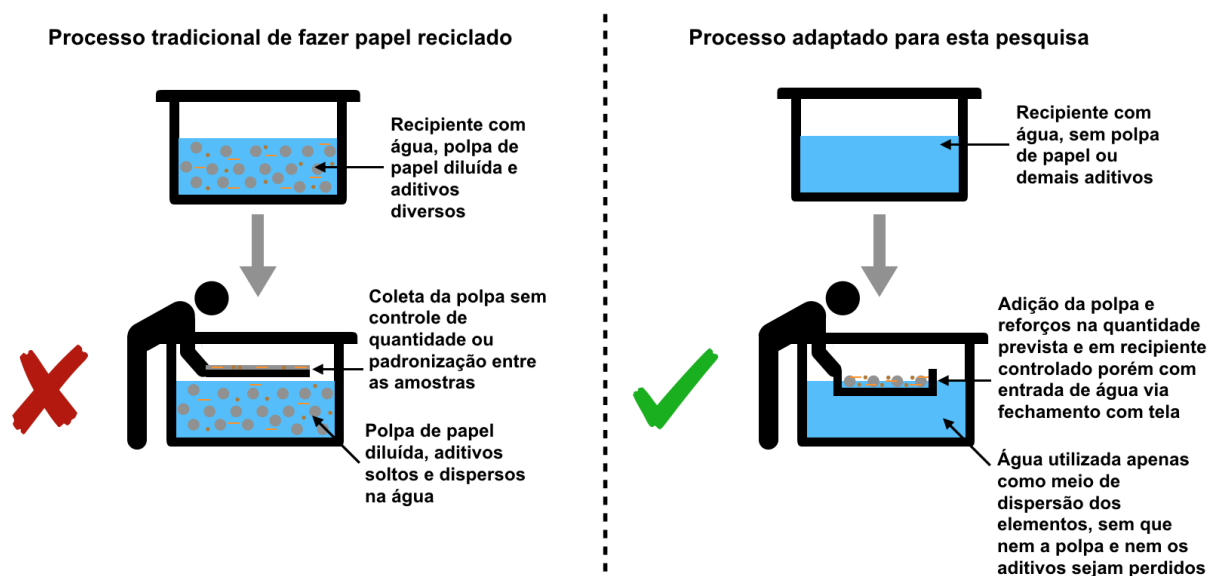
Código	Descrição	Peso em gramas do componente no compósito		
		Papel Reciclado pós-secagem	Fibra de Coco	Tanino Condensado em Pó
CP	Corpo de prova padrão, apenas papel reciclado, sem adição de reforços	90	-	-
CP+F2,5T2	Corpo de prova onde é adicionado 2,5g de fibras de coco e 2g de tanino em pó	90	2,5	2
CP+F2,5T3	Corpo de prova onde é adicionado 2,5g de fibras de coco e 3g de tanino em pó	90	2,5	3
CP+F2,5T4	Corpo de prova onde é adicionado 2,5g de fibras de coco e 4g de tanino em pó	90	2,5	4
CP+F5T2	Corpo de prova onde é adicionado 5g de fibras de coco e 2g de tanino em pó	90	5	2
CP+F5T3	Corpo de prova onde é adicionado 5g de fibras de coco e 3g de tanino em pó	90	5	3
CP+F5T4	Corpo de prova onde é adicionado 5g de fibras de coco e 4g de tanino em pó	90	5	4
CP+F7,5T2	Corpo de prova onde é adicionado 7,5g de fibras de coco e 2g de tanino em pó	90	7,5	2
CP+F7,5T3	Corpo de prova onde é adicionado 7,5g de fibras de coco e 3g de tanino em pó	90	7,5	3
CP+F7,5T4	Corpo de prova onde	90	7,5	4

	7,5g de fibras de coco e 4g de tanino em pó			
--	---	--	--	--

Fonte: A autora (2025).

Para que os materiais fossem totalmente aproveitados, de forma a manterem as suas proporções sem perdas na água, foi feita uma mudança no processo tradicional de reciclagem de papel, como pode ser vista na ilustração (Figura 28) a seguir.

Figura 31 - Diagrama ilustrativo da confecção das folhas de papel reciclado em meio aquoso.



Fonte: A autora (2025).

No processo artesanal de confecção de papel reciclado, todo o material triturado pelo liquidificador é despejado em um recipiente e com o auxílio de uma tela de serigrafia, são coletadas as partículas de papel de forma não criteriosa. Desta forma temos o material espalhado na tela de forma não padronizada, dificultando uma uniformidade entre cada amostra de papel produzido.

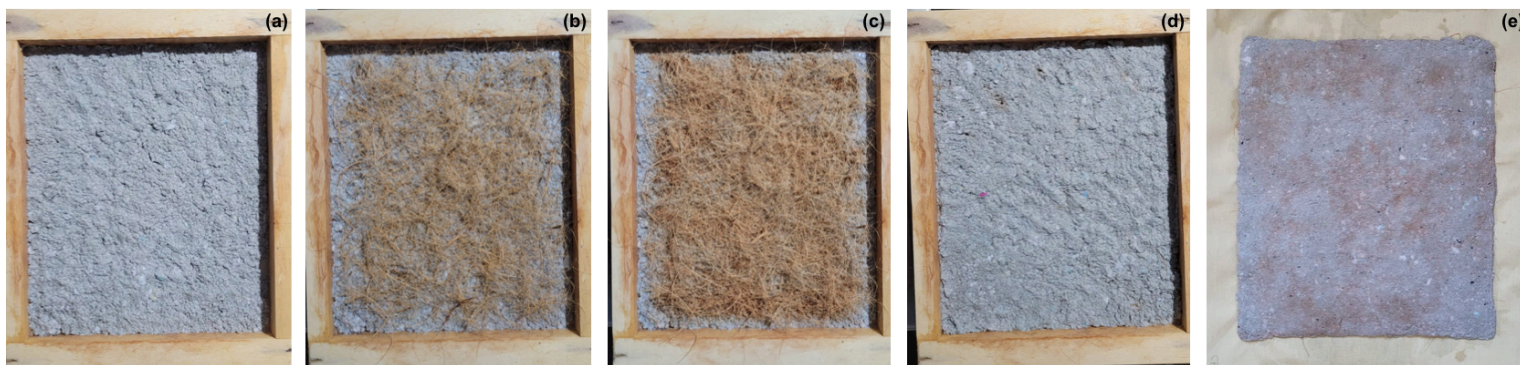
Para esta pesquisa o processo foi feito de seguinte forma a obter um controle nas proporções de cada material: ao invés de despejar a polpa de papel em um recipiente e retirá-la sem critérios com a filtragem da tela de serigrafia, primeiramente a tela foi submergida em um recipiente com água de forma que o

nível da água cobrisse até a metade da sua profundidade total. Em seguida, foi despejada a quantidade previamente pesada de polpa de papel da amostra em questão e também adicionados o tanino e fibras de coco também igualmente porcionados de acordo com a necessidade da amostra.

Desta forma, se tem o controle da quantidade de material que faz a composição da amostra e, com a água cobrindo até a metade da tela, é criado um meio onde, com movimentos contemplando todas as direções, é possível movimentar o material de forma a ter os mesmos espalhados de uma maneira mais homogênea possível. Lembrando que como foi utilizado um processo artesanal e manual, não será atingida a homogeneização completa dos materiais na superfície da amostra, mas foi depositado um empenho para que estes fossem espalhados da maneira mais uniforme possível. Uma vez que visualmente os aditivos estivessem distribuídos uniformemente na tela, a mesma é retirada da submersão em água e é mantida na posição horizontal para escorrer o excesso de líquido.

Após o escoamento do líquido em excesso, a tela é sobreposta no tecido de algodão cru de forma que a lâmina de papel reciclado seja transferida para ele. Para facilitar a transferência do papel da tela para o tecido, são feitos leves toques no verso da tela com uma esponja de limpeza multiuso seca para que a mesma absorva ainda mais a umidade excedente e permita que a polpa de papel seja liberada da face da tela. Uma vez a polpa transferida para o tecido, o mesmo é transferido para o local de secagem em temperatura ambiente, em ambiente arejado e protegido da incidência direta do sol. O processo de secagem total do papel levou 72 horas para cada corpo de prova produzido, pois o clima da cidade no período de confecção das peças foi de arejado e ensolarado para extremamente chuvoso e úmido, o que prolongou a finalização do processo de confecção.

Figura 32 - Mosaico com as imagens que ilustram (a) adição de metade da quantidade da polpa de papel reciclado na tela de serigrafia, (b) adição das fibras de coco já cortadas em pedaços de 5cm de comprimento, (c) adição do tanino condensado em pó, (d) adição da segunda metade da polpa de papel reciclado e (e) transferência o do compósito da tela de serigrafia para tecido em algodão para iniciar o processo de secagem.



Fonte: Acervo da autora (2025).

Ao final do processo de confecção de todos os corpos de prova em todas as proporções mencionadas no quadro 11, temos 10 tipos de corpos de prova (Figura 30) levados a um local coberto e arejado para iniciar o tempo de secagem.

Figura 33 - Corpos de prova no local de secagem, onde ficaram por 72 horas.



Fonte: Acervo da autora (2025).

Após a secagem de todas as peças, foi dado início ao processo de corte e identificação de cada corpo de prova com o uso de tesoura e estilete. Em cada peça

foi aplicado um adesivo com o seu respectivo código de identificação para facilitar o registro das informações referentes a cada corpo de prova, como pode ser visto na imagem a seguir.

Figura 34 - Corpos de prova devidamente cortados e identificados.

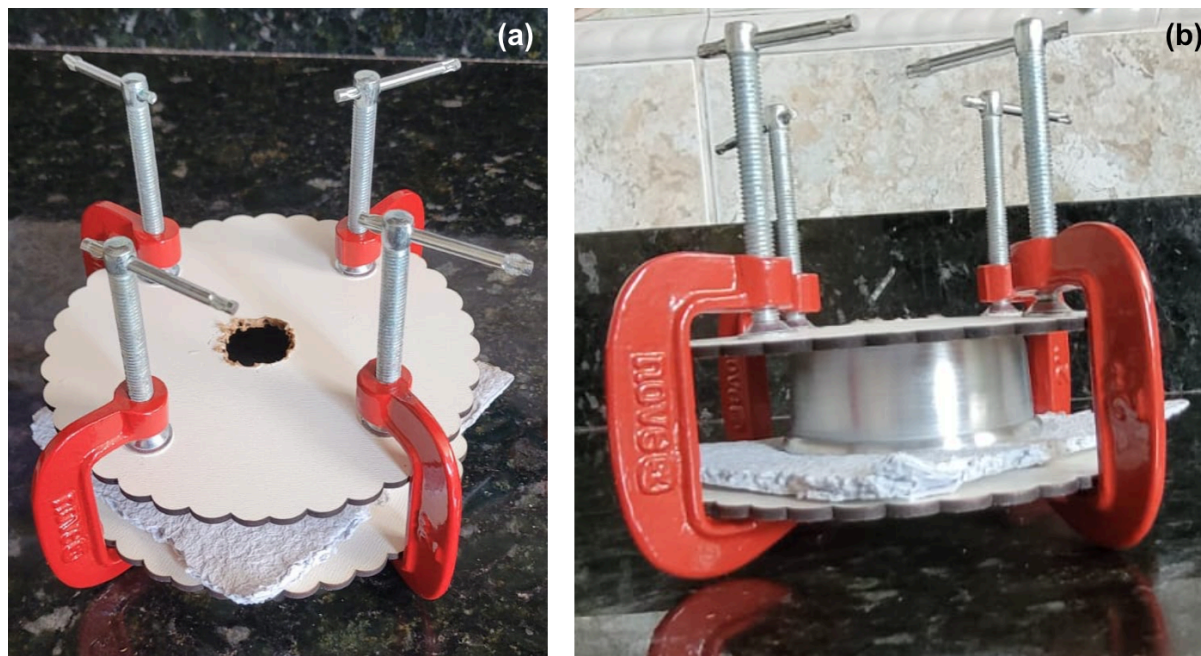


Fonte: Acervo da autora (2025).

Com todo o processo de preparo das amostras finalizado, é dado o início aos ensaios, sendo o primeiro o teste de Cobb. Como mencionado anteriormente, o equipamento original para esse tipo de teste não foi encontrado localmente, porém foi confeccionado pela autora um mecanismo que executa as mesmas funções. A

seguir, pode ser vista uma imagem de qual foi o resultado final da montagem de todas as peças já com o corpo de prova sendo testado.

Figura 35 - Mecanismo confeccionado para o teste de Cobb em (a) vista superior e (b) vista frontal.



Fonte: Acervo da autora (2025).

Para padronização entre todos os testes, foram utilizados 20g de água filtrada e o tempo de exposição e contato com a água foi de 20 minutos. O corpo de prova era fixado no mecanismo e a água era inserida pelo orifício superior com o auxílio de um funil. Após a inserção, eram marcados 2 minutos com um temporizador e, ao final do tempo, o conjunto era virado de ponta-cabeça para que a água em excesso não absorvida pelo papel não estivesse mais em contato com a superfície do corpo de prova e expelida para o meio externo via orifício superior.

A seguir, está ilustrada a o quadro-síntese com todos os valores em gramas obtidos nas pesagens antes e ao final do experimento, bem como a diferença de valores entre eles simbolizando a quantidade de água absorvida pela amostra.

Quadro 12 - Quadro-síntese das pesagens e resultados encontrados no Teste de Cobb utilizando 20g de água e 2 minutos de duração.

Pesagens do Teste de Cobb			
ID Corpo de Prova	Peso CP Seco (g)	Peso CP após contato com a água (g)	Qtde. de água absorvida (g)
CP 1	21	41	20
CP 2	21	40	19
CP 3	24	44	20
CP 4	23	43	20
CP+F2,5T2 1	23	43	20
CP+F2,5T2 2	20	40	20
CP+F2,5T2 3	24	43	19
CP+F2,5T2 4	23	41	18
CP+F2,5T3 1	22	41	19
CP+F2,5T3 2	23	41	18
CP+F2,5T3 3	21	41	20
CP+F2,5T3 4	22	40	18
CP+F2,5T4 1	20	40	20
CP+F2,5T4 2	22	39	17
CP+F2,5T4 3	19	37	18
CP+F2,5T4 4	20	37	17
CP+F5T2 1	22	41	19
CP+F5T2 2	21	40	19
CP+F5T2 3	23	40	17
CP+F5T2 4	23	40	17
CP+F5T3 1	24	42	18
CP+F5T3 2	23	41	18
CP+F5T3 3	22	41	19
CP+F5T3 4	25	44	19
CP+F5T4 1	25	44	19

CP+F5T4 2	24	43	19
CP+F5T4 3	25	44	19
CP+F5T4 4	23	42	19
CP+F7,5T2 1	26	45	19
CP+F7,5T2 2	24	42	18
CP+F7,5T2 3	24	42	18
CP+F7,5T2 4	23	41	18
CP+F7,5T3 1	26	44	18
CP+F7,5T3 2	25	43	18
CP+F7,5T3 3	24	42	18
CP+F7,5T3 4	25	43	18
CP+F7,5T4 1	24	42	18
CP+F7,5T4 2	26	44	18
CP+F7,5T4 3	23	41	18
CP+F7,5T4 4	28	47	19

Fonte: A autora (2025).

Com esses valores em mãos, é possível ser calculada a taxa de absorção de água de cada corpo de prova utilizando a fórmula $A = (m_2 - m_1) / F$ já mencionada. No quadro 12 temos os valores m_2 e m_1 identificados por cada amostra e o valor F é padrão para todas as amostras, que é de 45,34cm².

A seguir, pode ser avaliado o quadro com o valor da taxa de cada amostra avaliada no teste de Cobb.

Quadro 13 - Quadro de valores da taxa de absorção de água das amostras.

Pesagens do Teste de Cobb	
ID Corpo de Prova	Valor da Taxa de Absorção (A)
CP 1	0,44 g / cm ²
CP 2	0,41 g / cm ²
CP 3	0,44 g / cm ²

CP 4	0,44 g / cm ²
CP+F2,5T2 1	0,44 g / cm ²
CP+F2,5T2 2	0,44 g / cm ²
CP+F2,5T2 3	0,41 g / cm ²
CP+F2,5T2 4	0,39 g / cm ²
CP+F2,5T3 1	0,41 g / cm ²
CP+F2,5T3 2	0,39 g / cm ²
CP+F2,5T3 3	0,44 g / cm ²
CP+F2,5T3 4	0,39 g / cm ²
CP+F2,5T4 1	0,44 g / cm ²
CP+F2,5T4 2	0,37 g / cm ²
CP+F2,5T4 3	0,39 g / cm ²
CP+F2,5T4 4	0,37 g / cm ²
CP+F5T2 1	0,41 g / cm ²
CP+F5T2 2	0,41 g / cm ²
CP+F5T2 3	0,37 g / cm ²
CP+F5T2 4	0,37 g / cm ²
CP+F5T3 1	0,39 g / cm ²
CP+F5T3 2	0,39 g / cm ²
CP+F5T3 3	0,41 g / cm ²
CP+F5T3 4	0,41 g / cm ²
CP+F5T4 1	0,41 g / cm ²
CP+F5T4 2	0,41 g / cm ²
CP+F5T4 3	0,41 g / cm ²
CP+F5T4 4	0,41 g / cm ²
CP+F7,5T2 1	0,41 g / cm ²
CP+F7,5T2 2	0,39 g / cm ²

CP+F7,5T2 3	0,39 g / cm ²
CP+F7,5T2 4	0,39 g / cm ²
CP+F7,5T3 1	0,39 g / cm ²
CP+F7,5T3 2	0,39 g / cm ²
CP+F7,5T3 3	0,39 g / cm ²
CP+F7,5T3 4	0,39 g / cm ²
CP+F7,5T4 1	0,39 g / cm ²
CP+F7,5T4 2	0,39 g / cm ²
CP+F7,5T4 3	0,39 g / cm ²
CP+F7,5T4 4	0,41 g / cm ²

Fonte: A autora (2025).

Com a secagem das peças após o teste de Cobb finalizada, as mesmas seguiram para o segundo teste desta pesquisa: o teste de resistência à tração. Porém, como forma de preparação das amostras para o ensaio a seguir, as mesmas foram cortadas em formato de “gravata” como pode ser visto na imagem abaixo (figura 33). A forma retangular inicial foi cortada em 4 faixas menores e estas foram cortadas em formato de gravata com o auxílio de um molde em papel fornecido pela fabricante da Máquina Universal de Ensaios Biopdi MBIO-II em seu site oficial.

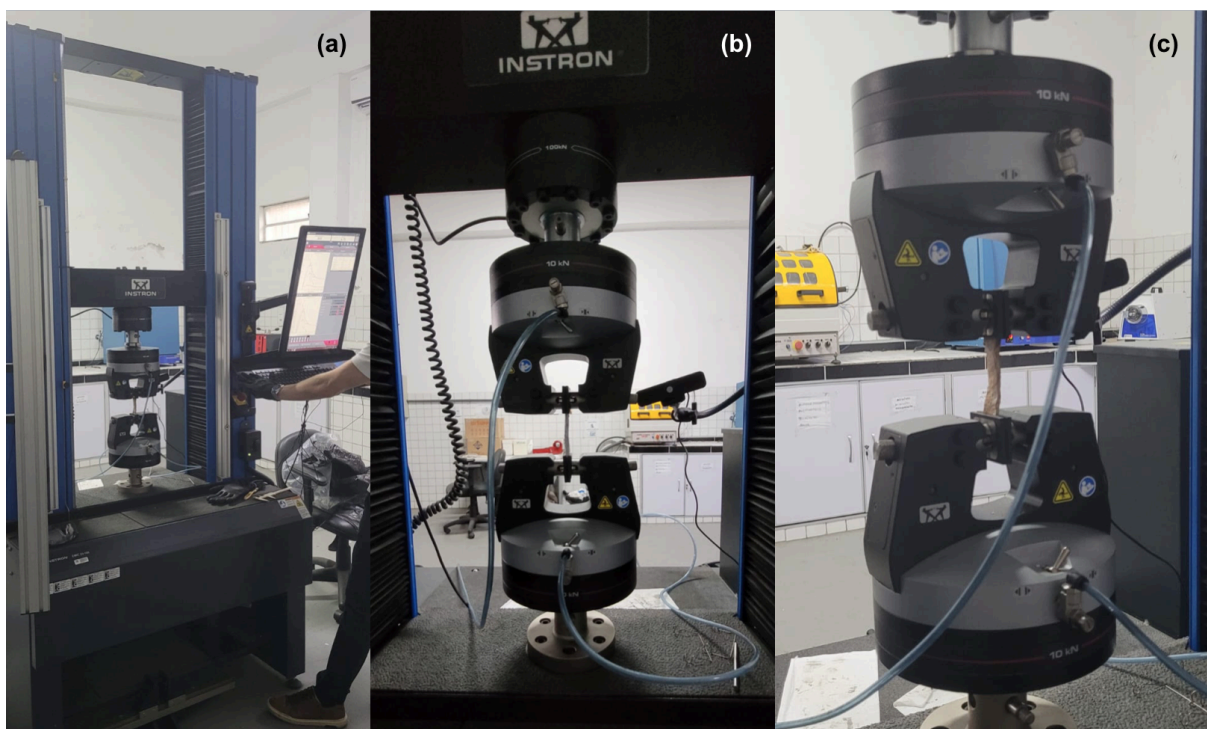
Figura 36 - Imagem ilustrando as etapas da transformação da amostra da sua forma inicial até o seu formato final em “gravata”.



Fonte: A autora (2025).

Em virtude de falhas de funcionamento da máquina de ensaios disponível no Departamento de Design, foi encontrada no Departamento de Engenharia Mecânica da UFMA. Tal departamento dispõe de um equipamento similar porém mais avançado, o qual esteve disponível para execução dos testes enquanto o primeiro passou por reparos para retornar ao seu pleno funcionamento. Desta forma, a quantidade inicial de 03 amostras testadas de cada grupo subiu para 05 amostras - sendo 02 unidades de cada grupo de amostras inicialmente no departamento de Engenharia da UFMA (Figura 34) e 03 unidades posteriormente no departamento de Design igualmente da UFMA (Figura 35).

Figura 37 - Mosaico com imagens ilustrando (a) a Máquina de Ensaios Universal INSTRON EMIC 23-100 no laboratório de testes do Departamento de Engenharia Mecânica, (b) uma das amostras fixada nas garras da máquina no início do teste e (c) uma das amostras durante a execução do teste.



Fonte: A autora (2025).

Figura 38 - Mosaico com imagens ilustrando (a) a Máquina Universal de Ensaios Biopdi MBIO-II no laboratório de testes do Departamento de Design, (b) uma das amostras fixada nas garras da máquina no início do teste.



Fonte: A autora (2025).

Ambos os ensaios geraram resultados em forma de gráficos e tabelas, trazendo dados como porcentagem de deformação levando em consideração a posição inicial e final do teste, tensão máxima em MPa, força máxima em N, deformação à tração na quebra tanto em porcentagem quanto em mm. Porém, para o presente estudo, a informação primordial - que é a informação que deve ser inserida na fórmula para o cálculo final - é o valor da força máxima em N suportada pelas amostras até o momento da quebra.

Aqui serão listados apenas esses valores em específico (força máxima em N), no entanto todas as demais informações exportadas nos testes podem ser encontradas no apêndice desta dissertação. Na tabela abaixo (Quadro 14) estão listados os valores da força máxima suportada em N de cada amostra e também a indicação de

qual equipamento foi utilizado para a realização do teste. Os grupos de amostras estarão identificados na tabela com uma cor de fundo diferente entre si para facilitar a leitura da sequência dos dados, indicando o início e fim de cada bloco de amostras.

Quadro 14 - Quadro de valores da força máxima suportada pelas amostras.

Carga Máxima Suportada em Teste de Resistência à Tração por Alongamento Constante		
ID Corpo de Prova	Máquina Utilizada	Valor da Força Máxima (N)
CP 1	Máquina de Ensaio Universal INSTRON EMIC 23-100	3,50
CP 2	Máquina de Ensaio Universal INSTRON EMIC 23-100	21,98
CP 3	Máquina Universal de Ensaio Biopdi MBIO-II	6,31
CP 4	Máquina Universal de Ensaio Biopdi MBIO-II	24,45
CP 5	Máquina Universal de Ensaio Biopdi MBIO-II	9,46
CP+F2,5T2 1	Máquina de Ensaio Universal INSTRON EMIC 23-100	24,77
CP+F2,5T2 2	Máquina de Ensaio Universal INSTRON EMIC 23-100	28,19
CP+F2,5T2 3	Máquina Universal de Ensaio Biopdi MBIO-II	27,60
CP+F2,5T2 4	Máquina Universal de Ensaio Biopdi MBIO-II	26,02
CP+F2,5T2 5	Máquina Universal de Ensaio Biopdi MBIO-II	35,49
CP+F2,5T3 1	Máquina de Ensaio Universal INSTRON EMIC 23-100	20,35

CP+F2,5T3 2	Máquina de Ensaaios Universal INSTRON EMIC 23-100	13,54
CP+F2,5T3 3	Máquina Universal de Ensaaios Biopdi MBIO-II	21,29
CP+F2,5T3 4	Máquina Universal de Ensaaios Biopdi MBIO-II	30,76
CP+F2,5T3 5	Máquina Universal de Ensaaios Biopdi MBIO-II	16,56
CP+F2,5T4 1	Máquina de Ensaaios Universal INSTRON EMIC 23-100	12,90
CP+F2,5T4 2	Máquina de Ensaaios Universal INSTRON EMIC 23-100	19,77
CP+F2,5T4 3	Máquina Universal de Ensaaios Biopdi MBIO-II	15,77
CP+F2,5T4 4	Máquina Universal de Ensaaios Biopdi MBIO-II	30,76
CP+F2,5T4 5	Máquina Universal de Ensaaios Biopdi MBIO-II	13,40
CP+F5T2 1	Máquina de Ensaaios Universal INSTRON EMIC 23-100	20,20
CP+F5T2 2	Máquina de Ensaaios Universal INSTRON EMIC 23-100	19,04
CP+F5T2 3	Máquina Universal de Ensaaios Biopdi MBIO-II	11,83
CP+F5T2 4	Máquina Universal de Ensaaios Biopdi MBIO-II	15,77
CP+F5T2 5	Máquina Universal de Ensaaios Biopdi MBIO-II	7,88
CP+F5T3 1	Máquina de Ensaaios Universal INSTRON EMIC 23-100	15,55

CP+F5T3 2	Máquina de Ensaios Universal INSTRON EMIC 23-100	24,48
CP+F5T3 3	Máquina Universal de Ensaios Biopdi MBIO-II	15,77
CP+F5T3 4	Máquina Universal de Ensaios Biopdi MBIO-II	18,93
CP+F5T3 5	Máquina Universal de Ensaios Biopdi MBIO-II	11,83
CP+F5T4 1	Máquina de Ensaios Universal INSTRON EMIC 23-100	26,72
CP+F5T4 2	Máquina de Ensaios Universal INSTRON EMIC 23-100	16,47
CP+F5T4 3	Máquina Universal de Ensaios Biopdi MBIO-II	15,77
CP+F5T4 4	Máquina Universal de Ensaios Biopdi MBIO-II	35,49
CP+F5T4 5	Máquina Universal de Ensaios Biopdi MBIO-II	15,77
CP+F7,5T2 1	Máquina de Ensaios Universal INSTRON EMIC 23-100	17,03
CP+F7,5T2 2	Máquina de Ensaios Universal INSTRON EMIC 23-100	20,66
CP+F7,5T2 3	Máquina Universal de Ensaios Biopdi MBIO-II	14,19
CP+F7,5T2 4	Máquina Universal de Ensaios Biopdi MBIO-II	9,46
CP+F7,5T2 5	Máquina Universal de Ensaios Biopdi MBIO-II	3,94
CP+F7,5T3 1	Máquina de Ensaios Universal INSTRON EMIC 23-100	19,69

CP+F7,5T3 2	Máquina de Ensaios Universal INSTRON EMIC 23-100	11,91
CP+F7,5T3 3	Máquina Universal de Ensaios Biopdi MBIO-II	8,67
CP+F7,5T3 4	Máquina Universal de Ensaios Biopdi MBIO-II	22,87
CP+F7,5T3 5	Máquina Universal de Ensaios Biopdi MBIO-II	7,88
CP+F7,5T4 1	Máquina de Ensaios Universal INSTRON EMIC 23-100	16,80
CP+F7,5T4 2	Máquina de Ensaios Universal INSTRON EMIC 23-100	16,00
CP+F7,5T4 3	Máquina Universal de Ensaios Biopdi MBIO-II	22,08
CP+F7,5T4 4	Máquina Universal de Ensaios Biopdi MBIO-II	22,87
CP+F7,5T4 5	Máquina Universal de Ensaios Biopdi MBIO-II	12,62

Fonte: A autora (2025).

Com esses valores em mãos, foi possível ser calculado o limite de resistência utilizando a seguinte fórmula $\sigma = F / A_0$ para cada amostra. Vale lembrar que, antes do início do ensaio com cada amostra, foi aferida a largura, espessura e distância entre as garras da máquina com o auxílio de um paquímetro. Essas informações são necessárias para aferir a área da seção transversal de cada amostra, dados estes fundamentais para realização do cálculo do limite de resistência. A seguir, pode ser identificado no quadro 15 os valores encontrados para cada amostra após avaliada no teste de resistência à tração.

Quadro 15 - Quadro de valores do limite de resistência das amostras avaliadas.

ID Corpo de Prova	σ Valor do Limite de Resistência (N / mm²)	ID Corpo de Prova	σ Valor do Limite de Resistência (N / mm²)
--------------------------	--	--------------------------	--

CP 1	0,04 N / mm ²	CP+F5T3 1	0,18 N / mm ²
CP 2	0,25 N / mm ²	CP+F5T3 2	0,28 N / mm ²
CP 3	0,06 N / mm ²	CP+F5T3 3	0,14 N / mm ²
CP 4	0,20 N / mm ²	CP+F5T3 4	0,15 N / mm ²
CP 5	0,13 N / mm ²	CP+F5T3 5	0,16 N / mm ²
CP+F2,5T2 1	0,29 N / mm ²	CP+F5T4 1	0,31 N / mm ²
CP+F2,5T2 2	0,33 N / mm ²	CP+F5T4 2	0,19 N / mm ²
CP+F2,5T2 3	0,31 N / mm ²	CP+F5T4 3	0,14 N / mm ²
CP+F2,5T2 4	0,26 N / mm ²	CP+F5T4 4	0,28 N / mm ²
CP+F2,5T2 5	0,49 N / mm ²	CP+F5T4 5	0,18 N / mm ²
CP+F2,5T3 1	0,23 N / mm ²	CP+F7,5T2 1	0,20 N / mm ²
CP+F2,5T3 2	0,15 N / mm ²	CP+F7,5T2 2	0,24 N / mm ²
CP+F2,5T3 3	0,23 N / mm ²	CP+F7,5T2 3	0,11 N / mm ²
CP+F2,5T3 4	0,34 N / mm ²	CP+F7,5T2 4	0,08 N / mm ²
CP+F2,5T3 5	0,19 N / mm ²	CP+F7,5T2 5	0,04 N / mm ²
CP+F2,5T4 1	0,15 N / mm ²	CP+F7,5T3 1	0,23 N / mm ²
CP+F2,5T4 2	0,23 N / mm ²	CP+F7,5T3 2	0,14 N / mm ²
CP+F2,5T4 3	0,21 N / mm ²	CP+F7,5T3 3	0,07 N / mm ²
CP+F2,5T4 4	0,42 N / mm ²	CP+F7,5T3 4	0,19 N / mm ²
CP+F2,5T4 5	0,27 N / mm ²	CP+F7,5T3 5	0,06 N / mm ²
CP+F5T2 1	0,23 N / mm ²	CP+F7,5T4 1	0,19 N / mm ²
CP+F5T2 2	0,22 N / mm ²	CP+F7,5T4 2	0,18 N / mm ²
CP+F5T2 3	0,17 N / mm ²	CP+F7,5T4 3	0,15 N / mm ²
CP+F5T2 4	0,17 N / mm ²	CP+F7,5T4 4	0,22 N / mm ²
CP+F5T2 5	0,09 N / mm ²	CP+F7,5T4 5	0,10 N / mm ²

Fonte: A autora (2025)

Com os testes executados em sua completude e todos os resultados em mãos, foi possível prosseguir para a análise final, triangulação de dados e por fim, às considerações finais.

4.2 Análise dos corpos de prova

Antes de prosseguir para a análise dos resultados quantitativos de cada ensaio, se faz necessária uma breve observação acerca do aspecto visual e tátil das amostras elaboradas neste estudo.

Ao fim do processo de confecção dos corpos de prova, já era possível de se notar uma grande diferença entre o corpo de prova padrão - sem aditivos - dos demais corpos de prova com as diferentes proporções de fibra de coco e tanino em pó. O primeiro demonstrava um peso leve, aspecto frágil e quebradiço com o manuseio, e com isso foi necessário um cuidado redobrado na montagem destes aos equipamentos onde seriam feitos os testes.

As demais, mesmo com proporções baixas de aditivos já apresentavam com uma consistência mais robusta, eram peças mais firmes e não apresentavam uma fragilidade durante o manejo das amostras. Consequentemente, eram itens mais fáceis de serem manuseados e de serem postos à prova nos ensaios elaborados. A adição de fibra e tanino em pó incorporaram ao material uma liga extra que o material claramente carecia na sua forma original.

Figura 39 - Imagem com 03 tipos de amostra, com a proporção de aditivos aumentando da esquerda para a direita.



Fonte: A autora (2025).

No primeiro ensaio, que determinou a capacidade de absorção de água de cada amostra, a primeira impressão foi comprovada. As amostras do grupo sem nenhum aditivo se demonstraram extremamente frágeis, inclusive com uma das peças se quebrando em diversos pedaços ao fim do primeiro ensaio. Os demais grupos de amostras seguiram íntegros após o fim deste ensaio bem como após a secagem total dos corpos de prova. Em todas as peças, como era de se esperar dada a forma como é feito o ensaio, ficou impressa a marca do circunferência do cilindro metálico que conteve a água durante o teste. Porém, tal sulco não trouxe nenhuma fragilidade extra às peças, apenas uma adição ao visual original das amostras.

Figura 40 - Imagem ilustrando o antes e depois das amostras após o primeiro teste - sendo o “depois” a amostra da direita com a marca do cilindro metálico pressionado contra a superfície da amostra.



Fonte: A autora (2025).

No segundo ensaio, também houve uma distinção de comportamento e aspecto visual entre os grupos de corpos de prova. A amostra sem aditivos, mais uma vez, se mostrou bastante difícil de manusear e posicionar adequadamente nas máquinas de ensaio - muitas vezes se quebrando em várias partes durante esse processo de encaixe nas garras - e com isso foi necessário utilizar várias amostras para o teste de resistência à tração para obter um resultado que demonstrasse a real resistência

do material sem que fosse obtido um valor baixo dado o uso de uma amostra já fragilizada pelo seu manuseio. Inclusive, ao fim de cada tentativa de teste, as peças se multiplicavam em pedaços cada vez menores dada a sua alta fragilidade.

Figura 41 - Imagem ilustrando o estado do corpo de prova sem aditivos após a finalização do segundo ensaio (acima) e o estado dos corpos de prova intermediários após o mesmo ensaio (abaixo).



Fonte: A autora (2025).

Igualmente, neste segundo ensaio, as amostras com a maior proporção de aditivos também demonstraram uma fragilidade de posicionamento e baixos valores de resistência à tração. Visualmente e tatilmente, as amostras com um alto teor de fibra apresentou uma dificuldade na mistura e obtenção de uma liga uniforme entre a

polpa de papel reciclado e as fibras individuais do coco verde. Sendo assim, este grupo expôs uma fragilidade dado os bolsões de fibra ao centro de cada peça, apresentando um centro mais almofadado, sem compartimentação e uma associação uniforme dos componentes culminando em corpos de prova que facilmente se desintegraram ao fim do segundo ensaio.

Figura 42 - Imagem ilustrando o estado do corpo de prova com a maior proporção de aditivos após a finalização do segundo ensaio.



Fonte: A autora (2025).

As amostras intermediárias, que estão entre o corpo de prova sem nenhum aditivo e o corpo de prova com o maior número de aditivos, foram as que apresentaram um melhor aspecto visual e tátil mesmo após o segundo ensaio bem como um bom desempenho em quesito de valores de resistência à tração. As fibras ficaram melhores distribuídas tanto na superfície do material quanto no seu interior, o que trouxe uma melhor integridade e performance para os corpos de prova destes grupos intermediários.

Figura 43 - Imagem ilustrando o estado de um dos corpos de prova intermediários após a finalização do segundo ensaio.



Fonte: A autora (2025).

4.3 Análise dos resultados

Com todos os testes devidamente finalizados, é possível ser feita a análise dos seus resultados bem como as devidas considerações sobre a eficiência e propriedades tecnológicas dos compósitos em questão. Iniciando pelos resultados do teste de Cobb e o cálculo da taxa de absorção, estes demonstraram uma boa precisão com valores próximos entre si indicando uma consistência dos resultados obtidos.

Analisando-os, é possível verificar uma melhora na impermeabilidade das amostras onde houve a adição do tanino em pó e a fibra de coco. Em comparação com o corpo de prova sem nenhum aditivo, a média de gramas de líquido absorvido por centímetro quadrado foi gradualmente diminuindo à medida que o percentual de tanino em pó foi aumentando, como pode ser visto no quadro 16.

Quadro 16 - Quadro dos valores médios da taxa de absorção de água de cada grupo.

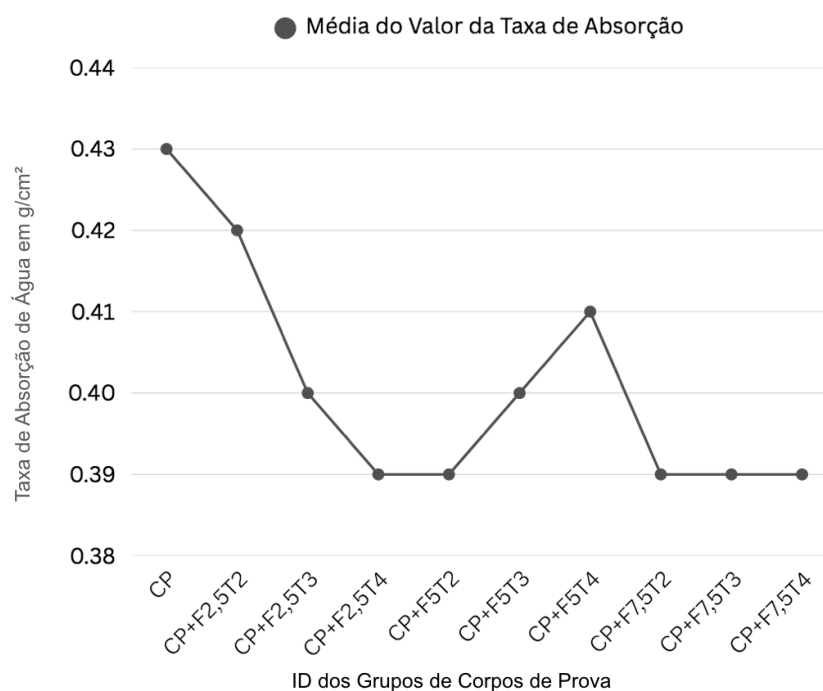
Cálculo da Média de Valores da Taxa de Absorção	
ID Corpo de Prova	Valor Médio da Taxa de Absorção das Amostras do Grupo
CP	0,43 g / cm ²

CP+F2,5T2	0,42 g / cm ²
CP+F2,5T3	0,40 g / cm ²
CP+F2,5T4	0,39 g / cm ²
CP+F5T2	0,39 g / cm ²
CP+F5T3	0,40 g / cm ²
CP+F5T4	0,41 g / cm ²
CP+F7,5T2	0,39 g / cm ²
CP+F7,5T3	0,39 g / cm ²
CP+F7,5T4	0,39 g / cm ²

Fonte: A autora (2025).

Porém, ao invés de seguir uma curva com uma tendência descendente constante - indicando uma absorção de água cada vez menor - nos grupos medianos até o último grupo o valor deteve-se em uma média de 0,39 g/cm². No gráfico abaixo, o comportamento desta curva pode ser visto com maior facilidade.

Gráfico 01 - Taxa de Absorção de Água x Grupos de Corpos de Prova



Fonte: A autora (2025).

Tal resultado demonstra que esta forma de aplicação do tanino condensado em pó alcança um teto máximo da sua performance quando misturado diretamente na polpa do papel reciclado. Como mencionado anteriormente, quando foi adicionada uma maior porcentagem deste pó na composição do material, esse impediu a formação de uma peça única de papel, criando grumos que não se uniam entre si.

Sendo assim, pode-se concluir que o tanino em pó trouxe sim uma melhora na impermeabilização da superfície do papel porém sem valores expressivos. Deve ser lembrado também que nos últimos grupos, onde há uma maior quantidade de fibra de coco na composição, estas acabam por ficar expostas na face exterior das amostras sendo mais um canal de infiltração de água e, com isso, também podem ser um fator que contribuiu para o valor da taxa de absorção estagnar no valor de 0,39 g/cm². O tanino além de trabalhar na impermeabilização da polpa de papel também trabalhou na impermeabilização das fibras de coco adicionadas.

Partindo para a análise dos resultados do segundo teste - o de resistência à tração - temos um comportamento de valores bem diferentes entre cada grupo quando comparado ao primeiro ensaio. Como pode ser visto no quadro 17, a diferença do corpo de prova padrão para o primeiro percentual de adição de fibra de coco é de um grande salto em sua resistência. A resistência à tração do papel reciclado alcança valores 2x maiores em amostras com a primeira proporção de fibra de coco, porém estes números vão diminuindo à medida que a proporção vai aumentando.

Quadro 17 - Quadro dos valores médios do limite de resistência à tração de cada grupo.

Cálculo da Média de Valores do Limite de Resistência	
ID Corpo de Prova	Valor Médio do Valor de Limite de Resistência das Amostras do Grupo
CP	0,13 N / mm ²
CP+F2,5T2	0,33 N / mm ²
CP+F2,5T3	0,22 N / mm ²
CP+F2,5T4	0,25 N / mm ²
CP+F5T2	0,17 N / mm ²

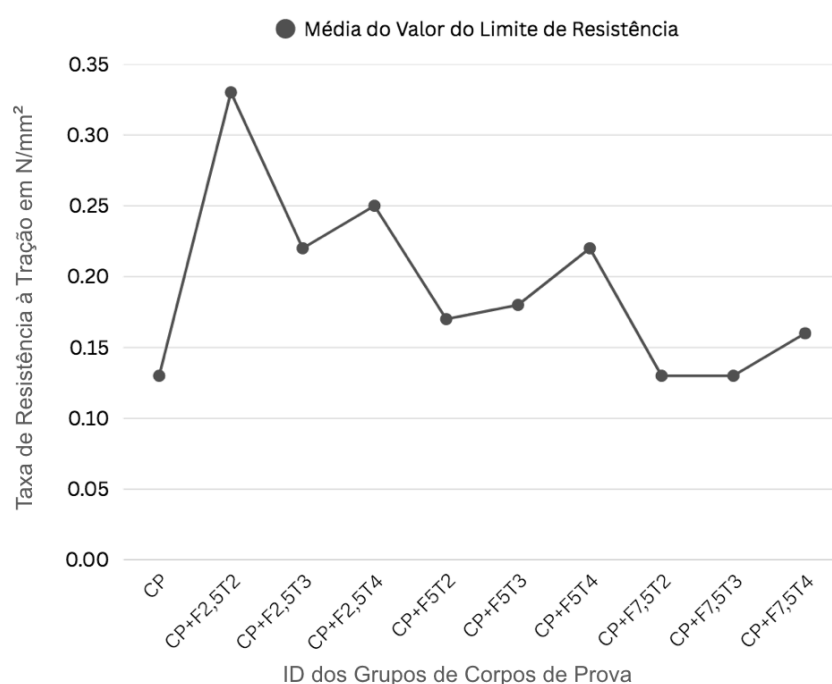
CP+F5T3	0,18 N / mm ²
CP+F5T4	0,22 N / mm ²
CP+F7,5T2	0,13 N / mm ²
CP+F7,5T3	0,13 N / mm ²
CP+F7,5T4	0,16 N / mm ²

Fonte: A autora (2025).

Tal comportamento foi de uma certa surpresa quando partimos do pressuposto que quanto mais fibra o material possui na sua composição, maior vai ser a sua resistência. Porém, como já mencionado no tópico da análise visual das amostras, o alto teor de fibra gerou um corpo de prova frágil, onde os componentes não conseguiram ser distribuídos de maneira uniforme constituindo um baixo teor de liga entre as partes.

Então, como já previsto, as amostras com o maior teor de fibra tiveram o resultado igual ou apenas um pouco melhor do que as amostras sem nenhum aditivo na sua composição. No gráfico 02 a seguir, a oscilação dos valores de acordo com o aumento das fibras de coco pode ser observada com facilidade.

Gráfico 02 - Taxa de Resistência à Tração x Grupos de Corpos de Prova



Fonte: A autora (2025).

Sendo assim, pode-se concluir que um equilíbrio na mistura homogênea entre os materiais componentes do corpo de prova geram resultados melhores do que o excesso de aditivos de reforço. Um pouco de fibra de coco incorporada de maneira uniforme na lâmina de papel apresenta não só uma melhor performance mas também indica um bom rendimento do material. Este insumo de reforço não precisa ser utilizado de maneira extensiva para trazer benefícios para o material base, demonstrando que uma unidade de coco verde pode se multiplicar em reforços para muitas unidades de compósito à base de papel reciclado.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

5.1 Considerações finais

Após o desenvolvimento e teste das amostras bem como a avaliação dos dados coletados, concluiu-se que a adição dos resíduos do coco verde na criação de um compósito a base de papel reciclado contribui de maneira benéfica em sua constituição. A melhora da sua performance, com base nos números encontrados, demonstraram que, surpreendentemente, não é necessária a adição de um grande volume de aditivos para obter o melhor resultado. Uma quantidade baixa de insumo pode gerar a melhora na performance de muitas unidades de papel reciclado - o que foi uma boa descoberta de valor que temos ao final desta pesquisa: o excelente rendimento dos materiais aqui testados.

Avaliando as performances em si, acredito que os aditivos aperfeiçoaram as qualidades do papel, trazendo uma resistência que antes não existia no material original. Poder presenciar e testar a melhoria das propriedades à medida que os corpos de provas eram testados foi de grande satisfação e acredito que esta pesquisa pode contribuir para avanços futuros no emprego dos resíduos do coco verde.

Acerca do aspecto visual, este foi o ponto que mais deixou a desejar. A falta de uniformidade da textura da superfície e as manchas desuniformes do pigmento do

tanino na face exterior são questões de extrema importância a serem estudadas e melhoradas e, eventualmente, serem submetidas para testes mais uma vez.

Por fim, acredito que em questões de empregabilidade e possibilidades de uso, o compósito ainda precisa ser submetido a novos testes antes de ser estudada a aplicabilidade à uma função em um produto real - principalmente em relação à adição do tanino, pois os resultados foram os menos expressivos. Acredito que esta pesquisa serviu de um ponto de partida e apoio para novos estudos, tornando-se um norte para outros pesquisadores, porém ainda está distante de ser um estudo final da aplicação destes resíduos em um compósito a base de papel reciclado.

Como foi ilustrado ao longo do texto, a questão do acúmulo resíduo do coco verde, a falta de empregabilidade deste resíduo é um problema evidente principalmente nas cidades litorâneas. O presente estudo conseguiu demonstrar uma das inúmeras formas que estes resíduos sólidos podem ser utilizados de forma sustentável, beneficiando a população, a economia, a paisagem urbana e o meio ambiente.

5.2 Novos materiais e design sistêmico

Voltando-se especificamente para o tema de Design Sistêmico e como este estudo não apenas se conecta diretamente com esta diretriz mas traz contribuições para o tema, acredito que o uso do resíduo do coco verde neste tipo de compósito exemplifica uma das formas de como o design pode auxiliar no processo de reutilização regenerativa de refugos.

Este estudo traz uma possibilidade de solução para a questão do dilema de manter a produção em massa de um certo produto - neste caso, o coco verde - atendendo à uma demanda de mercado e como lidar com as consequências desta cadeia produtiva. Aqui, a prática do design entra não somente como a ponderação de como pode ser feito um novo produto físico, palpável, mas também como uma forma multidisciplinar de trazer soluções para problemas que ameaçam a perpetuação harmônica da nossa sociedade neste planeta.

A introdução desta produção num esquema sistêmico localmente, para que haja um sucesso na completude do ciclo pensado por esta diretriz, poderia ser dado da seguinte maneira: (1) coleta seletiva de cocos verde nos quiosques de venda na praia, depósitos de coco espalhados pela cidade, nos restaurantes e hotéis que fazem a venda desse fruto e criação de lixeiras e/ou pontos específicos de coleta do fruto consumidos por pessoas fora dos pontos mencionados; (2) tratamento destas cascas descartadas separando as partes de acordo com a sua destinação; (3) colaboração com cooperativas que recolhem e reciclam papel pela cidade e também com grandes fabricantes de papel que possuem linhas de papel reciclado no seu portfólio de produtos.

Como vimos ao longo desta investigação, o design sistêmico aplicado ao resíduo do coco verde em São Luís revela mais do que uma solução técnica: aponta para a capacidade de transformação social e territorial a partir de uma nova lógica de consumo, descarte e reintrodução deste resíduo de volta à cadeia produtiva. Desta forma o resíduo que atualmente é um problema deixa de ser uma ameaça para o meio ambiente, vira um insumo sustentável para outras indústrias, gera empregos, renda para as famílias locais e amplia parcerias e um processo colaborativo de forma multidisciplinar.

5.3 Sugestões para estudos futuros

Esta dissertação teve como foco principal a elaboração de estudos e testes acerca dos resíduos sólidos do coco verde em um novo material a base de papel reciclado. Logo, ao longo do seu desenvolvimento, surgiram desafios e dificuldades a serem sanadas, bem como tópicos que poderiam ser investigados com novos estudos. Acredita-se que podem ser investigadas em novas pesquisas as seguintes questões:

- Adicionar a etapa de compressão final na confecção dos corpos de prova à como forma de conferir maior rigidez às peças, diminuindo as bolsas de ar internas e condensando ainda mais os componentes e testar se os resultados obtidos seriam melhores - vide que as extremidades dos corpos de prova que

foram comprimidas nas máquinas de ensaio apresentaram uma rigidez e resistência maior do que as partes que não foram comprimidas;

- Estudar a possibilidade de introduzir cor - em tonalidades claras e escuras - nos corpos de prova com adição do tanino em pó. A cor escura natural e manchas desuniformes podem vir a ser um problema para a empregabilidade do material. Deve ser estudada a possibilidade da adição um tipo de corante para uniformizar o tom escuro ou adicionar algum tipo de ingrediente alvejante que não interagisse com o tanino e fibra para uso deste papel em tonalidades claras;
- Avaliar novas formas de confeccionar corpos de prova mais uniformes. Há a necessidade de repensar como seria feita uma homogeneização tanto da distribuição das fibras quanto da superfície das amostras, de forma a se obter um resultado sem um valor tão alto do desvio-padrão nos resultados do ensaio de resistência à tração. Desta forma, a uniformização das peças poderia trazer resultados sem tantas discrepâncias entre amostras do mesmo grupo;
- Investigar novas formas de adicionar um percentual mais alto de tanino em pó na composição dos corpos de prova feitos de papel reciclado. Deve ser averiguado se proporções ainda maiores teriam o mesmo patamar de resultados ou se uma outra forma de inserção desse componente poderia trazer resultados do que apenas adicionado diretamente na polpa do papel.

REFERÊNCIAS

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo: ABRELPE, 2020.

AGÊNCIA EY. Consumidor aponta preço alto como impeditivo para comprar produto sustentável. **Revista Lide**, São Paulo, 29 nov. 2023. Disponível em: <https://revistalide.com.br/consumidor-aponta-preco-alto-como-impeditivo-para-comprar-produto-sustentavel>. Acesso em 14 dez. 2023.

ANDRÉS, G.; AGUILAR-SIERRA, S.; GRAZIELLA, B. Morphological, physical, and chemical characterization of coconut residues in Ecuador. **Heliyon**, v. 9, n. 9, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19267>

AUBICON. Cada pessoa produz 379,2 kg de resíduos anualmente e nem 10% é reciclado. **Fique por dentro AUBICON**, 22 jan 2022. Disponível em: <https://www.aubicon.com.br/cada-pessoa-produz-3792-kg-de-residuos-anualmente-e-nem-10-e-reciclado/#:~:text=Res%C3%ADduos%20gerados%20anualmente%20D e%20acordo%20com%20o%20Panorama,um%20pouco%20mais%20de%201%20k g%20por%20dia>. Acesso em: 20 jul 2024.

BEVERIDGE, F. C.; KALAIPANDIAN, S.; YANG, C.; ADKINS, S. W. Fruit Biology of Coconut (*Cocos nucifera* L.). **Plants**, v. 11, n. 3293, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11233293>

BITENCOURT, D. V.; PEDROTTI, A.; ALMEIDA, R. N. A fibra da casca do coco verde e a fabricação de briquetes: um estudo de suas potencialidades. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, Aquidabã, v. 5, n. 1, p. 319-328, 2014. DOI: <https://doi.org/10.6008/SPC2179-6858.2014.001.0023>

BRASIL, **Decreto nº 10.375** de 26 de maio de 2020 - Programa Nacional de Bioinsumos. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, 27 mai. 2020. Disponível em: <http://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-10.375-de-26-de-maio-de-2020-258706480>. Acesso em: 23 mai. 2024.

BRASIL. **Lei nº 12.305** de 02 de agosto de 2010 - Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, 2 ago. 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 21 mai. 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Qualidade Ambiental. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos** - Planares [recurso eletrônico] /coordenação de André Luiz Felisberto França... [et. al.]. – Brasília, DF: MMA, 2022.

CAPPEQ. **Tannins under the microscope.** Disponível em: <https://www.tannins.org/tannin-under-the-microscope/>

CARDOSO, Rafael. **Design para um mundo complexo.** São Paulo: Cosac Naify, 2011.

CASTRO, Aldemar. **Elaboração e apresentação de comunicação científica: Revisão sistemática e meta-análise.** São Paulo: Usina de pesquisa, 2001.

CHAMEX. **Produtos.** Disponível em: <https://chamex.com.br/produtos/>

COCONA INC. **Temperature Regulating Fabrics & Materials: Powered by 37.5 Technology.** Disponível em: <https://www.thirtysevenfive.com/thermoregulation-technology/>. Acesso em: 29 jun. 2024.

COCOPALLET INTERNATIONAL BV. **Sustainable pallet solution.** Disponível em: <https://www.cocopallet.com/what>. Acesso em: 29 jun. 2024.

DAS, A. K.; ISLAM, N.; FARUK, O.; ASHADUZZAMAN; DUNGANI, R. Review on tannins: Extraction processes, applications and possibilities. **South African Journal of Botany**, v. 135, p. 58-70, 2020.

FACHIN, O. **Fundamentos de metodologia.** São Paulo: Saraiva Uni, 2017.

FAVINI. **Crush Story: From Coconut to paper.** Disponível em: <https://www.favini.com/en/news/crush-coco-the-new-coconut-paper/>. Acesso em: 29 jun. 2024.

FIBRENAMICS. Materiais Compósitos: O Que são e Quais as Suas Propriedades? **Fibrenamics Reports.** s.d. Disponível em: <https://www.fibrenamics.com/intelligence/reports/materiais-compositos-o-que-sao-e-quais-as-suas-propriedades>

FLETCHER, K.; Grose, L. **Fashion and Sustainability: Design for Change**. Londres: Laurence King Publishing, 2012.

FONTES, H. R.; FERREIRA, J. M. S.; SIQUEIRA, L. A. **Sistema de produção para a cultura do coqueiro**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2002.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Crops and livestock products**. FAOSTAT, Nova York, 2022. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>.

HUMER, M.; LECHNER, P. Alternative approach to the elimination of greenhouse gases from old landfills. **Waste Management Research**, v. 17, p. 443-452, dez. 1999.

KHAWAR, Miriam. Climate and Economic Development: Further Evidence in Support of “The Tropical Effect”. **Journal of Economics and Development Studies**. vol. 2, n. 4, 2014. DOI: 10.15640/jeds.v2n4a6

KÖPPEN, W. **Das Geographische System der Klimatologie** Berlin: Gebrüder Borntraeger, 1936.

LETCHER, T.; VALLERO, D. **Waste: A Handbook for Management**. 1a Ed. Massachusetts: Academic Press, 2011.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção de Coco-da-baía**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021.

IDOETA, P. **Indústria do coco cresce, mas alto desperdício gera desafio tecnológico**. BBC Brasil, São Paulo, 17 fev 2014. Disponível em: https://www.bbc.com/portuguese/noticias/2014/02/140207_coco_reciclagem_abre_pai

IPCC. **Intergovernmental Panel on Climate Change**, 2023. Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2023: Synthesis Report. A Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf Acesso em: 08 abr 2024.

JERONIMO, C. E.; SILVA, G. Estudo de alternativas para o aproveitamento de resíduos sólidos da industrialização do coco. **Revista Monografias Ambientais**, [S. l.], v. 10, n. 10, p. 2193–2208, 2013. DOI: 10.5902/223613086935. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/remoa/article/view/6935>. Acesso em: 28 jul. 2024.

KUDOS GIFTWRAP. **Hexcel Wrap - The recycled paper packaging alternative to bubble wrap (Brown Kraft)**. Disponível em: <https://kudosgiftwrap.co.uk/products/hexcelwrap-recycled-paper-packaging-alternative-to-bubblewrap-brown-kraft>

LACERDA, Monique Silva. **O custo da logística reversa dos resíduos do coco verde e seus impactos para a economia circular**. 2021. 120 f., Dissertação (Mestrado em Agronegócios)—Universidade de Brasília, Brasília, 2021.

LEPRE, P. Design Sistêmico – uma abordagem sustentável. In: *SDS 2023 – IX Simpósio de Design Sustentável*, 2014, Florianópolis. **Anais [...]** Florianópolis: UFSC, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/254039/1077-1088.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 03 ago. 2024.

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

MANZINI, E.; VEZZOLI, C. **O desenvolvimento de produtos sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais**. São Paulo: EDUSP, 2002.

MAXIMIZE MARKET RESEARCH. **Coconut Market – Global Industry Analysis and Forecast (2024-2030)**. Maximize Market Research, Pune (India), mai 2024. Disponível em: <https://www.maximizemarketresearch.com/market-report/global-coconut-market/29399/>

MIRANTE RURAL. **Mirante Rural destaca a expansão da produção de coco verde em São Luís**. TV Mirante, São Luís, 19 mar 2023. Disponível em: <https://redeglobo.globo.com/ma/tvmirante/noticia/mirante-rural-destaca-a-expansao-da-producao-de-coco-verde-em-sao-luis.ghtml>

MOLO DESIGN. **Paper softwall | flexible freestanding partition**. Disponível em: <https://molodesign.com/collections/space-partitions/paper-softwall-folding-wall/>

MORBECK, F.L.; LELIS, R.C.C.; SCHUELER, M.V.E., *et al.* Extraction and evaluation of tannin from green coconut mesocarp. **Revista Matéria**, v.24, n.3, 2019 - e-12433, 2019

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Nações Unidas Brasil, Brasília, 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>.

NANOLLOSE LTD. **Jelli Grow: Alternative seed germination and plant growing material**. Disponível em: <<https://nanollose.com/products/jelli-grow/>>. Acesso em: 29 jun. 2024.

NATURLOOP. **Let's talk about Cocoboard**. Disponível em: <<https://naturloop.com/product/>>. Acesso em: 29 jun. 2024.

PASPANINGRUM, T.; INDRASTI, N. S.; INDRAWANTO, C.; YANI, M. Life cycle assessment of coconut plantation, copra, and charcoal production. **Global Journal of Environment Science and Management**. v. 9, n. 4, p. 653–672, 2023. DOI: 10.22034/gjesm.2023.04.01

PAPANEK, Viktor. **Arquitetura e Design - Ecologia e Ética**. Lisboa: Edições 70, 1997.

PERONI, B. L.; CAMPOS, L.; FILHO, P. R. A. S.; ALMEIDA, J. B. DOS S. M. DE; GOMES, M. S. DA R. Extração do tanino a partir da casca de coco verde (cocos nucifera) e síntese do poliestireno sulfonado de copos plásticos / Tannins extraction from coco verde bark (cocos nucifera) and synthesis of sulfonated polystyrene plastic cups. **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], v. 5, n. 10, p. 21316–21330, 2019.

PHILLIP JEFFRIES. **3596: Concrete Washi Set In Cement**. Disponível em: <https://www.phillipjeffries.com/shop/CARD-AG-CONCRETEII/3596>

RIO DE JANEIRO, **Lei Ordinária Nº 7768**, de 6 de novembro de 2017 - Programa de Reciclagem do Coco Verde no âmbito do estado do Rio de Janeiro. Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro, 6 nov. 2017. Disponível em: <http://alerjln1.alerj.rj.gov.br/CONTLEI.NSF/b24a2da5a077847c032564f4005d4bf2/6f40226c53463902832581d10068fd83>

ROSA, M. F; BEZERRA, F. C; CORREIA, D; SANTOS, F. J. S.; ABREU, F. A. P; FURTADO, A. A. L; BRÍGIDO, A. K. L; NORÕES, E. R. V. Utilização da casca de coco como substrato agrícola. **Embrapa Agroindústria Tropical**, 2002.

ROSA, M.; MATTOS, A.; CRISÓSTOMO, L.; BEZERRA, F.; VERAS, L.; CORREIA, D. Aproveitamento da casca de coco verde. In CARVALHO, José Maria Marques de (Org.) **Apoio do BNB à Pesquisa e Desenvolvimento da Fruticultura Regional**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2009. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/574399>. Acesso em: 4 jun. 2024.

ROSE, J.; MAHLER, C.; IZZO, R. Comparison of the methane oxidation rate in four media. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 36, n.3, p 803–812, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000300011>. Acesso em: 20 jul 2024.

SAN ANDRÉS, G.; AGUILAR-SIERRA, S.; GRAZIELLA, B. Morphological, physical, and chemical characterization of coconut residues in Ecuador. **Heliyon**, v. 9, n. 9, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19267>

SANTOS, D.; SANTANA, S.; BEZERRA, C.; FILHO, J. Remoção de corantes têxteis por mesocarpo de coco verde. **MensAgitat**, [s. l.], v. III, n. 2, p. 9–16, 2008. Disponível em: <http://mensagitat.org/data/documents/V3-N2-2008.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2024.

SÃO LUÍS. **Lei Municipal Nº 6.321/2018**, 27 de março de 2018 - Sistema de Limpeza Urbana de São Luís. Diário Oficial do Município de São Luís, 27 mar. 2018. Disponível em: https://saoluis.ma.gov.br/midias/anexos/2560_lei_6.321.pdf

SCABIN, D. **Gases de efeito estufa - GEE**. Disponível em: <https://semil.sp.gov.br/educacaoambiental/prateleira-ambiental/gases-de-efeito-estufa-gee/> Acesso em: 02 fev. 2025.

SENHORAS, E. **Estratégia de uma Agenda para a Cadeia Agroindustrial do Coco**. Campinas: Editora ESC, 2003.

SIQUEIRA, G. **Teor de Sólidos / Umidade: O que é? Qual a importância? Quais as principais técnicas?**. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/teor-de-s%C3%B3lidos-umidade-o-que-%C3%A9-qual-import%C3%A2ncia-quais-siqueira/> Acesso em: 08 set. 2024.

SMITHERS. **Water Absorbency**. Disponível em: <https://www.smithers.com/industries/packaging/manufacturers-and-users/packaging-materials-testing/paper-testing-other-properties/water-absorbency>

SOUZA, M.; SILVA, J.; SANTOS, C.; SILVA, H.; LIMA, P. Obtenção de celulose a partir do aproveitamento de resíduos de coco (*Cocos nucifera* Linnaeus, 1753) para a produção de papel. **Revista Principia**, João Pessoa, v. 60, n. 1, p. 1–20, 2023.

SYSTEMIC APPROACH STUDIO. **Systemic Approach - systemic approach foundation**. 2016 Disponível em: <http://www.systemicfoundation.org/systemic-approach/>. Acesso em: 26 jul. 2023.

United Nations Environment Programme (UNEP). **Beyond an age of waste: Turning rubbish into a resource**. Nairobi: United Nations Environment Programme, 2024. DOI: <https://doi.org/10.59117/20.500.11822/44939>

United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division (UN DESA). **World Population Prospects 2024: Summary of Results**. New York: United Nations Department of Economic and Social Affairs, 2024.

Universidade de São Paulo. **Reprodutibilidade na ciência**. Disponível em: <https://cienciaaberta.usp.br/reprodutibilidade-na-ciencia/>

VELÉZ, H. A. V. **Harvey Alexander Villa Veléz: depoimento** [jun. 2024]. Entrevistador: G. Rodrigues. São Luís, 2024.

VELOSO, Y. M.; SOUZA, I.; SANTOS, J.; LEITE, M. Reutilização da fibra da casca do coco verde para a produção de matéria prima industrial. **Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT**, Sergipe, v. 1, n. 3, p. 91–98, 2013. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/cadernoexatas/article/view/579>. Acesso em: 9 jun. de 2024.

WOOD & WASHI. **Projects: conference room**. Disponível em: <https://woodandwashi.com/projects/conference-room-moscow/>

XIAO, G.; LIANG, J.; LI, D.; TU, Y.; ZHANG, B.; GONG, F.; GU, W.; TANG, M.; DING, X.; WU, Z.; LEI, H. Fully Bio-Based Adhesive from Tannin and Sucrose for Plywood Manufacturing with High Performances. **Materials**, Basel, v. 15, n. 24, 2022. <https://doi.org/10.3390/ma15248725>

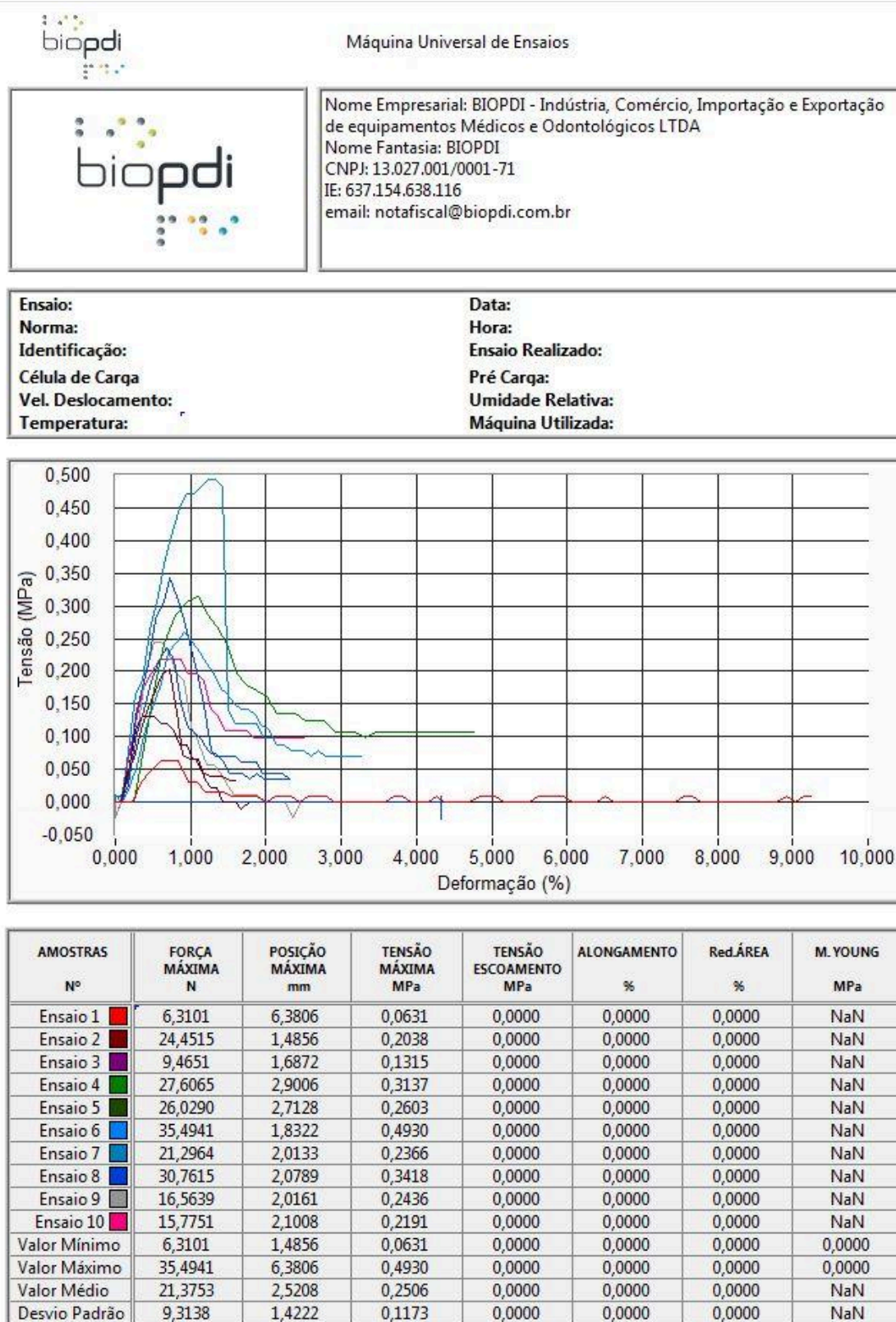
APÊNDICES

APÊNDICE 01 - Tabela de resultados exportados da Máquina de Ensaio Universal INSTRON EMIC 23-100

Resultado Ensaio - Máquina de Ensaio Universal INSTRON EMIC 23-100

Etiqueta do corpo de prova	Máximo Força (N)	Tensão à tração na Máximo Força (MPa)	Força na Quebra (Padrão) (N)	Tensão à tração na Quebra (Padrão) (MPa)	Deformação à tração (Deslocamento) na Quebra (Padrão) (%)	Deslocamento à tração na Quebra (Padrão) (mm)
CP1	3,50	0,04	1,87	0,02	8,57	3,43
CP2	21,98	0,27	3,93	0,05	4,42	1,77
CP+F2,5T2 - 1	24,77	0,31	10,36	0,13	4,50	1,80
CP+F2,5T2 - 2	28,19	0,35	10,53	0,13	3,73	1,49
CP+F2,5T3 - 1	20,35	0,25	7,05	0,09	2,90	1,16
CP+F2,5T3 - 2	13,54	0,17	8,53	0,11	8,61	3,44
CP+F2,5T4 - 1	12,90	0,16	1,82	0,02	2,63	1,05
CP+F2,5T4 - 2	19,77	0,24	6,37	0,08	4,02	1,61
CP+F5T2 - 1	20,20	0,25	11,18	0,14	4,12	1,65
CP+F5T2 - 2	19,04	0,24	9,51	0,12	3,43	1,37
CP+F5T3 - 1	15,55	0,19	3,09	0,04	2,91	1,16
CP+F5T3 - 2	24,48	0,30	8,45	0,10	3,89	1,55
CP+F5T4 - 1	26,72	0,33	11,94	0,15	5,10	2,04
CP+F5T4 - 2	16,47	0,20	2,89	0,04	2,72	1,09
CP+F7,5T2 - 1	17,03	0,21	-0,20	0,00	3,27	1,31
CP+F7,5T2 - 2	20,66	0,26	5,80	0,07	3,63	1,45
CP+F7,5T3 - 1	19,69	0,24	4,07	0,05	2,38	0,95
CP+F7,5T3 - 2	11,91	0,15	2,53	0,03	2,69	1,07
CP+F7,5T4 - 1	16,80	0,21	4,89	0,06	2,84	1,13
CP+F7,5T4 - 2	16,00	0,20	4,75	0,06	3,73	1,49

APÊNDICE 02 - Tabela de resultados exportados da Máquina Universal de Ensaios Biopdi MBIO-II





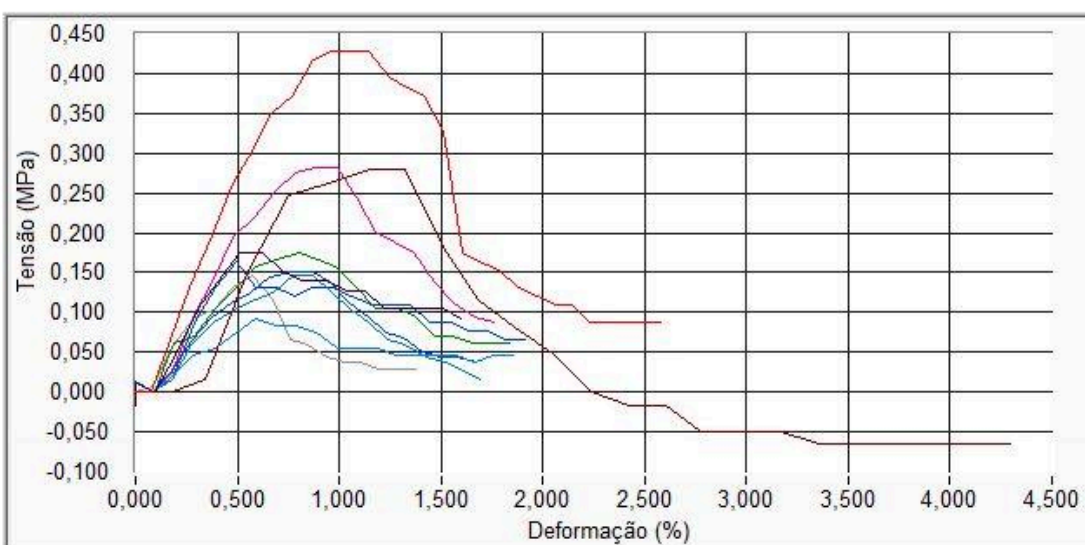
Máquina Universal de Ensaios



Nome Empresarial: BIOPDI - Indústria, Comércio, Importação e Exportação de equipamentos Médicos e Odontológicos LTDA
 Nome Fantasia: BIOPDI
 CNPJ: 13.027.001/0001-71
 IE: 637.154.638.116
 email: notafiscal@biopdi.com.br

Ensaio:
 Norma:
 Identificação:
 Célula de Carga
 Vel. Deslocamento:
 Temperatura:

Data:
 Hora:
 Ensaio Realizado:
 Pré Carga:
 Umidade Relativa:
 Máquina Utilizada:



AMOSTRAS Nº	FORÇA MÁXIMA N	POSICÃO MÁXIMA mm	TENSÃO MÁXIMA MPa	TENSÃO ESCOAMENTO MPa	ALONGAMENTO %	Red.ÁREA %	M. YOUNG MPa
Ensaio 1	30,7615	2,2694	0,4272	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ensaio 2	13,4089	1,8483	0,2794	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ensaio 3	11,8314	1,2967	0,1740	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ensaio 4	15,7751	1,5239	0,1753	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ensaio 5	7,8876	1,5575	0,0928	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ensaio 6	15,7751	1,4883	0,1461	0,0000	0,0000	0,0000	0,000000
Ensaio 7	18,9302	1,4411	0,1502	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ensaio 8	11,8314	1,6236	0,1643	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ensaio 9	15,7751	1,2122	0,1461	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ensaio 10	35,4941	1,4961	0,2817	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Valor Mínimo	7,8876	1,2122	0,0928	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Valor Máximo	35,4941	2,2694	0,4272	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Valor Médio	17,7470	1,5757	0,2037	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Desvio Padrão	8,7141	0,2987	0,0982	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000



Máquina Universal de Ensaios



Nome Empresarial: BIOPDI - Indústria, Comércio, Importação e Exportação de equipamentos Médicos e Odontológicos LTDA
 Nome Fantasia: BIOPDI
 CNPJ: 13.027.001/0001-71
 IE: 637.154.638.116
 email: notafiscal@biopdi.com.br

Ensaio:

Data:

Norma:

Hora:

Identificação:

Ensaio Realizado:

Célula de Carga

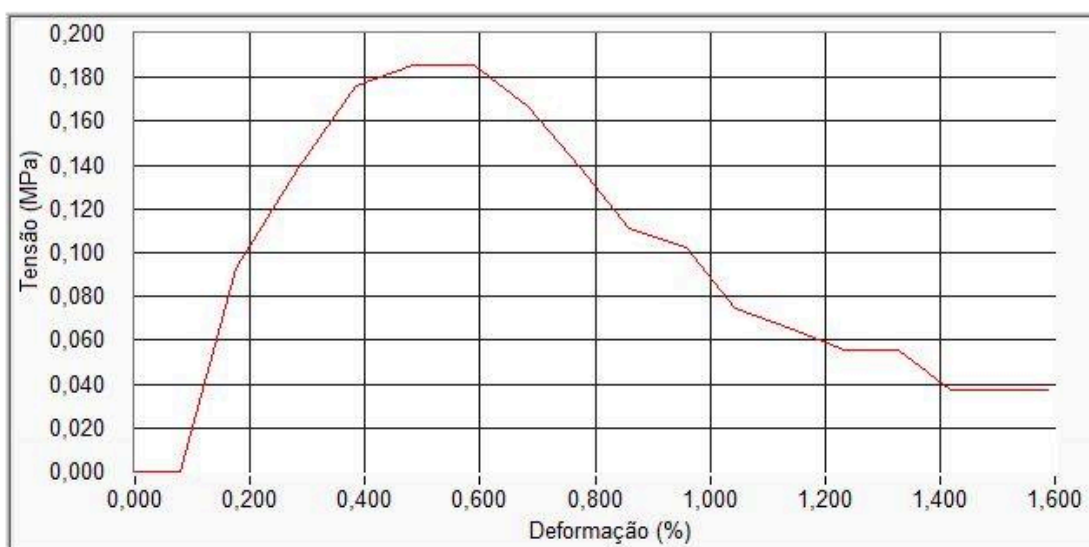
Pré Carga:

Vel. Deslocamento:

Umidade Relativa:

Temperatura:

Máquina Utilizada:



AMOSTRAS Nº	FORÇA MÁXIMA N	POSIÇÃO MÁXIMA mm	TENSÃO MÁXIMA MPa	TENSÃO ESCOAMENTO MPa	ALONGAMENTO %	Red.ÁREA %	M. YOUNG MPa
Ensaio 1	15,7751	1,3806	0,1856	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ensaio 2							
Ensaio 3							
Ensaio 4							
Ensaio 5							
Ensaio 6							
Ensaio 7							
Ensaio 8							
Ensaio 9							
Ensaio 10							
Valor Mínimo	15,7751	1,3806	0,1856	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Valor Máximo	15,7751	1,3806	0,1856	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Valor Médio	15,7751	1,3806	0,1856	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Desvio Padrão	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN



Máquina Universal de Ensaio



Nome Empresarial: BIOPDI - Indústria, Comércio, Importação e Exportação de equipamentos Médicos e Odontológicos LTDA

Nome Fantasia: BIOPDI

CNPJ: 13.027.001/0001-71

IE: 637.154.638.116

email: notafiscal@biopdi.com.br

Ensaio:

Norma:

Identificação:

Célula de Carga

Vel. Deslocamento:

Temperatura:

Data:

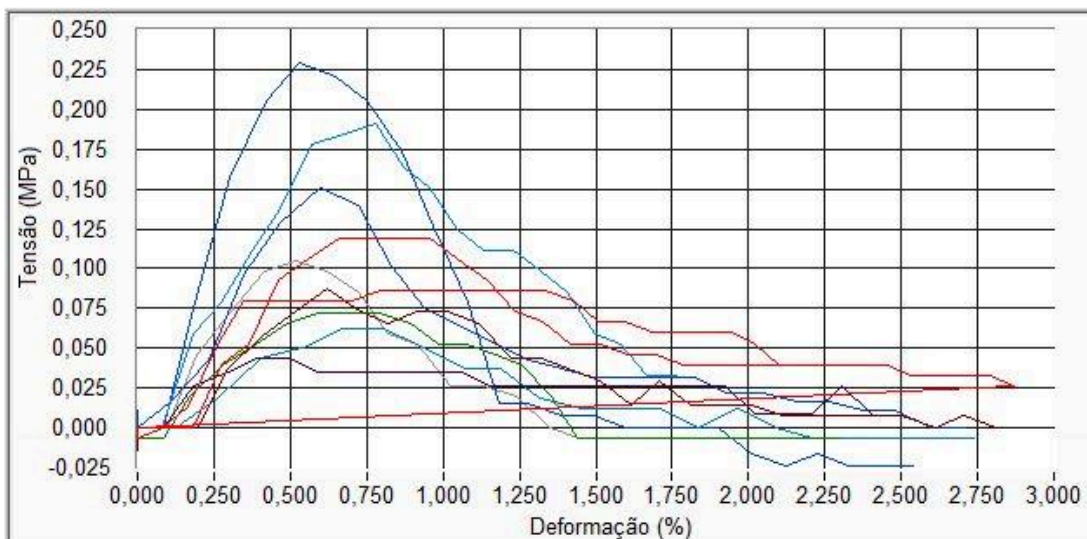
Hora:

Ensaio Realizado:

Pré Carga:

Umidade Relativa:

Máquina Utilizada:



AMOSTRAS Nº	FORÇA MÁXIMA N	POSICÃO MÁXIMA mm	TENSÃO MÁXIMA MPa	TENSÃO ESCOAMENTO MPa	ALONGAMENTO %	Red.ÁREA %	M. YOUNG MPa
Ensaio 1	14,1976	1,7408	0,1193	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ensaio 2	9,4651	2,2222	0,0876	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ensaio 3	3,9438	1,9694	0,0438	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ensaio 4	8,6763	1,9319	0,0723	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ensaio 5	22,8740	1,5161	0,1906	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ensaio 6	7,8876	1,6961	0,0626	0,0000	0,0000	0,0000	0,000000
Ensaio 7	22,0852	1,9253	0,1502	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ensaio 8	22,8740	1,9814	0,2287	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ensaio 9	12,6201	1,2642	0,1052	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ensaio 10							
Valor Mínimo	3,9438	1,2642	0,0438	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Valor Máximo	22,8740	2,2222	0,2287	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Valor Médio	13,8471	1,8053	0,1178	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Desvio Padrão	7,1763	0,2861	0,0616	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000