

PRODUÇÃO DE PAPEL A PARTIR DO MESOCARPO DO COCO VERDE

Camila Taís Menslin

camila.m01@aluno.ifsc.edu.br

Guilherme Penteado Dominguez

guilherme.pd2005@aluno.ifsc.edu.br

Gustavo Vinicius Wolter

gustavo.v16@aluno.ifsc.edu.br

Henrique André Mueller

henrique.m2006@aluno.ifsc.edu.br

Silvio Bryan Santana Padilha

silvio.sp@aluno.ifsc.edu.br

Clodoaldo Machado

clodoaldo.machado@ifsc.edu.br

RESUMO

O descarte do coco verde (*Cocos nucifera* L) em lixões e aterros sanitários acaba ocupando um grande espaço e gerando resíduos que poderiam ser aproveitados mais eficientemente. Estes descartes realizados em lixões e aterros também podem ocasionar a proliferação de doenças. O coco verde tem potencial para ser utilizado na produção de papel devido ao teor de celulose presente na fibra do mesocarpo. Portanto, este trabalho propõe a produção de folhas de papel utilizando a celulose presente no mesocarpo do coco verde, visando o reaproveitamento do coco, diminuindo os impactos ambientais do descarte deste. Os métodos químicos utilizados na realização da fase laboratorial deste trabalho foram a deslignificação, utilizando uma solução 5% de NaOH, e o branqueamento, com diferentes concentrações de NaOH e H₂O₂. Após o aprimoramento das técnicas de confecção, as folhas seguintes apresentaram características mais refinadas e próximas do desejado. Testes físicos com amostras das folhas fabricadas utilizando um dinamômetro apresentaram resultados de resistência à tração diversificados, de acordo com as características de cada folha. Contudo, foi possível observar que em alguns casos a resistência se aproxima das folhas comercializadas, apontando para a viabilidade deste reuso do mesocarpo do coco verde.

Palavra-chave: Coco verde. Mesocarpo. Papel. Polpa celulósica. Reuso.

Abstract

*Disposal of green coconuts (*Cocos nucifera* L) in landfills and dumps takes up significant space and generates waste that could be utilized more efficiently. Such disposals can also lead to the proliferation of diseases. Green coconut has the potential to be used in paper production due to the cellulose content present in their mesocarp fiber. Therefore, this study proposes the production of paper sheets using the cellulose from the mesocarp of green coconuts, aiming to reuse the coconut and reduce the environmental impacts of its disposal. The chemical methods used in the laboratory phase of this work included delignification with a 5% NaOH solution and bleaching, with different concentrations of NaOH and H₂O₂. After improving the production techniques, the subsequent sheets presented more refined characteristics and were closer to the desired quality. Physical tests conducted with samples of the manufactured sheets using a dynamometer showed varying tensile strength results, depending on the characteristics of each sheet. However, it was possible to observe that, in some cases, the tensile strength approached that of commercial papers, indicating the feasibility of reusing the mesocarp of green coconuts.*

Keywords: Green coconut. Mesocarp. Paper. Cellulosic pulp. Reuse.

1 INTRODUÇÃO

Com o acelerado crescimento populacional e urbanização de cidades litorâneas, o consumo de coco verde tem se tornado cada vez mais acentuado, principalmente em praias e durante o verão. No entanto, a casca do coco verde ainda é muito depositada em lixões e aterros sanitários, ocupando espaço e gerando resíduos que poderiam ser melhor aproveitados (CARDOSO, GONÇALEZ, 2016).

O Brasil, por ser um dos maiores produtores de coco do mundo, 2.759.044 toneladas de coco em 2008 (CUENCA *et al*, 2021), com uma produção que está em crescimento, também é um dos maiores consumidores de coco. No Nordeste, a produção de coco em 224.918 hectares gera 729 mil toneladas de casca (NUNES, 2021).

Devido a grande quantidade de casca gerada, surgem diversos problemas ambientais, como:

- O espaço ocupado em aterros e lixões: 125 cocos descartados irão ocupar cerca de 1 m³ de área (CINTRA, 2009 *apud* SILVA, 2014);
- O tempo de decomposição da casca do coco verde: que demora cerca de 12 anos para se decompor completamente (SILVA, 2014);
- A proliferação de doenças como dengue: já que ocorre o acúmulo de água da chuva quando o coco é descartado aberto na forma de duas bandas ou com apenas uma perfuração (ROSA, 2002 *apud* SILVA, 2014).

Problemas que poderiam ser evitados caso houvesse uma destinação mais adequada para o resíduo do coco verde. Portanto, este trabalho visa reutilizar o coco, especificamente o mesocarpo, para a produção de papel, uma vez que é sabido que esta parte do fruto possui uma alta concentração de celulose, matéria prima fundamental para a fabricação de papel.

2 METODOLOGIA

Para a execução das etapas experimentais, foram utilizados os materiais e métodos descritos a seguir.

2.1 MATERIAIS

Equipamentos laboratoriais utilizados: agitador mecânico; balança analítica; chapa de aquecimento; estufa de circulação de ar forçada; liquidificador; moinho de facas; paquímetro; sistema de resfriamento improvisado; vidrarias diversas. A matéria prima foi obtida a partir

da compra em comércios locais, e os reagentes utilizados foram: amido; hidróxido de sódio (NaOH); peróxido de hidrogênio (H₂O₂).

2.2 MÉTODOS

Para a obtenção da celulose presente no mesocarpo do coco verde, foram empregados processos de trituração, deslignificação e branqueamento. Para a diminuição do tamanho das fibras, utilizaram-se moinho de facas e liquidificador. Em relação ao processo de formação das folhas de papel, foi realizado com o auxílio de uma tela com tecido voal. Todos esses procedimentos estão descritos na sequência.

2.2.1 Obtenção e refino da fibra

A porção rica em fibras e celulose do coco verde é seu mesocarpo, identificado na figura 1. Para a obtenção dessa parte, foi feita uma separação manual com o auxílio de facas de cozinha, fazendo o descarte do endocarpo e epicarpo. Posteriormente, o material obtido foi levado à estufa numa temperatura de 60 °C, por cerca de 48 horas.

Com o intuito de aumentar a área superficial da fibra em contato com os reagentes químicos utilizados nos próximos processos, foi feito o refino com auxílio do moinho de facas e liquidificador. A granulometria obtida foi de fibras de 2 a 4 cm de tamanho, junto de uma porção de um fino pó.

Figura 1 - Anatomia do coco verde



Fonte: BENASSI, 2006.

2.2.2 Deslignificação

O processo de deslignificação foi feito a partir de uma solução de NaOH 5% sob aquecimento e agitação, com temperatura de aproximadamente 85 °C durante duas horas, junto da fibra refinada. A proporção de reagentes utilizados para 1 g da fibra foi de: 8 mL da solução de hidróxido de sódio 5% e 28 mL de água, de acordo com a metodologia adaptada de Souza *et al.* (2021). Ao final do processo, é perceptível a presença de uma coloração escura na solução, devido a presença do licor negro.

O material obtido foi filtrado em peneiras comuns para separação do licor negro, e então lavado com água abundante até se obter pH em torno de 7, medido com auxílio de papéis indicadores, visando retirar toda base ainda presente na fibra. O resíduo gerado (licor negro), que foi separado, foi tratado com algum ácido disponível no laboratório para neutralizar os restos de NaOH presentes, viabilizando assim o seu descarte.

2.2.3 Branqueamento

Para obter uma coloração mais branca na fibra, foram realizadas algumas etapas de branqueamento com diferentes concentrações de NaOH e H₂O₂, seguindo a metodologia que foi adaptada de Zandonai *et al.* (2018). A que melhor se destacou foi a que possuiu concentrações de: 16 mL de NaOH 5% e 2,7 mL H₂O₂ 40%, por grama de fibra deslignificada. A reação foi feita sob agitação, observando-se a formação de espuma em grande quantidade, isto por conta da decomposição do peróxido de hidrogênio. O fenômeno era ainda mais intenso em temperaturas elevadas, por conta da energia de ativação associada. Para controlar esse eventual problema, foi utilizado um borrifador com álcool etílico 70%, que reduzia as bolhas da espuma, ou então era realizada a diminuição da temperatura da solução com auxílio de um banho de gelo. Ao final do processo, a fibra obtida foi novamente filtrada, de mesmo modo ao descrito após a deslignificação.

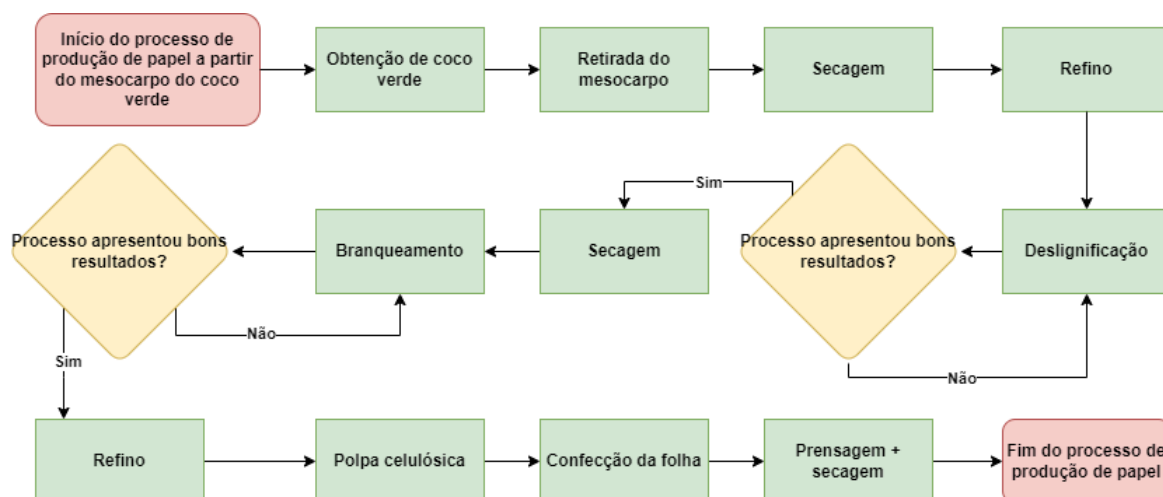
2.2.4 Confecção da folha

Neste processo foi utilizado a tela de tecido voal, presa a uma moldura de madeira com dimensões aproximadas de 21 x 29,7 cm (A4). Neste processo, a fibra, umedecida, era despejada sobre a tela, uniformizada sua distribuição manualmente com auxílio de espátulas. Então, deixando em repouso, iniciava-se o processo de secagem, já que a água atravessava o tecido voal. No decorrer da pesquisa foi constatado que o método que apresentou melhor resultado foi o de peneiração da fibra em um meio aquoso, em que a matéria orgânica ficasse

dividida uniformemente na área da tela. Vale ressaltar que antes de passar a celulose na tela, foi colocada a massa requerida num liquidificador com água morna, com o intuito de refinar mais a fibra e auxiliar na solubilização da celulose.

O processo de secagem foi realizado de forma natural, sem o uso de estufas, secadores ou equipamentos térmicos, apenas deixando a tela de tecido voal com a fibra em um local arejado e sem umidade. Após a secagem, na maioria dos casos, apresentavam-se irregularidades no formato da superfície da folha. Com o intuito de melhorar o aspecto do produto, foi feita a umidificação do papel utilizando álcool 70%. Isso ocasionou uma maior maleabilidade, o que facilitou a correção das irregularidades a partir de prensagem com duas superfícies de madeira e peso na parte superior do aparato improvisado. Na Figura 2 é possível observar um fluxograma contendo todos os processos realizados, desde a obtenção da matéria prima, até a finalização do papel.

Figura 2 - Fluxograma dos processos realizados para obtenção das folhas de papel.



Fonte: os autores (2024).

2.2.5 Análise das folhas

Com as folhas já fabricadas, procedemos à análise e comparação com uma folha de papel comercial. No início da pesquisa, as folhas fabricadas apresentavam características muito distintas das desejadas, exibindo uma coloração amarronzada e uma superfície áspera, perceptíveis tanto visualmente quanto ao toque, devido a essas imperfeições. Após aprimoramentos nas técnicas de fabricação e, principalmente, alteração na concentração de reagentes, foram obtidas folhas que se assemelham fisicamente às folhas de papel padrão A4 comercial, com uma espessura ligeiramente maior e apresentando pequenas ranhuras e deformações em sua superfície.

2.2.5.1 Gramatura

Cada folha produzida possuiu gramatura distinta e também não são, em geral, totalmente uniformes. O cálculo da gramatura foi feito utilizando o valor de massa da folha (em gramas), pela área da tela utilizada na confecção dos papéis, que é de 623,7 cm² (mesma área de uma folha A4). A unidade de medida utilizada foi a de g/m² devido sua utilização na indústria e por estar de acordo com o Sistema Internacional de Unidades (SI).

2.2.5.2 Resistência à tração

Para realizar as análises de resistência à tração foi utilizado o dinamômetro da marca MAQTEST, disponível no Câmpus Jaraguá do Sul - Centro do IFSC. Para cada folha testada, foram utilizadas 4 tiras de 5 cm de largura por 21 cm de comprimento. Na realização dos testes foram utilizadas tiras dos nove papéis fabricados, além de tiras de papel A4 comercial, seguindo uma metodologia adaptada da norma T 494 om-01 com auxílio de um servidor capacitado do câmpus (TAPPI, 2006).



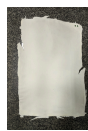





2.2.5.3 Espectroscopia de Infravermelho

Com os papéis já confeccionados, foi realizada uma análise no equipamento de infravermelho (modelo Spectrum Two - PerkinElmer), também presente no Instituto Federal. No ensaio, foram utilizadas duas amostras de papel. O procedimento foi realizado com o auxílio externo de um técnico de laboratório e um professor.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As nove folhas de papel confeccionadas são mostradas na Tabela 1, junto de suas respectivas massas e porcentagem de amido utilizada na fabricação. A folha considerada ter a melhor aparência é a 3A, confeccionada com 4,5% de amido e 4,72 g de material. Esta folha possui boa flexibilidade ao toque, uma superfície mais uniforme do que as outras e coloração próxima do branco de folhas comerciais. Cada folha apresenta diferenças visuais perceptíveis em seus relevos devido ao modo de confecção utilizado, que foi totalmente manual.

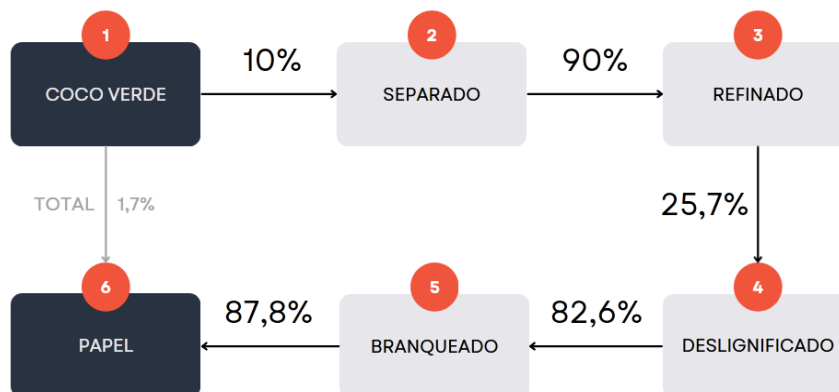
Tabela 1 - Folhas produzidas e suas características.

Denominação	A4	1	2	3	4	5	1A	2A	3A	4A
Imagem da folha	-							-		
Massa (g)	4,67	2,49	8,81	5,93	3,85	6,26	4,30	3,76	4,72	4,20
Amido (%)	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,00	2,00	4,50	4,50
Gramatura (g/m ²)	75,00	39,84	140,96	94,88	61,60	100,16	68,80	60,16	75,52	67,20

Fonte: os autores (2024).

Considerando os resultados obtidos, é possível calcular o rendimento médio de cada etapa e do processo de produção de papel como um todo. A Figura 3 demonstra processos de fabricação de papel utilizados e seus respectivos rendimentos.

Figura 3 - Fluxograma de rendimentos obtidos na produção do papel.



Fonte: os autores (2024).

No qual:

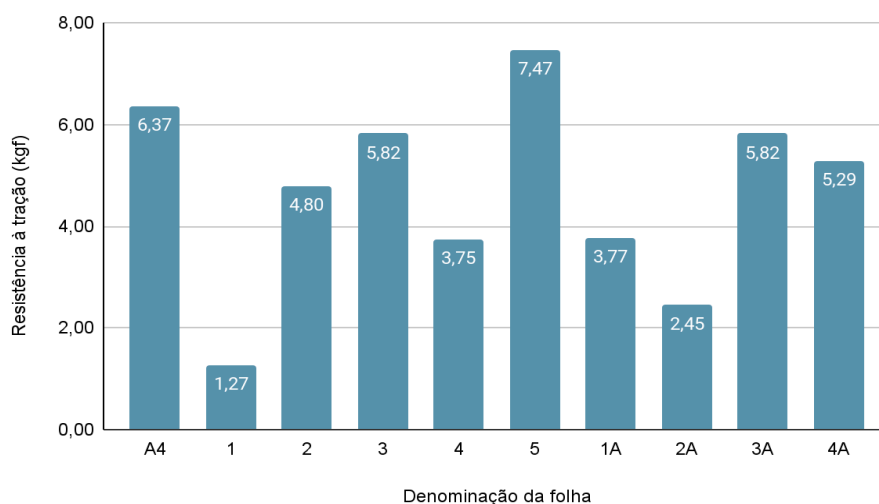
- 1) Coco verde *in natura*.
- 2) Mesocarpo separado e seco.
- 3) Mesocarpo refinado e pronto para processos químicos.
- 4) Matéria-prima deslignificada.
- 5) Matéria-prima branqueada.
- 6) Folha de papel obtida.

O menor valor de rendimento associado ao processo todo, desconsiderando a separação do mesocarpo, é o da deslignificação (25,7%), visto que grande parte do coco verde é composto de lignina (45%) e outros extratos, enquanto o teor de celulose é de cerca de 35% (SENHORAS, 2003). A partir do conhecimento do teor de celulose, é possível perceber que houve, muito possivelmente, degradação de parte do material celulósico que havia na fibra, sugerindo, assim, que a diminuição da concentração dos reagentes seja uma alternativa para uma melhora do processo. Ainda, o rendimento total foi de apenas 1,7% de aproveitamento para a produção das folhas. Porém, deve-se lembrar que no procedimento da confecção da folha (manual), uma quantidade significativa de celulose foi perdida, o que não aconteceria, idealmente, numa escala industrial.

3.1 TESTE DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

A partir dos testes de resistência à tração, realizados com 4 amostras de cada folha, foi possível determinar o valor médio da resistência à tração para cada folha produzida e para a folha sulfite A4. Os resultados estão sintetizados na Figura 4.

Figura 4 - Resistência à tração das folhas de papel produzidas e de uma folha de papel sulfite A4.

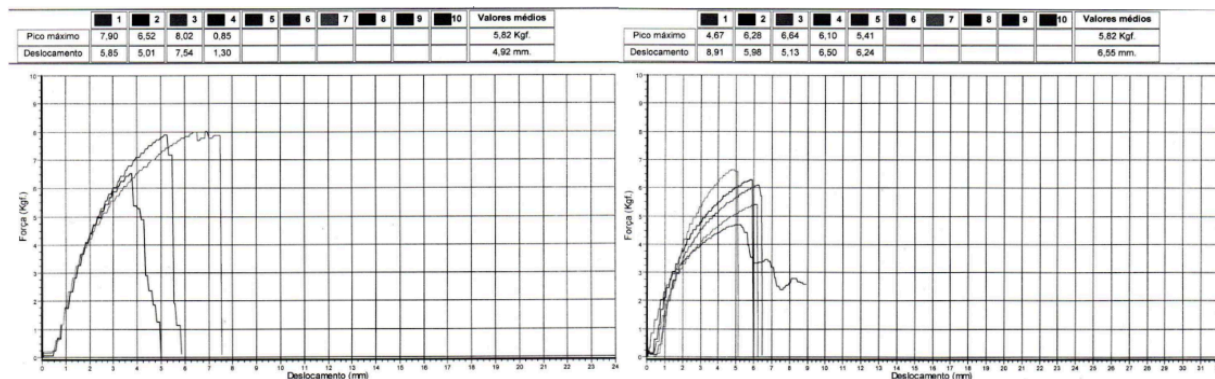


Fonte: os autores (2024).

Analisando os resultados, é possível observar que uma das amostras apresentou uma resistência à tração maior que a folha de Sulfite A4 comercial, que foi a amostra 5. Já as folhas 3 e 3A apresentaram resistência à tração apenas 8,6 % menor que a folha de papel sulfite A4, sendo que os resultados dos ensaios foram mais discrepantes entre si para a amostra 3 que a amostra 3A, como pode ser visto na figura 5. Ou seja, há uma maior precisão

na determinação do valor de resistência à tração da folha 3A. Podemos então comparar as resistências à tração com a gramatura de cada folha (dados presentes na Tabela 1), já que deve haver uma correlação entre estas duas propriedades.

Figura 5 - Teste de resistência da amostra 3 e 3A, respectivamente.



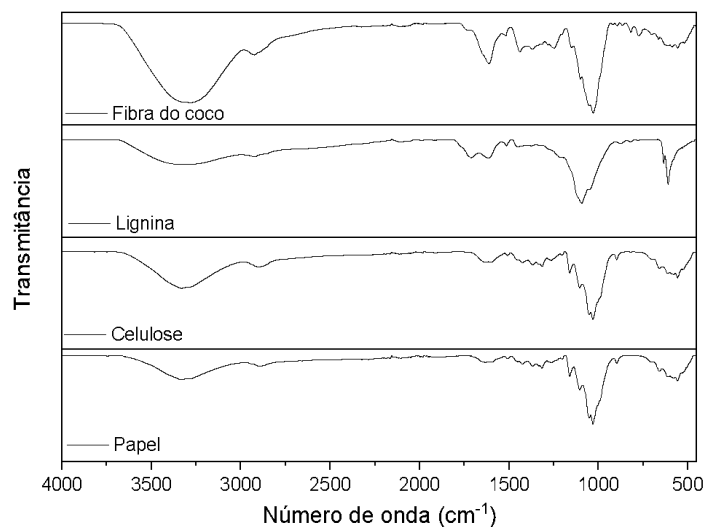
Fonte: os autores (2024).

Assim, a maior resistência apresentada pela folha 5 se deve, provavelmente, a sua maior gramatura ($100,16 \text{ g/m}^2$), que é cerca de 25% maior que a gramatura da folha 3A ($75,52 \text{ g/m}^2$) e cerca de 5% maior que da folha 3 ($94,88 \text{ g/m}^2$). Portanto, quanto maior o valor de resistência à tração atrelado a uma menor gramatura, de melhor qualidade é a folha produzida. Neste contexto, a folha 3A foi a que apresentou os melhores resultados, pois sua resistência foi próxima a da folha sulfite A4, que possui uma gramatura de $75,00 \text{ g/m}^2$, praticamente igual à apresentada pela folha 3A ($75,52 \text{ g/m}^2$).

3.2 ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO

O espectro de infravermelho foi registrado com amostras de fibra de coco, lignina, celulose e do papel produzido. A Figura 6 apresenta os resultados obtidos, onde é possível perceber que o gráfico do papel fabricado se assemelha ao da celulose, assim como a presença de uma semelhança geral em todas as análises.

Figura 6 - Resultados da espectroscopia de infravermelho.



Fonte: os autores (2024).

Analisando os gráficos obtidos, é possível perceber que apenas na fibra do coco existe uma intensidade mais significativa nas bandas $\sim 3.300 \text{ cm}^{-1}$, sugerindo a presença de ligações OH, que estão presentes também nas outras amostras. Ainda, a fibra de coco junto da lignina apresentaram bandas $\sim 1.700 \text{ cm}^{-1}$, caracterizando a presença de ligações duplas. De modo geral, a celulose e o papel apresentaram um perfil muito semelhante, indicativo da alta presença de celulose no papel fabricado.

3.3 VIABILIDADE ECONÔMICA E DE TEMPO

A seguir, apresentamos, de forma condensada, a caracterização, os materiais utilizados, por seus valores monetários, e o tempo necessário para realizar cada etapa da fabricação de papel através do mesocarpo do coco verde (tabela 2). O valor monetário, em reais, se trata de uma estimativa realizada através do custo dos reagentes e da energia envolvida no funcionamento dos equipamentos laboratoriais. Todos os dados foram contabilizados a partir de 1 kg de coco verde *in natura*.

Tabela 2 - Custo monetário e de tempo por processo.

Processo:	Secagem do mesocarpo	Refino da fibra	Deslignificação	Branqueamento	Produção da folha	Total
Tempo (horas):	48,0	0,5	2,0	2,0	48,0	100,5
Custo aproximado (R\$)	34,86	0,15	36,49	2,62	0,71	74,83

Fonte: os autores (2024).

A partir dos resultados obtidos, é possível fazer a estimativa do custo médio de produção por folha de papel. Nesse processo, utilizando 1 kg de matéria-prima, é possível produzir 4 folhas, totalizando R\$ 18,71 para cada folha de papel fabricada. Esse valor alto é caracterizado pela utilização da estufa para secagem (presente nos processos de maior custo), levando em consideração seu uso exclusivo para fabricação de papel, o que não aconteceu durante as nossas atividades.

Para um resultado econômico mais satisfatório, é necessário levar em consideração que, em grande escala, é possível secar os materiais através de um sistema mais específico e eficiente. Nesse caso, ao contabilizar um menor consumo energético da estufa, é possível chegar a um valor aproximado de R\$ 8,70 por folha produzida. Além disso, o incremento de matéria-prima não necessariamente aumentaria o custo de produção, trazendo um maior aproveitamento energético e de reagentes, onde mais massa de papel é produzida.

4 CONCLUSÕES

Inicialmente, na realização de experimentos laboratoriais, foram obtidos resultados que mostraram a possibilidade da confecção do papel a partir do mesocarpo do coco verde. Este, portanto, apresentou características físico-químicas semelhantes ao papel comercial.

As concentrações ideais de reagentes para a deslignificação foram de 8 mL de NaOH 5% por grama de fibra, junto de 28 mL de água por grama de fibra para manter a submersão. Em relação ao branqueamento, as concentrações ideais foram 16 mL de NaOH 5% por grama de fibra e 2,7 mL H₂O₂ 40% por grama de fibra. Ainda, as condições otimizadas no refino foram: utilizar o moinho de facas visando um comprimento de 2 a 4 cm, porém não totalmente em pó, e principalmente refinar a celulose pronta antes da confecção da folha, com água morna num liquidificador.

O teste de resistência à tração do papel produzido a partir do mesocarpo do coco verde indica que as folhas apresentaram resistência inferior ou superior em relação ao papel comum, sendo mais dependente de sua gramatura e uniformidade do que de sua matéria-prima. Além disso, é notável que a presença de amido auxiliou a resistência da folha, quando se trata de sua porcentagem 4,5%. Os resultados de tração das folhas 3A e 4A também foram menos distintos e próximos da folha comercial, outro indicativo que a presença desse composto melhorou a resistência da folha.

Ainda, é importante ressaltar que o mesocarpo do coco verde possui teor de lignina maior em comparação às matérias-primas convencionais de produção de papel (madeiras de eucalipto e pínus). Essa propriedade acaba dificultando o processo de extração da celulose com o mínimo de degradação.

A presente pesquisa teve o intuito de utilizar um resíduo comum e em abundância no Brasil como método alternativo de produção de papel, seguindo ideias de sustentabilidade econômica e ambiental. O conjunto de resultados obtidos permitem concluir que a utilização do coco verde é uma boa alternativa para a produção de papel, porém, quando efetivado em pequena escala, torna-se inviável por conta de seu custo. Portanto, estudos adicionais são necessários para otimizar o processo, tornando o mesmo viável do ponto de vista econômico.

REFERÊNCIAS

CARDOSO, Mahalia Sojo; GONÇALEZ, Joaquim Carlos. **APROVEITAMENTO DA CASCA DO COCO-VERDE (*Cocos nucifera*) PARA PRODUÇÃO DE POLPA CELULÓSICA**. *Ciência Florestal*, v. 26, n. 1, p. 321-330. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509821126>. Acesso em: 7 mar. 2023.

CUENCA, Manuel Alberto Gutierrez; MARTINS, Carlos Roberto; JUNIOR, Luciano Alves de Jesus. **COCO - IMPORTÂNCIA SOCIOECONÔMICA**. Embrapa, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/coco/pre-producao/importancia-socioeconomica>. Acesso em: 22 jul. 2024

TAPPI. **Tensile properties of paper and paperboard (using constant rate of elongation apparatus) (Revision of T 494 om-01)**. Tappi, 2006. Disponível em: <https://www.tappi.org/content/sarg/t494.pdf>. Acesso em: 7 jun. 2024.

NUNES, Maria Urbana Corrêa. **COCO - COPRODUTOS**. Embrapa, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/coco/pos-producao/coproductos>. Acesso em: 22 jul. 2024

SENHORAS, Elói Martins. **ESTRATÉGIAS DE UMA AGENDA PARA A CADEIA AGROINDUSTRIAL DO COCO: TRANSFORMANDO A AMEAÇA DOS RESÍDUOS EM OPORTUNIDADES ECO-EFICIENTES**. UNICAMP, 2003. Disponível em: <http://www.cocoverderj.com.br/CocoMonografia.pdf>. Acesso em: 31 mai. 2023.

SOUZA, Maria Eduarda Santos de et al. **Obtenção de celulose a partir do aproveitamento de resíduos de coco (*Cocos nucifera* Linnaeus, 1753) para a produção de papel**. *Revista Principia - Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB, João Pessoa*, v. 60, n. 1, p. 1-20, mar. 2023. ISSN 2447-9187. Disponível em: <https://periodicos.ifpb.edu.br/index.php/principia/article/view/5876>. Acesso em: 28 Mar. 2023.

SILVA, Alessandro Costa da. **Reaproveitamento da casca de coco verde**. *Monografias Ambientais*, v. 13, n. 5, p. 4077-4086. Maranhão, 2014. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/remoa/article/view/15186/pdf>. Acesso em: 15 mar. 2023.

ZANDONAI, Anna Julia; DIAS, Danielle Vitória Santana; MONTEIRO, Jeisiane Ramos; PEREIRA, Laysa Gabrieli; ROGALEWSKI, Kawanne Paolla; COSTA, Rayssa Carolina; RAMOS, Juliano Carvalho. **Fabricação de papel utilizando celulose extraída do bagaço de cana-de-açúcar com adição de amido, extraído da casca de batata, como aditivo**. *Revista Técnico Científica do IFSC, Jaraguá do Sul*, v. 2, n. 7, mai. 2019. p. 40-51. Disponível em: <https://periodicos.ifsc.edu.br/index.php/rtc/article/view/2566>. Acesso em: 15 mar. 2023.