

**SUSTENTABILIDADE NA PRODUÇÃO DE PAPEL: USO DE FIBRAS VEGETAIS
E TÊXTEIS – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

**SUSTAINABILITY IN PAPER PRODUCTION: USE OF VEGETABLE AND
TEXTILE FIBERS – LITERATURE REVIEW**

**SOSTENIBILIDAD EN LA PRODUCCIÓN EN PAPEL: USO DE FIBRAS
VEGETALES Y TEXTILES - REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

 <https://doi.org/10.56238/arev7n7-327>

Data de submissão: 28/06/2025

Data de publicação: 28/07/2025

Síntique Sanny de Macêdo Martins

Bacharelado em Design

Instituição: Universidade Federal de Pernambuco

Endereço: Pernambuco, Brasil

E-mail: sintique.smmartins@ufpe.br

Maria Rita Cardoso de Sousa

Bacharelado em Design

Instituição: Universidade Federal de Pernambuco

Endereço: Pernambuco, Brasil

E-mail: rita.souza@ufpe.br

Jacqueline da Silva Macêdo

Mestra em Desenvolvimento e Meio Ambiente

Instituição: Universidade Federal Pernambuco

Endereço: Pernambuco, Brasil

E-mail: line.silva@gmail.com

Anantcha Karla Lafaiete de Holanda Cavalcanti

Mestranda em Design

Instituição: Universidade Federal de Pernambuco

Endereço: Pernambuco, Brasil

E-mail: anantchalafaiete@gmail.com

Lívia Maria Carvalho Leite

Bacharelado em Design

Instituição: Universidade Federal de Pernambuco

Endereço: Pernambuco, Brasil

E-mail: livia.mcleite@ufpe.br

Sidney Manoel da Silva

Engenharia de Produção

Instituição: Universidade Federal de Pernambuco

Endereço: Pernambuco, Brasil

E-mail: sidney.manoel@gmail.com

Clécio José de Lacerda Lima

Doutor em Engenharia Têxtil

Instituição: Universidade Federal de Pernambuco

Endereço: Pernambuco, Brasil

E-mail: clecio.lacerda@ufpe.br

Andréa Fernanda de Santana Costa

Doutora em Biotecnologia

Instituição: Universidade Federal de Pernambuco

Endereço: Pernambuco, Brasil

E-mail: andrea.santana@ufpe.br

RESUMO

A presença do papel no cotidiano humano é inegável, consolidando-se como um material indispensável desde sua criação. Utilizado em funções que vão da comunicação à criação artística, ele também desempenhou um papel essencial na economia, como suporte para documentos comerciais, cédulas e cheques. No entanto, sua produção tradicional apresenta sérios desafios ambientais, como desmatamento, elevado consumo de água e energia, além da geração de resíduos. Diante desse cenário, surge a proposta de utilizar os resíduos têxteis, especialmente os feitos de fibras naturais como algodão, linho, cânhamo ou viscose que podem ser reaproveitados na fabricação de papel artesanal ou industrial como uma alternativa sustentável e inovadora. O processo envolve transformar os tecidos descartados em uma polpa fibrosa que pode ser moldada em folhas de papel. Essas fibras, frequentemente descartadas como resíduos industriais ou pós-consumo, oferecem uma oportunidade única para reduzir a dependência de recursos naturais como árvores e diminuir a quantidade de resíduos sólidos. Esse reaproveitamento está alinhado aos princípios da economia circular, promovendo práticas de reutilização e sustentabilidade. Este estudo explora as propriedades técnicas, vantagens e desafios da produção de papéis a partir de fibras têxteis, destacando seu potencial para aplicações em áreas como embalagens, design e comunicação visual. Ao enfatizar a relevância dessa inovação, busca-se contribuir para o desenvolvimento de práticas mais responsáveis e sustentáveis na indústria de papel e celulose, atendendo às demandas ecológicas contemporâneas.

Palavras-chave: Papel. Fibras. Fibras Têxteis. Celulose. Reciclagem.

ABSTRACT

The presence of paper in human daily life is undeniable, establishing itself as an indispensable material since its creation. Used in functions ranging from communication to artistic creation, it has also played a key role in the economy, serving as a medium for commercial documents, banknotes, and checks. However, its traditional production poses serious environmental challenges, such as deforestation, high water and energy consumption, and waste generation. In this context, the proposal to use textile waste, especially those made from natural fibers such as cotton, linen, hemp, or viscose, arises as a sustainable and innovative alternative. This process involves transforming discarded fabrics into a fibrous pulp that can be molded into sheets of paper. These fibers, often discarded as industrial or post-consumer waste, provide a unique opportunity to reduce reliance on natural resources such as trees and decrease the volume of solid waste. This reuse aligns with the principles of the circular economy, promoting practices of reuse and sustainability. This study explores the technical properties, advantages, and challenges of producing paper from textile fibers, highlighting its potential applications in areas such as packaging, design, and visual communication. By emphasizing the relevance of this innovation, it seeks to contribute to the development of more responsible and sustainable practices in the paper and pulp industry, addressing contemporary ecological demands.

Keywords: Paper. Fibers. Textile Fibers. Cellulose. Recycling.

RESUMEN

La presencia de papel en la vida cotidiana en humanos es innegable, consolidándose como un material indispensable desde su creación. Utilizado en funciones que van desde la comunicación hasta la creación artística, también jugó un papel esencial en la economía, como el apoyo a documentos comerciales, billetes y cheques. Sin embargo, su producción tradicional tiene serios desafíos ambientales, como la deforestación, el alto consumo de agua y energía, así como la generación de residuos. Dado este escenario, la propuesta de usar desechos textiles, especialmente aquellos hechos de fibras naturales como algodón, lino, cáñamo o viscosa que se pueden reutilizar en la fabricación de papel artesanal o industrial como una alternativa sostenible e innovadora. El proceso implica convertir los tejidos desechados en una pulpa fibrosa que se puede moldear sobre hojas de papel. Estas fibras, a menudo descartadas como residuos industriales o posteriores al consumo, ofrecen una oportunidad única para reducir la dependencia de los recursos naturales, como los árboles y disminuir la cantidad de residuos sólidos. Esta reutilización está alineada con los principios de la economía circular, promoviendo prácticas de reutilización y sostenibilidad. Este estudio explora las propiedades técnicas, las ventajas y los desafíos de la producción de roles de las fibras textiles, destacando su potencial para aplicaciones en áreas como el embalaje, el diseño y la comunicación visual. Al enfatizar la relevancia de esta innovación, busca contribuir al desarrollo de prácticas más responsables y sostenibles en la industria del papel y la pulpa, cumpliendo con las demandas ecológicas contemporáneas.

Palabras clave: Papel. Fibras. Fibras Textiles. Celulosa. Reciclaje.

1 INTRODUÇÃO

Considerando a importância do papel no cotidiano, é difícil imaginar uma civilização que não faça uso desse recurso. Desde sua criação, ele tem acompanhado o ser humano ao longo da vida, desempenhando funções essenciais.

Segundo David e Lino (2021), o papel é um material produzido por meio de fibras vegetais, ele é produzido a partir de uma pasta dessas fibras, que é seca e transformada em diversas finalidades. Quimicamente, ele é composto, principalmente, por ligações de hidrogênio.

Para Asunción (2022), apesar de aparência singela, o material em estudo se consolidou ao longo da história devido a sua versatilidade, respondendo a todo tipo de necessidade humanas, como comunicação, proteção e até criação artística. O impacto do papel vai além do seu uso físico, pois ele também esteve diretamente ligado à economia, viabilizando a circulação de riqueza por meio de cédulas, cheques e documentos comerciais.

Embora o papel tenha desempenhado um papel crucial na história humana, o impacto ambiental como o desmatamento e o alto consumo de água e energia tornou-se uma preocupação crescente devido seu meio de produção. Nesse contexto, o uso de fibras têxteis surge como uma solução inovadora, sustentável, com grande relevância no contexto atual de busca por soluções ecológicas (David e Lino, 2021).

As fibras têxteis, muitas vezes descartadas como resíduos industriais ou pós-consumo, oferecem uma oportunidade de reaproveitamento que reduz a pressão sobre os recursos naturais, como árvores, tradicionalmente utilizadas na produção de papel. Além disso, a utilização dessas fibras contribui para a economia circular, promovendo a reutilização de materiais e a diminuição de resíduos sólidos (Kumabe, et al., 2021).

A estratégia de reaproveitamento de resíduos e plantas não arbóreas provenientes do setor industrial está alinhada com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas, que têm por objetivo até 2030 reduzir significativamente a produção de resíduos através da reciclagem. A escolha por alternativas sustentáveis apresenta potencialidade para redução de acúmulo de produtos de uso único no meio ambiente, reduzindo os impactos causados pelo manejo inadequado de resíduos (Santos, 2024).

O estudo pretende avaliar as propriedades, vantagens e desafios associados à utilização de fibras têxteis na fabricação de papel, destacando sua viabilidade técnica e possíveis aplicações em áreas como embalagens, design e comunicação visual. Assim, busca-se evidenciar o papel estratégico dessa inovação no desenvolvimento de práticas mais sustentáveis na indústria de papel e celulose.

Este artigo tem por objetivo geral realizar um estudo descritivo sobre os tipos de fibras vegetais e têxteis que podem ser utilizadas como alternativa sustentável para produção de papel. A pesquisa foi desenvolvida com uma metodologia que permitisse descobrir fontes de fibra e celulose para produção de papéis sustentáveis.

Os objetivos específicos estão listados a seguir:

- Apresentar as fibras que podem ser utilizadas para produção de papel;
- Explorar exemplos de estudo de caso da aplicabilidade dessas fibras na produção de papel sustentável;
- Apontar formas de produção de celulose além da celulose convencional;
- Apontar possibilidades futuras a partir de pesquisas estudadas.

2 EXPERIMENTAL OU MATERIAIS E MÉTODOS OU METODOLOGIA

Esta pesquisa consiste em uma revisão bibliográfica com o objetivo de analisar o uso de fibras têxteis, especialmente aquelas provenientes de materiais naturais na produção de papel. Para a realização desta revisão, foram seguidos critérios rigorosos para selecionar as fontes e garantir a relevância e a qualidade dos estudos analisados.

A seleção dos artigos e materiais foi baseada em fontes acadêmicas confiáveis, como artigos científicos, livros e teses publicadas. A ênfase foi dada às publicações dos últimos cinco anos, a fim de refletir os avanços mais recentes sobre o tema.

A busca foi conduzida utilizando palavras-chave em bases de dados acadêmicas, como Google School, periódicos do CAPES. Apenas estudos qualitativos e quantitativos que abordassem a produção de papel a partir de fibras naturais e têxteis e a análise de impactos ambientais foram incluídos.

Após a coleta inicial, os resumos dos artigos foram lidos para garantir que estavam dentro do escopo do tema. Os artigos considerados relevantes foram então lidos na íntegra, e informações sobre as metodologias, resultados e conclusões foram extraídas. Após selecionados, foram organizados em categorias relacionadas aos seguintes temas principais: propriedades das fibras têxteis na produção de papel, os impactos ambientais da produção de papel tradicional versus os benefícios do uso de resíduos têxteis, inovações tecnológicas na reciclagem de resíduos têxteis e os desafios e lacunas presentes na pesquisa.

A análise crítica das fontes envolveu a identificação de avanços significativos na utilização de fibras têxteis para a produção de papel, destacando como essas práticas contribuem para a sustentabilidade na indústria de papel e celulose. Além disso, foram identificadas lacunas na pesquisa,

como a falta de dados sobre a viabilidade econômica dessa abordagem e os desafios técnicos no processo de transformação de resíduos têxteis em fibras utilizáveis. A partir dessa análise, também foram destacados os principais desafios enfrentados pela indústria, como limitações na escalabilidade e no custo do processo de produção.

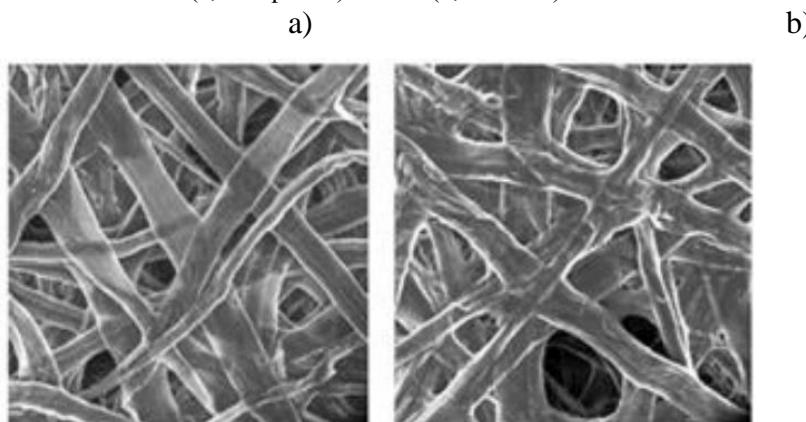
Ao final, foi realizada uma síntese das informações encontradas, com o objetivo de integrar os resultados obtidos, identificar as tendências emergentes no uso de fibras têxteis e sugerir áreas para futuras pesquisas. A revisão bibliográfica oferece uma visão clara do estado atual da pesquisa sobre o tema, abordando tanto os avanços quanto as lacunas existentes na área.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 RESÍDUOS UTILIZADOS NA FABRICAÇÃO DE PAPEL

O papel é produzido a partir de fibras celulósicas suspensas em água, filtradas e secas para formar uma folha plana. Em nível molecular, as ligações de hidrogênio da celulose são temporariamente rompidas pela água e reformadas durante a secagem, o que confere rigidez e resistência ao papel, conforme a figura 1. A força dessas ligações determina suas propriedades mecânicas (Squillante, 2024).

Figura 1: Imagens de microscópio eletrônico de varredura de uma superfície de papel, seca respectivamente sob tensão (a, à esquerda) ou não (b, à direita).



Fonte: Imagem retirada dos estudos de Squillante (2024).

De acordo com os estudos de Squillante (2024), o papel, por ser biodegradável e de origem natural, é uma alternativa sustentável ao plástico. Estudos mostram que embalagens de papel podem ser recicláveis e eficientes. Além disso, resíduos sólidos municipais, como têxteis e materiais orgânicos, podem fornecer fibras alternativas para a fabricação de papel, ajudando a diminuir a poluição ambiental. Fibras como algodão, cânhamo, linho, entre outras são ideais para esse processo, pois formam uma rede resistente por meio de ligações de hidrogênio (Rahma, 2022; Squillante 2024).

Desde 2012 a indústria de celulose do Brasil se mantém em 4^a posição no mundo em volume de produção e ocupa a 9^a posição no ranking de fabricantes mundiais de papel (Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel - Bracelpa, 2025) e é destaque na produção de celulósica no mundo, ocupando o 2º lugar no ranking mundial (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ, 2024).

O crescimento recorrente da produção nacional está associado à sua alta competitividade, que, por sua vez, resulta das condições naturais favoráveis das florestas e de um longo histórico de investimentos em pesquisa e desenvolvimento (KUMABE, et al., 2021).

A madeira continua sendo o principal recurso para a produção de celulose e papel. No entanto, pesquisas vêm sendo desenvolvidas para explorar outras fontes de fibras vegetais e têxteis, que já estão sendo utilizadas na fabricação desses materiais (Cunico, 2021). Revalorizar o que para o setor teoricamente já não tem valor é potencialmente favorável para a produção de polpa, uma vez que o aproveitamento dos resíduos e de plantas não arbóreas oriundas do setor industrial mostra qualidade das fibras para produção de celulose (Kumabe, et al., 2021; Opperskalski, 2021).

3.2 FIBRAS VEGETAIS NÃO MADEIREIRAS NA PRODUÇÃO DE POLPAS CELULÓSICAS E PAPEIS

As fibras vegetais não madeireiras são pouco aproveitadas pela indústria de papel, mesmo sendo a matéria-prima que deu origem a essa indústria. Para Cunico (2021), as fibras não madeiras que mais ocorrem citações dentro do setor em pesquisa ou inovação tecnológica pelos seus resíduos agrícolas são a palha de arroz, bagaço de cana-de-açúcar, linter de algodão, cânhamo, bambu, coco, entre outras.

Essas fibras são originadas de plantas mono ou dicotiledônea, pois não apresentam anéis de crescimento como as árvores e podem ser originadas tanto diretamente dessas plantas quanto de resíduos de outras produções agrícolas (Cunico, 2021). A maioria dessas plantas não madeireiras são anuais e chegam ao seu auge fibroso em determinadas estações (Cunico, 2021; Temirel, 2021).

Diante do crescimento acelerado do consumo mundial, torna-se importante a adoção de práticas ambientais adequadas, priorizando alternativas sustentáveis, biodegradáveis e renováveis, que também apresentem custos reduzidos. “Matérias-primas não-lenhosas podem ser facilmente transformadas em polpa usando soda/soda-AQ (antraquinona), organosolv e biopolpação” Worku (2023). Nesse contexto, as fibras não-madeireiras se destacam como uma opção viável para as fábricas de polpa, com potencial de aplicação tanto isoladamente quanto em combinação com as fibras de madeira (Cunico, 2021; Kumabe, et al., 2021; Opperskalski, 2021).

A fabricação de papel à base de fibras celulósicas necessita do uso de materiais que apresentem características específicas, como alta resistência mecânica, consistência estrutural e um elevado grau de pureza. Nesse processo, se torna imprescindível a retirada da lignina substância que atua como ligação entre as fibras vegetais (Capitina, 2024, Kumabe, 2021, Sasamori, 2021).

Esse processo é realizado por meio da hidrólise, que promove a fragmentação da estrutura lignocelulósica e possibilita a solubilização da lignina. A eliminação eficaz desse componente resulta na liberação de fibras com maior resistência mecânica, além de otimizar o rendimento produtivo, tornando o processo mais eficiente e adequado para a fabricação de papéis de alta qualidade (Capitina, 2024).

Para Da Silva Nunes et al.:

"Dentre os processos de polpação, o mais comum é o Kraft, que cozinha a fonte de fibras celulósicas em solução alcalina de hidróxido de sódio ou sulfeto de sódio, gerando fibras branqueáveis e de boa resistência mecânica, possuindo rendimento de produção de polpa na ordem de 50% a 60% do total de material utilizado."

O método kraft, amplamente utilizado na produção de papel. A finalidade desse processo é remover a lignina da madeira ou de outras fibras vegetais, preservando ao máximo os carboidratos (como a celulose e a hemicelulose), que são essenciais para a resistência e qualidade do papel (Santos, 2023).

O processo kraft usa uma carga alcalina para remover a lignina e produzir polpa celulósica. No entanto, a quantidade aplicada deve ser controlada, pois um excesso pode degradar os carboidratos, reduzindo o rendimento e a resistência do papel. A otimização desse processo é essencial para equilibrar qualidade, custo e eficiência na produção (Santos, 2023).

Dentre as fibras em estudo, temos o cânhamo (*Cannabis sativa*) que é uma planta que atinge seu tamanho pleno em apenas 3 a 4 meses, ao contrário das árvores, que demoram de 20 a 80 anos para alcançar seu desenvolvimento completo. Além disso, o cânhamo exige pouco ou nenhum uso excessivo de pesticidas, o que contribui para a preservação do solo e das águas subterrâneas (Santos, 2025; Temirel, 2021).

Conhecido como "ouro verde", essa planta tem atraído a atenção da indústria por suas características agronômicas e seu alto potencial econômico, sendo uma matéria-prima renovável e sustentável (Santos, 2025). Atualmente, suas fibras são utilizadas na fabricação de papéis leves, devido à sua baixa adesão a polímeros sintéticos (Temirel, 2021), além de ser aplicada em materiais de isolamento e compósitos (Santos, 2025).

O cânhamo também possui um alto teor de celulose, superior ao da madeira, e pode ser reciclado até oito vezes. Sua resistência à decomposição e ao amarelamento ao longo do tempo é superior à do papel feito de madeira (Santos, 2025; Temirel, 2021). De acordo com Temirel (2021), na fabricação de papel, ele oferece vantagens como custo-benefício, facilidade de uso, prototipagem rápida, biocompatibilidade, descartabilidade e a dispensa de fontes de energia externas.

A produção de polpa kraft a partir dos talos de cânhamo (IH) é mais simples do que a partir de muitas madeiras, devido ao seu baixo teor de lignina, um composto que dificulta o processamento de vegetais em polpa. Nos talos de IH, a lignina é menor, facilitando a deslignificação, um passo crucial na produção de polpa kraft (Danielewicz, 2023).

Segundo Danielewicz (2023), os talos de IH podem ser convertidos em polpa kraft com aproximadamente 25 kappa, utilizando cerca de 15% de álcalis ativos (uma solução química usada para remover a lignina). Esse valor é significativamente inferior ao necessário para processar madeiras como a bétula, que requer cerca de 18% de álcalis. Isso indica que o cânhamo possui uma resistência à lignina mais baixa, o que torna a produção de polpa mais eficiente.

O bagaço é um subproduto resultante da moagem da cana-de-açúcar, cuja produção foi estimada em 678,67 milhões de toneladas para o período de 2024/2025 (CONAB, 2025). Sendo o principal resíduo da indústria sucroalcooleira, seu reaproveitamento tem sido impulsionado por investimentos no setor, acompanhando o crescimento das áreas cultivadas e o avanço da industrialização da cana-de-açúcar (Bittancourt, 2023; Costa, 2022).

Um subproduto fibroso, após a saída da moenda o bagaço representa cerca de 30% da cana, sua química se altera e acaba se tornando um material interessante para ser incorporado em compósitos. “O bagaço da cana, assim como os demais subprodutos fibrosos, é constituído basicamente de celulose ($C_6H_{10}O_5$)_n, hemicelulose ($C_5H_8O_4$) e lignina ($C_9H_{10}O_2$, $C_{10}H_{12}O_3$, $C_{11}H_{14}O_4$), além de outros componentes em menor quantidade, as quais, juntas, perfazem mais de 90% da massa total.” (Costa, 2022). Ratini, (2024), afirma que “o bagaço recém moído irá possuir 50% de umidade, 45% de fibras lignocelulósicas, de 2 a 3% de sólidos insolúveis e 2 a 3% de sólidos solúveis.”

As fibras deste recurso são mais longas e firmes melhorando a resistência e durabilidade do papel. Ao utilizá-las como reforço reduzimos a quantidade do uso de celulose virgem necessária para fabricação do papel, ocasionando uma redução no impacto ambiental (Bittancourt, 2023; Ratini, 2024).

Para Bittancourt (2023), o processo inicia-se com a lavagem das fibras em água deionizada quente por 30 minutos, seguida de um tratamento com solução de NaOH a 15% pelo mesmo período

para promover seu inchamento. A pasta de papel resultante é mergulhada em 1,5 L de água em temperatura ambiente para a formação da lamínula, seguindo o método de "fabricação de papel por tela plana".

Para padronizar a disposição das fibras, elas são trançadas em um suporte de madeira antes de serem inseridas na tela sem pressão excessiva, garantindo uma distribuição uniforme no papel. No caso da mistura com bagaço, a fase esponjosa é triturada e incorporada à pasta celulósica na proporção de 1:2.

Após a secagem, o papel é prensado hidraulicamente com 12 toneladas de força para melhorar a textura e a resistência. O material produzido apresentou boa firmeza, toque agradável e excelente absorção de tintas como apresentado na tabela 1. Embora um método inicial de extração das fibras tenha sido descontinuado por dificuldades operacionais, a técnica de Trituração e Mistura demonstrou maior viabilidade para produção em escala laboratorial.

Tabela 01: Prensagem do papel

papel primário		0,29 mm
papel 3T	0,14 mm	207% + fino
papel 6T	0,09 mm	322% + fino
papel 9T	0,06 mm	483% + fino
papel 12T	0,05 mm	580% + fino
papel 15T	0,04 mm	725% + fino
papel C/fibra trançada	0,28 mm	
papel C/fibra trançada 12T	0,07 mm	400% + fino
papel C/fibra Moída	0,17mm	
papel C/fibra Moída 3T	0,13 mm	130% + fino
papel C/fibra Moída 6T	0,09 mm	188% + fino
papel C/fibra Moída 9T	0,08 mm	212% + fino
papel C/fibra Moída 12T	0,06 mm	283% + fino
papel C/fibra Moída 15T	0,04 mm	425% + fino

Fonte: Tabela produzida pelos autores (Bittancourt, et al. 2023)

Os estudos de Costa (2022), agregam que é possível obter o alvejamento da massa com soluções de hipoclorito de sódio sob aquecimento em um curto período. Para Worku (2023) palhas com alto teor de fibras possuem excelente capacidade de branqueamento e são facilmente convertidas em polpa, tornando-se uma alternativa viável para a produção de papel de alta qualidade.

Tecnologias ecologicamente corretas, como tratamentos enzimáticos, oferecem alternativas de baixo custo para o branqueamento de polpas. A xilanase é frequentemente empregada no pré-tratamento do branqueamento de polpa. Ela alivia as desvantagens dos resíduos agrícolas

reduzindo a quantidade de dióxido de cloro usada para fins de branqueamento em até 20%, sem afetar a qualidade da polpa. A poluição das plantas pode ser diminuída por meio da deslignificação de O₂, processos totalmente livres de cloro, tecnologias livres de cloro elementar, extração alcalina oxidativa, substituição de Cl₂ por ClO₂, usando diferentes pré-tratamentos e lavagem aprimorada da polpa (Worku et al., 2023).

Ambos os estudos (Bittancourt, 2023; Costa, 2022; Ratini, 2024) indicam que a fibra da cana-de-açúcar apresenta alta qualidade, pureza elevada e é biodegradável, resultando em um papel 100% reciclável. O papel produzido leva aproximadamente 18 meses para se decompor e requer uma quantidade reduzida de produtos químicos em sua fabricação, dispensando processo intensivos de branqueamento.

A fabricação de papel com fibras alternativas contribui para uma produção mais sustentável e menos prejudicial ao meio ambiente. As plantas utilizadas para a fabricação de papel e celulose podem crescer em solos de baixa qualidade e pouca água, além de ser uma estratégia para reduzir a dependência de árvores, reduzindo o desmatamento ajudando a preservar as florestas naturais reduzindo o impacto na indústria papeleira.

Resíduos agrícolas, como cânhamo e bagaço de cana-de-açúcar, apresentam maiores concentrações de celulose e menores níveis de lignina recalcitrante quando comparados à biomassa lenhosa média, e também apresentam maiores taxas de crescimento anual quando comparados às árvores (Worku, 2023).

A bananeira, conhecida cientificamente como *Musa spp.*, é uma planta herbácea monocotiledônea (Mendes, 2024). No Brasil, devido ao seu clima tropical, a banana é um produto abundante (Rodrigues, 2023). O país produz cerca de 6,6 milhões de toneladas dessa fruta anualmente, sendo o 4º maior produtor mundial (EMBRAPA, 2025).

As melhores variedades para a extração de fibra são a prata e a caturra (nanica). O ciclo de cultivo dessas bananeiras dura cerca de nove meses até o florescimento, seguido por mais três meses e meio até a colheita. A fibra só pode ser extraída após a planta produzir frutos, pois seu ciclo de vida é curto, e a fibra se desenvolve nesse estágio (Rodrigues, 2023).

As partes da bananeira com maior concentração de celulose, e, portanto, mais adequadas para a produção de papel, são o engaço (estrutura que sustenta o cacho de bananas), o talo e o pseudocaule (formado pelas folhas sobrepostas que sustentam a planta) (Kavitha, 2021; Rodrigues, 2023). A quantidade de fibra extraída corresponde a 7% a 8% do peso bruto da bananeira. Apesar do alto potencial produtivo da espécie, sua extração não ocorre comercialmente, sendo feita apenas de forma artesanal (Rodrigues, 2023).

De acordo com Kavitha (2021), há diversas máquinas disponíveis no mercado para a extração da fibra da bananeira, inclusive na Índia. No entanto, a qualidade da fibra obtida por esses equipamentos ainda não é ideal. O método manual, embora mais demorado e com um custo elevado de mão de obra, permite a obtenção de fibras com propriedades mecânicas superiores.

A fibra da bananeira é conhecida por sua alta resistência, leveza, flexibilidade e resistência ao fogo, sendo viável também para produção de têxteis. Possui grande capacidade para absorção de umidades e biodegradabilidade. Com grande potencial para produção de papel, está sendo empregada na fabricação de cédulas de dinheiro na Alemanha e sendo testada na Índia (Kavitha, 2021).

O estudo de Mendes (2024), mostra que o processo de produção do papel envolveu etapas de cozimento, maceração, mistura e secagem, seguidas por um teste de qualidade para verificar a durabilidade e segurança do material produzido, mostrando a eficácia do produto e contribuindo para sustentabilidade.

Kivitha (2021), investigou a fibra de bananeira como material resistente, destacando sua combinação com fibras de algodão ou sintéticas para compósitos. Durante a extração da fibra, geram-se resíduos lignocelulósicos, que, se descartados inadequadamente, podem afetar o meio ambiente.

A pesquisa analisou as propriedades químicas e morfológicas da fibra extraída (EBF) e dos resíduos (WBF), observando que a WBF contém menos α -celulose e mais lignina, além de fibras mais longas. A polpação, com diferentes concentrações de álcali e tempos de cozimento, apresentou um rendimento de 35,9% após 120 minutos de cozimento com 8% de carga alcalina. Os resultados mostraram que, embora a WBF tenha propriedades mecânicas inferiores à EBF, ela ainda é adequada para a produção de papel artesanal.

O bambu (*Bambusa vulgaris*) destaca-se como uma gramínea de caule lenhoso amplamente explorada em diversos setores, incluindo a produção de polpa celulósica. Suas fibras possuem propriedades físico-químicas favoráveis e alta resistência mecânica, tornando-se uma alternativa viável para aplicações industriais (Da Silva Nunes et al., 2021; Santos, 2023). Segundo Cunico (2021), suas características estruturais conferem desempenho mecânico comparável ao da madeira de pinus e superior ao do eucalipto, o que reforça seu potencial para a fabricação de papel e outros derivados celulósicos.

A composição do bambu inclui uma quantidade significativa de carboidratos, fundamentais para a formação da celulose (Kumabe, 2021; Santos 2023), além de lignina, responsável por conferir rigidez às fibras. Suas células apresentam paredes espessas e lúmen reduzido, características que melhoram sua resistência, conferem maior uniformidade estrutural e proporcionam boa

compressibilidade e rigidez. O comprimento das fibras pode variar entre 2 mm e 4 mm, o que contribui para sua versatilidade na indústria de papel e embalagens (Santos, 2023).

Devido à sua alta concentração de celulose, combinada com o baixo teor de lignina e o comprimento considerável de suas fibras, o bambu se destaca como matéria-prima de qualidade para a fabricação de papel. Essa combinação resulta na produção de polpas com elevada resistência mecânica, além de preservar a integridade das fibras durante o processo de cozimento (Da Silva Nunes, et al., 2021; Santos, 2023).

Santos (2023), determinou os procedimentos utilizados para determinar as dimensões das fibras do bambu e avaliar sua qualidade como matéria-prima para a produção de papel em sua pesquisa. O processo inclui preparação das amostras, individualização das fibras, polpação kraft e análise das características das fibras.

Fragments de bambu foram extraídos no sentido longitudinal e submetidos a uma solução de peróxido de hidrogênio e ácido acético (1:1), aquecidos a 60°C por 48 horas, para individualizar as fibras. Após a maceração, as amostras foram lavadas, coradas com Safranina, e montadas em lâminas com glicerina para análise microscópica. Foram analisadas 100 fibras por material, e os índices de qualidade da fibra, como Índice de Runkel (IR), Coeficiente de Flexibilidade (CF), Índice de Enfletramento (IE) e Fração Parede (FP), foram calculados para prever as propriedades do papel.

A polpação kraft foi realizada com diferentes cargas de álcali (NaOH), variando entre 11% e 25%, visando a obtenção de polpas branqueáveis (número kappa $18 \pm 5\%$) e não-branqueáveis (número kappa $58 \pm 5\%$). Os parâmetros do processo de cozimento foram: sulfidez de 32%, relação licor/biomassa de 4:1, e temperatura máxima de 150°C. Após o cozimento, as polpas foram lavadas, centrifugadas e desagregadas para análise posterior.

Já para os estudos de Da Silva Nunes et al., mostrou que a lavagem repetida das amostras de bambu triturado com hidróxido de sódio foi mais eficaz na remoção de compostos amorfos, como lignina e hemicelulose, quando comparado à lavagem única. Com quatro lavagens, os teores de lignina e hemicelulose nas amostras diminuíram, resultando em um aumento significativo no rendimento da polpa celulósica (de 63,26% para 78,88%). Além disso, o processo de branqueamento também aumentou o teor de celulose, com as amostras tratadas três vezes atingindo 88,33% de celulose.

As análises de FTIR e raio-X confirmaram a redução da lignina e hemicelulose, bem como o aumento da cristalinidade e da alfa-celulose. A estabilidade térmica das amostras foi observada por meio da análise TGA, com perda de massa significativa durante a decomposição térmica.

Ambas as pesquisas destacam que a polpação do bambu é uma alternativa eficiente e ambientalmente sustentável para a produção de polpa celulósica, com grande potencial para substituir

outras fontes de celulose. O controle rigoroso do processo de polpação kraft, aliado às características favoráveis das fibras de bambu, possibilita a obtenção de polpas de alta qualidade, aprimorando significativamente as propriedades do papel final.

A utilização de fibras de coco na produção de papel oferece diversas vantagens, como biodegradabilidade, reciclagem, baixa densidade, propriedades mecânicas específicas e não abrasividade (Da Silva Almeida, 2022). De acordo com De Souza (2023), considera o material adequado para a fabricação de papel quando contém pelo menos 33% de celulose em sua composição, e, nesse caso, a casca de coco apresenta 35% de celulose, atendendo a esse requisito.

A pesquisa de Souza (2023) mostra que o processo de obtenção da polpa celulósica começa com o cozimento da matéria-prima triturada em soluções alcalinas de NaOH em diferentes concentrações (10%, 15% e 20%) por 90 minutos a 70°C, com agitação constante. Após o cozimento, as amostras foram lavadas em água corrente até atingirem pH neutro, removendo resíduos do licor negro, e secas a 105°C até peso constante. As fibras secas foram então resfriadas e pesadas para cálculo do rendimento e análise.

O branqueamento das amostras foi realizado em quatro etapas. O primeiro consistiu no uso de diferentes concentrações de reagentes aquecidos a 55°C por 90 minutos, com agitação constante. Após cada etapa, as amostras foram lavadas, secas e pesadas. As amostras passaram por dois branqueamentos adicionais, utilizando solução de peróxido de hidrogênio (16%) sob as mesmas condições, para avaliar o efeito de múltiplos tratamentos no rendimento da polpa. Ao final de cada etapa, as amostras foram novamente lavadas, secas e pesadas para determinar o rendimento final.

As fibras analisadas apresentaram um comprimento médio de 1050 µm, com paredes celulares consideradas espessas, medindo 5,6 µm, e um diâmetro médio do lúmen de 7,19 µm. O índice de Runkel, calculado em 1,52, indicou que as fibras possuem características moderadas, sendo classificadas como adequadas para a produção de papel.

O estudo de Da Silva Almeida (2022), avaliou diferentes métodos de tratamento do mesocarpo do coco para a obtenção de polpa celulósica e produção de papel. Inicialmente, o epicarpo foi removido manualmente, e o mesocarpo passou por um processo de secagem a 45 °C por 27 horas, seguido de Trituração até alcançar a granulometria desejada. A biomassa foi preparada a partir de 50 g de fibra do mesocarpo, resultando em uma densidade de 0,29 g/mL, sendo posteriormente hidratada para os tratamentos.

No tratamento I, a biomassa foi submetida ao cozimento com uma solução de NaOH a 2% por 30 minutos em panela de pressão, seguida de três lavagens e um processo de branqueamento com hipoclorito de sódio. Já no tratamento II, a biomassa foi apenas cozida em água por uma hora, com

uma única lavagem posterior. Os resultados demonstraram que o tratamento com NaOH possibilitou a obtenção de um papel mais flexível e de melhor qualidade, enquanto o tratamento sem o uso do reagente resultou em um papel seco e quebradiço. A eficiência do NaOH na remoção da lignina foi corroborada por estudos anteriores, que indicaram uma significativa redução desse componente quando submetido ao tratamento alcalino.

Os estudos corroboram a importância do controle dos processos de cozimento e branqueamento para a eficiência da polpação, destacando que a utilização de soluções alcalinas, como o NaOH, promove a degradação seletiva da lignina e hemicelulose, favorecendo a purificação das fibras celulósicas.

A palha de arroz possui uma superfície coberta por uma estrutura de tricomas, ceras hidrofóbicas e sílica. Essas características montam uma barreira que protegem a estrutura interna, dificultando assim o acesso à celulose. Para esta se tornar mais acessível, é necessário modificar a estrutura da palha, modificando a relação entre a lignina e a celulose. Este processo se torna possível através de tratamentos físicos, químicos, térmicos e biológicos. (Islam et al., 2023; Lai et al. 2023)

A fabricação de polpa de papel a partir da palha de arroz precisa ser economicamente viável (Bonato, 2021, Lai et al., 2023). Lai et al., (2023), sugere uma abordagem descentralizada, ou seja, produção em diferentes locais menores em vez de grandes fábricas centralizadas, podendo assim reduzir os custos, tornando o processo mais competitivo. Para ele, uma alternativa interessante seria a produção mecânica da polpa, que não requer sistemas de recuperação química. Esses sistemas são normalmente usados para reutilizar produtos químicos agressivos no processo tradicional de fabricação de papel, mas são caros e geram impactos ambientais, como a contaminação da água.

Os pesquisadores Lai et al. desenvolveram um método alternativo para melhorar o aproveitamento da celulose da palha de arroz, combinando pré-tratamento químico leve, com aquecimento a 85°C em solução de 10% de NaOH para quebrar a lignina, pré-tratamento enzimático, com aplicação de 0,2% de enzimas para tornar a celulose mais acessível, e refino mecânico, utilizando um batedor Hollander para separar as fibras. Esse processo resultou em uma polpa mecânica com propriedades físicas superiores à polpa de papelão reciclado (OCC) e foi testado com sucesso na produção de papel moldado.

O estudo relatado no texto propõe um novo método para produzir polpa biomecânica de palha de arroz, combinando processos mecânicos, químicos e biológicos com baixo uso de produtos químicos. O processo envolve um pré-tratamento térmico-alcalino, no qual a palha é amassada com um amassador de alta concentração e tratada com uma solução de NaOH (0-5%); um pré-tratamento enzimático, utilizando enzimas em concentrações de 0,2-4% para facilitar a separação das fibras; e

um refino mecânico, realizado no batedor Hollander para garantir melhor qualidade da polpa para aplicações industriais. As condições ideais de produção foram determinadas por um experimento baseado no delineamento fatorial 2², um método estatístico que testa diferentes combinações de variáveis para encontrar o melhor resultado.

O realizado estudo por Lai et al. (2023), analisou o impacto da dosagem de hidróxido de sódio (NaOH) e enzimas na resistência do papel produzido a partir da palha de arroz, considerando os índices de tração, ruptura e esmagamento do anel. Os resultados mostraram que o fator NaOH (A) teve o maior impacto nessas propriedades, seguido pela enzima (B) e pela interação entre ambos (AB), sendo que os valores positivos dos efeitos indicam que doses maiores de NaOH melhoraram a resistência do papel.

Mantendo a mesma dosagem de enzima, o aumento na quantidade de NaOH resultou em melhora de 61,4%–148,4% no índice de tração, 84,0%–90,8% no índice de ruptura e 22,5%–38,5% no índice de esmagamento do anel, pois a maior dosagem de NaOH otimizou a formação do papel e a ligação entre as fibras, tornando o material mais resistente para aplicações industriais, como embalagens, como apresentado na tabela 2.

Tabela 02: Resultado do planejamento fatorial para propriedades do papel da polpa de palha de arroz.

Fator	índice de tração (N·m/g)	índice de ruptura (kPa·m ² /g)	índice de esmagamento do anel (kgf·m ² /g)
Média =	20.778	1.085	9.680
Fator A =	13.788*	0,660*	2.559*
Fator B =	0,602	-0,051	0,594*
Interação AB =	4.173	0,003	0,662*
Valor avaliado	2.066	0,292	0,563
Desvio padrão combinado	0,163	0,023	0,044

O valor avaliado = $\pm ts/\sqrt{N}$.

A: Dosagem de NaOH (%), B: Dosagem de enzima (%).

*Impacto significativo.

Fonte: Tabela 02 realizada pelo grupo de estudo LAI, Yu-Hsun et al. 2023

De acordo com os estudos de Islam et al. (2023), a nanocelulose é um biomaterial ecológico e promissor devido às suas propriedades, como alta resistência mecânica, biodegradabilidade e facilidade de funcionalização. Seu uso é vantajoso por ser derivado de fontes renováveis, como a palha de arroz, um material abundante em diversas regiões produtoras.

Nos últimos anos, a demanda por materiais biodegradáveis tem crescido significativamente, principalmente nas indústrias de embalagem de alimentos e papel, onde há uma preocupação crescente com a sustentabilidade. Nesse contexto, nanocompósitos à base de nanocelulose surgem como

alternativa promissora para substituir polímeros sintéticos derivados do petróleo, que são mais poluentes e de difícil decomposição. Assim, a nanocelulose extraída da palha de arroz representa uma solução ecológica para a produção de materiais funcionais e biodegradáveis, atendendo à crescente necessidade por alternativas sustentáveis.

A primeira etapa na produção da nanocelulose é a separação das fibras de celulose, o que exige a remoção da lignina e de outros componentes da biomassa. Para isso, são utilizados diferentes métodos de polpação, como a polpação alcalina, que emprega hidróxido de sódio para dissolver a lignina, e a polpação organossolv, que utiliza solventes orgânicos para uma separação mais seletiva e sustentável.

Embora a nanocelulose da palha de arroz tenha grande potencial, sua produção em escala industrial ainda enfrenta desafios, sendo o principal deles o alto teor de sílica presente na palha (Islam et al., 2023; Lai et al., 2023). Esse fator dificulta a recuperação dos produtos químicos usados na polpação e torna a extração e purificação da celulose mais complexas. No entanto, a presença de nano sílica na polpa organossolv pode trazer vantagens inesperadas, como atividade antimicrobiana e melhoria na permeabilidade ao vapor e gases, características essenciais para embalagens que exigem controle de umidade e oxigênio.

3.3 FIBRAS TÊXTEIS NA PRODUÇÃO DE POLPAS CELULÓSICAS E PAPEIS

A indústria têxtil é um dos setores mais impactantes ambientalmente, gerando milhões de toneladas de resíduos por ano, dos quais apenas 1% é reciclado (Yahaya, 2024). A maior parte desses resíduos acaba em aterros sanitários, colaborando com a poluição ambiental. A baixa taxa de reciclagem é agravada pela falta de sistemas eficazes de gestão e pela pouca conscientização pública sobre o reaproveitamento têxtil (Latawiec, 2022; Rahman, 2022; Srichola, 2023; Squillante, 2024; Yahaya, 2024).

Além disso, a produção têxtil envolve uma grande variedade de materiais, desde fibras naturais até sintéticas, sendo que estas últimas representam um desafio ambiental por não serem biodegradáveis e liberarem substâncias nocivas durante sua degradação (Latawiec, 2022; Squillante, 2024; Yahaya, 2024).

O desenvolvimento de soluções sustentáveis, como o reaproveitamento de tecidos na fabricação de papel, ainda é pouco explorado, mas pode contribuir para a redução do impacto ambiental da indústria têxtil (Latawiec, 2022; Srichola, 2023; Squillante, 2024; Yohaya, 2024).

O estudo de Yohaya (2024) explora a reciclagem de resíduos têxteis na fabricação de papel sustentável para embalagens. Diferentes fibras, como spandex, algodão, seda e lona, foram utilizadas

para criar um material resistente e durável devido as suas características como elasticidade, maciez, absorção e resistência ao papel. A metilcelulose foi usada como agente de ligação por suas propriedades ecológicas.

O processo artesanal envolveu o corte das fibras, a formação da polpa em um amassador, a moldagem das folhas, a prensagem e a secagem ao ar, evitando produtos químicos agressivos. Foram produzidas 50 folhas, mantendo a textura e cor naturais das fibras. O estudo reforça o potencial da reciclagem têxtil na economia circular e na redução de resíduos, destacando a viabilidade de alternativas sustentáveis na produção de papel.

Fibras como lycra, algodão, seda e lona foram utilizadas para proporcionar durabilidade e flexibilidade ao papel. A metilcelulose foi empregada como agente de ligação para garantir a coesão estrutural do material. O papel resultante apresentou resistência, elasticidade e textura agradável, sendo aplicável tanto no design funcional quanto no artístico, garantindo um material resistente e versátil.

O estudo de Yohaya (2024) concluiu que a reciclagem de resíduos têxteis sintéticos na fabricação de papel artesanal é uma alternativa sustentável e inovadora. Além disso, as descobertas proporcionadas no estudo abrem caminho para novas pesquisas e desenvolvimentos na indústria do artesanato e do design sustentável.

Apesar de o algodão atualmente ser quase totalmente destinado à indústria têxtil, historicamente ele já foi muito utilizado na fabricação de papel devido às suas características químicas favoráveis. O linter é uma fibra curta que permanece aderida à semente do algodão após a remoção das fibras mais longas utilizadas na fabricação de tecidos. Esse material, frequentemente descartado pela indústria têxtil, pode ser uma alternativa sustentável para a produção de celulose e papel (Kumabe, 2021; Rahman, 2022).

As características do linter o tornam útil para celulose e papel, pois possui um alto teor de celulose pura, baixo teor de lignina e impurezas e apresenta facilidade de processamento. Com a crescente demanda global por celulose e papel, é essencial buscar novas fontes de matéria-prima para atender ao mercado (Kumabe, 2021).

O estudo de Kumabe (2021) busca avaliar as propriedades físicas, químicas e anatômicas do linter residual de algodão, especificamente de três tipos, o Linter reciclado Blue 40, Linter reciclado Blue 30 e Linter alvejado 30. A análise dessas variações determinou quais tipos de linter são mais adequados para a produção de celulose e papel.

Os linters de numeração 30 apresentaram maior grau de refino em relação ao de numeração 40. As amostras foram fornecidas pela empresa Etex Industrial e Comercial Têxtil Ltda., localizada

em São Paulo – SP, que adquire retalhos de jeans e outros tecidos, desfibra o material e reaproveita os linters em diversas aplicações, como produção de papel, palmilhas de calçados, fibrocimento e itens da indústria automotiva.

Para análise, os linters foram triturados em moinho Wiley e peneirados para obter partículas entre 40 e 60 mesh. Segundo normas da TAPPI, foram conduzidos testes físico-químicos, incluindo solubilidade em NaOH (1% e 5%), solubilidade em água quente e fria, teor de extractivos, lignina Klason, holocelulose, cinzas e umidade, além da densidade aparente determinada por volume conhecido.

A caracterização das fibras utilizou um classificador Bauer McNett, com peneiras de diferentes aberturas, analisando amostras de 10 g em duplicata. A estrutura anatômica foi investigada a partir da confecção de folhas de papel (1 g/m^2), com análises microscópicas.

A polpação mecânica ocorreu em moinho Jokro Mühle (150 rpm), com cinco níveis de refino (4500 a 13500 revoluções), avaliando a viabilidade da formação de folhas de papel. O grau de refino foi medido pelo índice Schopper-Riegler.

A análise estatística seguiu um delineamento inteiramente casualizado, considerando três tratamentos e seis repetições. Foram aplicados os testes de Bartlett (homogeneidade das variâncias) e Shapiro-Wilk (normalidade dos dados), seguidos de ANOVA e teste de Tukey (5% de significância) para comparação das médias. As análises foram realizadas no software R, utilizando o pacote "ExpDes.pt".

A análise da composição química do linter de algodão revelou variações nos teores de holocelulose, extractivos, lignina e cinzas, devido à sua origem como resíduo têxtil. O alto teor de holocelulose encontrado foi superior ao de matérias-primas como bambu, pinus e eucalipto, indicando uma boa quantidade de polissacarídeos essenciais para a produção de papel.

Os valores de extractivos foram compatíveis com os de pinus e eucalipto, mas inferiores aos do bambu, o que é vantajoso para a produção de celulose, pois reduz o consumo de reagentes no processo. O baixo teor de lignina, inferior ao de outras fontes vegetais, favorece a obtenção de papéis finos, pois facilita o branqueamento e melhora a qualidade da celulose. O teor de cinzas, embora relativamente elevado, é aceitável para um resíduo de biomassa. Em relação à solubilidade em NaOH, os valores indicaram um comportamento similar ao do eucalipto.

O número Kappa dos linters avaliados mostrou que a polpa tem um bom grau de deslignificação, sendo especialmente favorável no tratamento "Alvejado 30", que apresentou melhor qualidade para a produção de papéis finos. As propriedades físicas e mecânicas, incluindo a densidade e o tamanho das fibras, indicaram que o material possui características adequadas para processamento

industrial. Assim, os resultados destacam o potencial do linter de algodão como uma matéria-prima viável para a fabricação de celulose e papel, principalmente para produtos de alta qualidade.

Apesar de sua ampla aplicação na indústria da moda, a viscose apresenta um grande impacto ambiental devido ao uso intensivo de produtos químicos e ao desmatamento para obter celulose. Derivada da celulose extraída da madeira ou do algodão, a viscose é obtida por um processo químico que envolve a dissolução da celulose em soda cáustica, seguida pela regeneração das fibras em um banho de ácido sulfúrico e sulfato de sódio. Suas principais características incluem maciez, bom caimento e alta absorção de umidade, tornando-a semelhante ao algodão e adequada tanto para uso puro quanto em misturas com outras fibras têxteis (Latawiec, 2022; Srichola, 2023).

Para produção do papel utilizando resíduos de viscose, Latawiec (2022) em seus estudos utiliza duas fórmulas com base em uma receita que visa etapas semelhantes com diferenças no tempo de molho e na inclusão do cozimento.

A fórmula 1 permaneceu em molho por 53 dias sem cozimento, enquanto a fórmula 2 foi neutralizada no terceiro dia e cozida por 30 minutos, totalizando 8 dias de molho. Em ambas, a soda cáustica foi utilizada para amolecer as fibras e neutralizada com vinagre. Após a liquidificação da mistura com papel picado, a massa foi diluída, peneirada, prensada e deixada para secagem natural, garantindo uniformidade ao papel produzido.

Ambas as fórmulas demonstraram viabilidade na produção de papel a partir de resíduos de viscose. A fórmula 1 manteve melhor a cor do material, porém exigiu um tempo de molho mais longo (53 dias). Já a fórmula 2 acelerou o processo com cozimento, reduzindo o tempo de molho para 8 dias, mas resultou em perda de qualidade na cor. Em termos de rendimento, 500g do material seco permitiram a produção média de 40 folhas no formato A4.

O papel produzido por Latawiec (2022), a partir de resíduos de viscose demonstrou versatilidade em gramatura, cor, resistência e aplicabilidade. A espessura variou conforme a quantidade de massa diluída na água, resultando em papéis mais grossos no início da produção e mais finos ao final. A coloração foi influenciada pelo tempo de molho e pelo cozimento, sendo que papéis cozidos apresentaram tons mais claros.

O material mostrou-se resistente, permitindo dobraduras, confecção de embalagens e etiquetas sem rasgos. Também teve boa aceitação para escrita, impressão, pintura e bordado. Além disso, a massa pode ser congelada para reutilização. Os resultados indicam que esse papel sustentável pode substituir materiais tradicionais em diversas aplicações, mas abre espaço para novas pesquisas e testes que analisem sua durabilidade e degradabilidade.

A reciclagem da seda é muito valorizada devido às suas propriedades biocompatíveis, biodegradáveis e mecânicas. Composta por sericina e fibroína, a seda passa por processos de pré-tratamento para adequação a diferentes aplicações. Na fabricação de papel, a fibroína pode ser dissolvida em matriz celulósica com solventes específicos (Lu et al., 2022; Squillante, 2024).

Lu et al. (2022) destacam o valor da reciclagem da seda devido às suas propriedades biocompatíveis e biodegradáveis, além de sua resistência mecânica, capacidade de modelagem, condutividade térmica diferenciada e isolamento elétrico. Reconhecida por sua resistência, maciez e elasticidade, a seda possui grande potencial de reaproveitamento em diversas áreas.

Nos estudos de Squillante (2024), desenvolveu-se uma formulação inovadora para produtos de papel, incorporando fibras de seda à celulose para criar alternativas sustentáveis aos plásticos. Os testes realizados comprovaram a viabilidade do reaproveitamento de resíduos de seda na produção de papéis para embalagens secundárias.

O estudo utilizou três tipos de fibras para formular folhas de papel, variando a proporção de seda e celulose. A seda passou por um pré-tratamento com NaOH para facilitar sua interação com a celulose. Após a produção das folhas, foram realizados testes destrutivos e não destrutivos para avaliar suas propriedades físico-químicas. Para verificação, foram analisadas folhas feitas apenas de celulose e outras com seda sem pré-tratamento. Os resultados foram repetidos para garantir a precisão dos dados.

A análise visual das amostras mostrou que, sem o pré-tratamento, a seda apresentava distribuição irregular na matriz celulósica. O tratamento com NaOH permitiu uma melhor integração entre os materiais, resultando em folhas homogêneas. A distribuição das fibras foi avaliada com ninhidrina e microscopia óptica, permitindo identificar diferentes tipologias de fibras dentro da estrutura do papel.

Testes qualitativos indicaram que o papel contendo seda era mais macio ao toque, uniforme, macio, resistente e com desempenho mecânico comparável ou superior ao da celulose pura.

As principais vantagens do uso de fibras de seda incluem sustentabilidade ambiental, redução de custos e melhoria na textura e aparência do papel, mantendo suas propriedades mecânicas. Essas formulações podem ser aplicadas na produção de embalagens secundárias para cosméticos e alimentos. Squillante (2024), apresenta a necessidade de estudos futuros para avaliar novas concentrações de seda, molhabilidade e viabilidade de produção em escala industrial com máquinas piloto.

3.4 DESCOLORAÇÃO E BRANQUEAMENTO DE RESÍDUOS TÊXTEIS

A indústria têxtil gera grandes volumes de resíduos em diferentes etapas de produção, sendo a fiação a maior responsável (12-14%), seguida pela costura (8-12%) e pela tecelagem (3%) (Abdujmajdov, 2023). A composição química é a principal fonte de resíduos coloridos, tornando essencial a separação e descoloração para viabilizar a reciclagem (Abdujmajdov, 2021; Tjhin, 2022). A reutilização desses resíduos reduz custos e minimiza impactos ambientais, reforçando a importância de práticas sustentáveis no setor têxtil (Abdujmajdov, 2023).

O estudo de Abdujmajdov (2023) utilizou métodos tradicionais de produção de papel para reciclar resíduos têxteis, papel descartado e celulose de algodão. A descoloração das fibras foi realizada com base no sistema de cromóforo de corante, permitindo a descoloração das fibras não ferrosas. A qualidade do papel resultante foi analisada por métodos físico-químicos, mecânicos e ópticos, garantindo sua viabilidade para diferentes aplicações, verificando a resistência, textura e aparência.

O estudo investigou o branqueamento e a descoloração de resíduos fibrosos da indústria têxtil para sua reutilização na produção de papel. Foram analisados métodos com oxidantes (hipoclorito de sódio) e agentes redutores (hidrossulfite de sódio), determinando-se as condições ideais para maximizar a branura sem comprometer a qualidade da celulose (Tjhin, 2022).

Como afirma Abdumajdov (2023), “sabe-se que sob a influência de oxidantes, a celulose é convertida em oxicelulose, como resultado disso sua taxa de polimerização diminui e a capacidade de formar uma folha de papel é perdida”, uma vez que o nível de polimerização for inferior a 700 não pode ser usada para fabricação de papel (Tofani, 2021).

A descoloração em dois estágios mostrou-se mais eficaz na remoção de corantes, embora reduza a polimerização. O estudo aponta que é o ideal para descoloração dos resíduos têxteis seja o uso de um agente descolorante, pois quebrará o sistema cromóforo sem causar danos ao sistema estrutural da celulose e manterá a resistência da fibra. Os resultados indicam que resíduos têxteis tratados podem ser aproveitados como matéria-prima na fabricação de papel sustentável.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A necessidade de preservação ambiental tornou urgente a ressignificação de materiais descartados sem aproveitamento na indústria. O volume de resíduos gerados diariamente, sejam de origem vegetal não madeireira ou têxtil, é muito elevado e necessita de soluções para melhor aproveitamento, promovendo empregos, rentabilidade e sustentabilidade.

A revisão literária permitiu a identificação de novos métodos para converter esses resíduos em papel, aproveitando a crescente demanda da indústria papeleira. O uso de celulose extraída de fibras não lenhosas e fibras têxteis surge como alternativa viável para ampliar a produção e reduzir custos.

Fibras como a da palha do arroz ainda carecem de patentes e outras exigem aprofundamento teórico e mais pesquisas. Essas fibras possuem alto teor de celulose e baixo teor de lignina, facilitando o branqueamento e reduzindo a necessidade de produtos químicos em comparação à madeira. No entanto, sua menor extensão pode impactar a resistência do papel, tornando necessária a mistura com outras fibras para manter a qualidade do produto final, no caso, o papel.

Além disso, a reciclagem de fibras têxteis para a produção de papel se apresenta como uma alternativa viável, desde que o processo de branqueamento seja cuidadosamente controlado, dando ênfase ao uso de agentes redutores, pois estes não causam danos a estrutura da celulose. Essa prática reduz a dependência de recursos naturais e incentiva a economia circular, mitigando o impacto ambiental das indústrias têxtil e papeleira.

REFERÊNCIAS

Abdumajidov, Anvar et al. Development of Methods for Discoloration and Bleaching of Textile Waste. In: e3s Web of Conferences. Edp Sciences, 2023. P. 03063.

Abdumajidov a. A., Miratayev a. A., Nabiyeva i. A., and Xusanov f. S. Improving the Quality of Secondary Fiber Raw Materials Studying a Process. *Academicia: an International Multidisciplinary Research Journal*, vol.11(10), pp.1669-1676. (2021)

AMODE, Noushra Shamreen; JEETAH, Pratima. Paper production from Mauritian hemp fibres. **Waste and Biomass Valorization**, v. 12, p. 1781-1802, 2021.

ASSIS, Adriana Helfenberger Coleto. **Processo de produção de celulose e de papel**. Editora Intersaberes, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL –BRACELPA.
Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. Disponível em: <<http://abtcp.org.br>>. Acesso em: 28 jan. 2025.

ASUNCIÓN, Josep. **Artes & Oficios. El papel: Técnicas y métodos tradicionales de elaboración**. Parramón Paidotribo, 2022.

BITTANCOURT, Arthur Justini; BEATO, Kainan Silvino; VIANA, Kauê Saraiva. Papel reciclado com fibras de Bagaço de cana-de-açúcar como reforço. 2023.

BONATO, Samuel Vinicius et al. Arroz, sua casca e potencial de reutilização: análise de três décadas da pesquisa científica. In: **Congresso de Administração, Sociedade e Inovação (13.: 2021: online). Anais [recurso eletrônico]**. Rio de Janeiro: [Universidade Federal Fluminense], 2021. 2021.

CAPITINA, Beatriz Valera et al. Avaliação da utilização de espectrometro UV/VIS na determinação do teor de lignina em polpa celulósica. **Revista Científica SENAI-SP-Educação, Tecnologia e Inovação**, v. 2, n. 3, p. 76-88, 2024.

COSTA, Barbara Santos. Diversificação das aplicações do bagaço de cana-de-açúcar e das cinzas provenientes de sua queima. 2022.

CUNICO, Nadine Ramos et al. Fibras vegetais para produção de polpa celulósica. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 11, p. 101930-101941, 2021.

DA SILVA ALMEIDA, Ingrid. **Estudo do potencial da fibra do Attalea speciosa Mart. ex Spreng. Para a produção de papel**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Pelotas.

DA SILVA, Isabelle Carvalho Ferreira; CARREIRA, José Carlos. DESIGN DE EMBALAGENS COM BIOMATERIAL.

DA SILVA NUNES, Marcelo Ramon et al. PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE POLPA CELULÓSICA DE BAMBU Guadua weberbauri: TECNOLOGIA. **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**, v. 8, n. 2, p. 217-232, 2021.

DANIELEWICZ, Dariusz. Industrial hemp as a potential nonwood source of fibres for European industrial-scale papermaking—a review. **Materials**, v. 16, n. 19, p. 6548, 2023.

DAVID, Agostinho Manuel; LINO, Gracinda. Breve Historial do surgimento do papel.

DE SOUZA, Maria Eduarda Santos et al. Obtenção de celulose a partir do aproveitamento de resíduos de coco (*Cocos nucifera Linnaeus*, 1753) para a produção de papel. **Revista Principia**, v. 60, n. 1, p. 1-20, 2023.

ISLAM, Makdud et al. Rice straw as a source of nanocellulose for sustainable food packaging materials: a review. **BioResources**, v. 18, n. 1, p. 2351, 2023.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. Relatório 2024. 60 p. Disponível em: <https://iba.org.com.br>

Kavitha, V., & G, A. (2021). A Review on Banana Fiber and Its Properties. *Asian Journal of Pharmaceutical Research and Development*, 9(3), 118–121. <https://doi.org/10.22270/ajprd.v9i3.956>

KUMABE, F. J. B.; SANSÍGOLO, C. A.; HOMCZINSKI, I. LINTER RECICLADO DE ALGODÃO: ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL PARA A PRODUÇÃO DE CELULOSE E PAPEL. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 33, n. 2, p. 156–163, 2021. DOI: 10.24278/2178-5031.202133204. Disponível em: <https://rif.emnuvens.com.br/revista/article/view/24>. Acesso em: 2 fev. 2025.

LAI, Yu-Hsun et al. Desenvolvimento de polpa de palha de arroz biomecânica por amassadeira de alta consistência com aquecimento térmico e alcalino. **Heliyon**, v. 9, n. 9, 2023.

LATAWIEC, Dr^a Agnieszka Ewa. **Transformando lixo têxtil em papel através de releitura da técnica milenar chinesa**. 2022. Tese de Doutorado. PUC-Rio.

LEAL, Luana Mikaela Alves Miranda et al. Araruta: produção e beneficiamento. 2023.

Lu L., Fan W., Ge S., Liew R. K., Shi Y., Dou H., Wang S., Lam S. S., 2022, Progress in recycling and valorization of waste silk, *Science of the Total Environment*, Volume 830, 154812.

MARIA DE CASTRO, Cristina; PRIES DEVIDE, Antonio Carlos. Produção de Maranta arundinacea e Myrosma cannifolia em sistema agroflorestal. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 16, n. 4, 2021.

MENDES, Anna Clara Peres Porto et al. Embalagens biodegradáveis para fast-food produzidas por meio do pseudocaule da *Musa* spp. 2024.

ONU Brasil. ODS - Agenda 2030. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/12>. Acesso em: 2 fev. 2025.

OPPERSKALSKI, S. Preferred Fiber and Materials Market Report 2021. Textile Exchange, 2021.

Produção de cana-de-açúcar na Safra 2024/25 sofre redução devido a condições climáticas adversas. CONAB, 28 nov. 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias>. Acesso: 06 mar. 2025.

RAHMAN, Sadikur; UDDIN, Ahmed Jalal. Unusable cotton spinning mill waste: A viable source of raw material in paper making. **Heliyon**, v. 8, n. 8, 2022.

RATINI, Emily Fernanda da Silva et al. O potencial da cana-de-açúcar na fabricação de balas de goma e embalagens sustentáveis. 2024.

RODRIGUES, Rita Lages et al. Da fibra ao papel: o papel artesanal nas artes e o pioneirismo feminino.

SANTOS, Andreza Rafaella Carneiro da Silva et al. **Caracterização tecnológica de espécies de bambu visando a produção de polpa celulósica**. 2023. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SANTOS, Maryana Rogéria dos et al. Biotechnology in Food Packaging Using Bacterial Cellulose. **Foods**, v. 13, n. 20, p. 3327, 2024.

SANTOS, Regina Ávila; JORGE, Marco Antônio; DE FREITAS VIAN, Carlos Eduardo. Institucionalização e cadeia produtiva do cânhamo industrial. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 56, n. 1, p. 27-46, 2025.

SASAMORI, Ana Miyuki et al. Influência do tipo de lignina na caracterização de compósitos poliméricos com fibra natural. **Simpósio sobre Sistemas Sustentáveis (6.: 2021:[On-line]). Anais: volume 4: sustentabilidade. Toledo, PR: GFM, 2021.**, 2021.

SQUILLANTE, FLAVIA ROSA et al. The Upcycling of Natural Waste Materials: Alternative Fibers in Papermaking. **Chemical Engineering Transactions**, v. 109, p. 49-54, 2024.

Tjhin V., Riantini R., and Windihastuty W. Utilization of Digital Technology in Managing Fabric Waste into Garments. In Proceedings of the 4th International Conference of Economics, Business, and Entrepreneurship, ICEBE 2021, 7 October 2021, Lampung, Indonesia. (2022).

Tofani G., de Nys J., Cornet I., and Tavernier S. Alternative filler recovery from paper waste stream. Waste and Biomass Valorization, Vol.12, pp.503-514. (2021).

Worku LA, Bachheti A, Bachheti RK, Rodrigues Reis CE, Chandel AK. Agricultural Residues as Raw Materials for Pulp and Paper Production: Overview and Applications on Membrane Fabrication. **Membranes**. 2023; 13(2):228. <https://doi.org/10.3390/membranes13020228>

YAHAYA, Siti Rohaya et al. Recycling Textile Waste For Craft Industries: An Experimental Approach to Eco-Friendly Papermaking. **Environment-Behaviour Proceedings Journal**, v. 9, n. SI23, p. 297-304, 2024.