

**INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA
CÂMPUS JARAGUÁ DO SUL - CENTRO
CURSO TÉCNICO EM QUÍMICA**

**CAMILA TAIS MENSLIN
EMANOEL ALVES NAZARIO
GUILHERME PENTEADO DOMINGUEZ
GUSTAVO VINICIUS WOLTER
HENRIQUE ANDRE MUELLER
SILVIO BRYAN SANTANA PADILHA
YASMIN EDUARDA BERNARDI**

PRODUÇÃO DE PAPEL A PARTIR DO MESOCARPO DO COCO VERDE

Jaraguá do Sul
Junho de 2023

CAMILA TAIS MENSLIN
EMANOEL ALVES NAZARIO
GUILHERME PENTEADO DOMINGUEZ
GUSTAVO VINICIUS WOLTER
HENRIQUE ANDRE MUELLER
SILVIO BRYAN SANTANA PADILHA
YASMIN EDUARDA BERNARDI

PRODUÇÃO DE PAPEL A PARTIR DO MESOCARPO DO COCO VERDE

Projeto de pesquisa desenvolvido pelos estudantes do Curso Técnico em Química do Instituto Federal de Santa Catarina, câmpus Jaraguá do Sul – Centro, como requisito avaliativo do programa Conectando Saberes.

Orientador: Clodoaldo Machado
Coordenador de Fase: Jaison Vieira da Maia

Jaraguá do Sul
Junho de 2023

SUMÁRIO

1 TEMA.....	4
2 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	4
3 PROBLEMA DE PESQUISA.....	4
4 HIPÓTESES.....	4
5 OBJETIVOS.....	4
5.1 OBJETIVO GERAL.....	4
5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
6 JUSTIFICATIVA.....	5
7 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	6
7.1 O COCO VERDE.....	7
7.2 PRODUÇÃO DE PAPEL COM FIBRAS VEGETAIS.....	9
7.2.1 Preparação da matéria-prima.....	10
7.2.2 Extração da celulose ou polpação.....	11
7.2.3 Branqueamento da polpa celulósica.....	13
7.2.4 Refino.....	14
7.3 RELAÇÃO ENTRE O COCO VERDE E AS ÁRVORES EMPREGADAS NA PRODUÇÃO DE PAPEL.....	14
7.3.1 Concentração de celulose.....	15
7.3.2 Concentração de lignina.....	15
7.4 PRODUÇÃO DE PAPEL A PARTIR DA POLPA CELULÓSICA.....	16
8 METODOLOGIA.....	17
8.1 MATERIAIS.....	17
8.2 MÉTODOS.....	17
8.2.1 Obtenção e preparação do coco verde.....	17
8.2.2 Produção da polpa celulósica.....	18
8.2.2.1 Designificar.....	18
8.2.2.2 Branquear.....	19
8.2.2.3 Refinar.....	19
8.2.3 Fabricação do papel a partir da polpa celulósica.....	19
8.2.4 Quantificação de parâmetros de qualidade do papel.....	20
8.2.4.1 Gramatura.....	20
8.2.4.2 Resistência à tração.....	20
8.2.4.3 Percentual de umidade.....	21
9 CRONOGRAMA.....	21
REFERÊNCIAS.....	22

1 TEMA

Reaproveitamento da casca de coco verde.

2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Reaproveitamento da celulose presente na fibra de coco verde para a produção de papel.

3 PROBLEMA DE PESQUISA

Com o consumo frequente dos produtos feitos a partir do coco, a casca do coco verde vem se tornando um resíduo comum. Geralmente, não é feita nenhuma reutilização com esse material, sendo apenas deixado para descarte. A partir disso, formulamos a seguinte questão problema: é possível reutilizar a casca do coco verde para uma aplicação mais nobre, como a produção de papel?

4 HIPÓTESES

- É possível utilizar a celulose presente na fibra da casca do coco para produzir papel;
- O papel produzido a partir do coco é mais resistente que o papel produzido comumente a partir da celulose de árvores;
- A polpa celulósica obtida a partir da casca de coco verde possui um rendimento menor se comparada ao rendimento de árvores empregadas na produção de papel.

5 OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GERAL

Produzir papel a partir da celulose presente na fibra da casca do coco verde.

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Obter uma quantidade de coco verde suficiente para a realização da pesquisa;
2. Produzir a polpa celulósica com o mesocarpo do coco verde;
3. Efetuar a extração da celulose que está presente no mesocarpo do coco verde;
4. Quantificar o rendimento da polpa celulósica;
5. Produzir papel a partir da celulose extraída do coco verde;
6. Comparar a resistência do papel produzido à resistência do papel comum.

6 JUSTIFICATIVA

O consumo de coco verde tem aumentado nos últimos anos no Brasil, conseqüentemente, aumentando o número de descarte de seus resíduos (CARDOSO, GONÇALEZ, 2016). Isso faz com que diversos problemas ambientais sejam criados por este descarte, como por exemplo a grande ocupação de espaço em aterros sanitários, onde, segundo a Embrapa Tabuleiros Costeiros, 125 cocos descartados irão ocupar cerca de 1 m³ (CINTRA, 2009 *apud* SILVA, 2014). No Brasil, é estimada que 7 milhões de toneladas de coco por ano sejam descartadas, ocupando um espaço significativo em aterros e também acarretando na criação de mais aterros sanitários, gerando assim mais custos e impactos para a sociedade (CARDOSO, GONÇALEZ, 2016; SILVA, 2014).

Segundo Silva (2014), a casca do coco verde, além de apresentar os problemas acima, demora cerca de 12 anos para se decompor, corroborando assim com o ocupamento significativo dos aterros. Outra situação que acontece, principalmente nas cidades que possuem um consumo de coco verde maior, é o entupimento ou contenção do fluxo hídrico da cidade, como bueiros, córregos e também de vias públicas, sendo assim um problema para a gestão sanitária da cidade.

Atualmente, já existem alguns estudos e tentativas de reaproveitamento da casca do coco verde para diversos fins: isolante termo acústico (DE SOUZA *et al.*,

2015) fabricação de papel *kraft* (DE SOUZA *et al.*, 2023); substrato agrícola (CARRIJO; LIZ; MAKISHIMA, 2002), entre outras utilizações que agregam valor ao resíduo. De modo geral, as tentativas de produção de papel a partir do aproveitamento do mesocarpo de coco foram bem sucedidas.

Considerando que atualmente a questão da sustentabilidade ambiental está ganhando mais visibilidade e importância, segundo Senhoras (2003), o crescente aumento no consumo do coco verde vem aumentando a geração do rejeito correspondente a aproximadamente 85% da massa do fruto. A utilização de fibras vegetais se mostram interessantes devido ao seu baixo custo e características de serem materiais renováveis e biodegradáveis. O coco verde, por ser um produto barato e ter bastante disponibilidade, é bastante comercializado nos litorais, áreas de lazer e recreação, porém com o aumento do consumo, também há aumento nos impactos ambientais. Por exemplo, umas das consequências do descarte do resíduo da casca de coco verde é a diminuição do tempo de vida útil dos aterros sanitários e lixões, já que o resíduo não pode ter seu volume reduzido por causa da dureza e logo ocupam muito espaço (SILVA, 2014).

Outro problema ambiental causado pelo descarte do coco verde é 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 (SILVA, 2014 *apud* ROSA, 2002). Dessa forma, será feita a produção de papel priorizando o reaproveitamento com a oportunidade de diminuir os impactos no ambiente pelo descarte, tornando o material mais apropriado durante sua vida útil após o seu consumo.

7 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para melhor desenvolvimento da pesquisa, realizamos um levantamento bibliográfico acerca da origem do coco e os processos para a fabricação do papel. Os temas foram organizados de maneira gradual para melhor compreensão.

7.1 O COCO VERDE

O coco verde (*Cocos nucifera*) é uma fruta originária do coqueiro. O coqueiro pode ser classificado como uma palmeira e é dividido em dois tipos, de acordo com sua estrutura: gigantes, plantados para fins domésticos e comerciais, podendo chegar de 20 a 30 metros de altura produzindo fruto até 60 a 70 anos; e anões, com altura entre 8 e 10 metros, produzindo frutos num período de no máximo 30 a 40 anos (SOUZA *et al.*, 2023).

Acredita-se que os coqueiros-anões são mutações dos coqueiros gigantes (SANTOS *et al.* 1996 *apud* SOUZA *et al.*, 2023). Do cruzamento dessas duas variedades, obtém-se o híbrido intervarietal, que é utilizado comercialmente *in natura* ou para uso agroindustrial (LOIOLA, 2009; *apud* SOUZA *et al.*, 2023).

O coqueiro é uma planta de baixa altitude, muito encontrada no litoral, onde há clima quente e alta intensidade solar. Também pode ser encontrado fora do litoral, mas sua produtividade de frutos será reduzida. O solo onde o coco tem alta tendência a se proliferar deve conter grandes quantidades de cálcio e fósforo, explicando sua grande fertilidade na areia das praias, onde se encontra abundância de cálcio em decorrência dos restos de conchas de animais marinhos (SENHORAS, 2003; *apud* SOUZA *et al.*, 2023).

Os cocos são considerados frutos secos fibrosos do tipo drupa (quando possui apenas uma única semente). Esta, por sua vez, cresce juntamente com o endocarpo formando o miolo do fruto. Os cocos, conforme pode ser observado na Figura 1, são divididos em três camadas: epicarpo, sua cobertura mais externa; mesocarpo, camada mais bem desenvolvida, vulgarmente conhecido como "bucha", constituído por grupo de fibras resistentes; e o endocarpo, a parte mais dura, difícil de separar, que envolve a polpa branca (a parte comestível da fruta) e o líquido dentro dela (FERRI, 1983; *apud* SOUZA *et al.*, 2021).

Figura 1. Anatomia do coco.



Fonte: BENASSI, 2006.

A fibra de coco pertence à família das fibras duras. É uma fibra multicelular que fornece um alto nível de rigidez e dureza, baixa condutividade térmica, resistência ao impacto, bactérias e água (SENHORAS, 2003 *apud* SOUZA *et al.*, 2021).

As fibras de coco são compostas por substâncias químicas à base de carbono e hidrogênio, sendo as principais presentes: celulose, lignina e hemicelulose, podendo haver também pectinas e minerais. A celulose e lignina são os polímeros mais encontrados nas plantas e fornecem rigidez e resistência à parede celular (RAVEN; EVERT; EICHHORN, 2014 *apud* SOUZA *et al.*, 2021).

Um fator importante para entender a composição elementar da casca do coco verde, assim como o de seu mesocarpo, são as condições em que ele foi cultivado, sendo essas: composição do solo, clima, quantidade de chuvas, época do ano (SILVA, 2014). O coqueiro é uma árvore que demanda de um bom solo, rico em cálcio e fósforo, para o seu desenvolvimento (SENHORAS, 2003 *apud* SOUZA *et al.*, 2021).

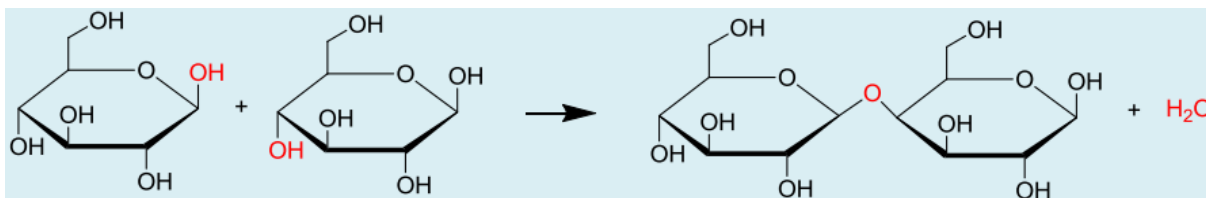
Segundo Sartori (2012, *apud*, SILVA, 2014), os elementos que constituem o mesocarpo são: nitrogênio, potássio, magnésio, sódio, zinco, manganês, ferro, cálcio e cobre. As fibras do mesocarpo (parte interna) do coco possuem menor percentual de celulose, porém um teor de lignina muito elevado sendo, respectivamente, 35% a 45% (lignina) e 23% a 43% (celulose). Mesmo contendo todos esses elementos citados, no Brasil o mesocarpo é praticamente inutilizado, mesmo sabendo que suas

fibras poderiam ser empregadas em várias aplicações industriais (SENHORAS, 2003 *apud* SOUZA *et al.*, 2021).

7.2 PRODUÇÃO DE PAPEL COM FIBRAS VEGETAIS

O principal componente que faz parte do papel e é necessário para a produção dele é a celulose, composto que é considerado um polímero de cadeia longa (SANTOS; *et al.*, 2001 *apud* TEIXEIRA *et al.*, 2017) (D'ALMEIDA; *et al.*, 2013 *apud* TEIXEIRA *et al.*, 2017). Esse polímero é formado por unidades monoméricas de glicose ($C_6H_{12}O_6$), ou seja, a celulose é formada pela junção sucessiva de moléculas de β -D-glicose. Essa junção ocorre conforme a equação representada na Figura 2, onde o grupo hidroxila (β) do carbono 1 da molécula de glicose interage com a hidroxila D (dextrógira) do carbono 4 de outra glicose. Formando assim um grupo éter e liberando água como produto. Portanto, a molécula de celulose é caracterizada como $(C_6H_{10}O_5)_n$, onde “n” é o grau de polimerização da celulose, ou seja, o número de monômeros de glicose que estão juntos (TEIXEIRA *et al.*, 2017).

Figura 2. Formação da celulose pela condensação de glicose.



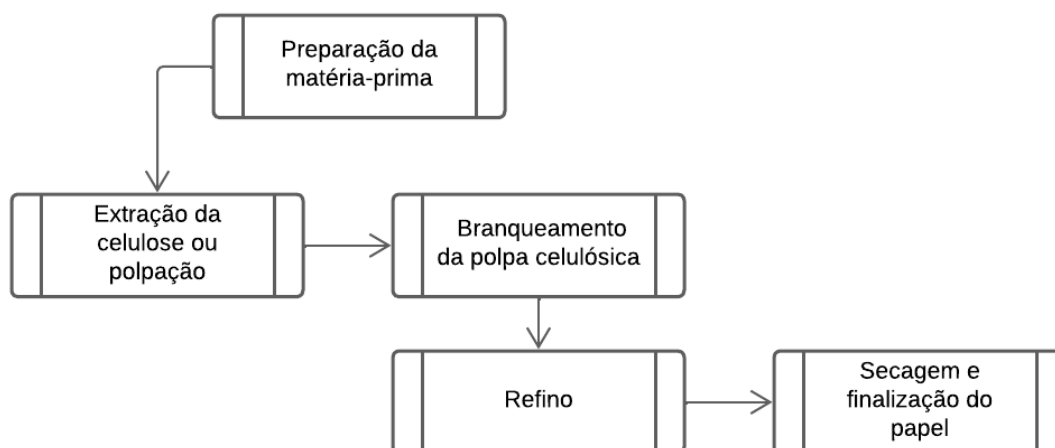
Fonte: TEIXEIRA *et al.*, 2017.

Além da celulose, existem outros compostos que podem ser observados nas fibras vegetais, como a hemicelulose e a lignina. As hemiceluloses, segundo Oliveira e Suarez (2017), são caracterizadas como: “polissacarídeos ramificados formados por pelo menos duas unidades de açúcares, como as hexoses e pentoses e as oxihexoses e ácidos urônicos”. Elas também possuem a função de absorver água com facilidade e apresentam uma estrutura fibrosa, se associando às fibras da celulose (D'ALMEIDA; *et al.*, 2013 *apud* TEIXEIRA *et al.*, 2017).

A lignina, por sua vez, é entendida como uma macromolécula de característica fenólica. Sua estrutura é formada pela união de certos compostos que possuem grupos OH de fenóis e álcoois, sua junção se dá de maneira semelhante à da celulose na Figura 2, onde ocorre a condensação da água formando grupos éteres. Essa formação leva a uma estrutura molecular complexa e, principalmente, responsável por dar resistência mecânica e sustentação às plantas. A lignina não oferece valor para a indústria de celulose e papel, portanto o principal objetivo na obtenção da polpa celulósica é a solubilização da lignina num processo denominado polpação (SHREVE; BRINK, 1980 *apud* TEIXEIRA *et al.*, 2017) (D'ALMEIDA; *et al.*, 2013 *apud* TEIXEIRA *et al.*, 2017) (PIOTTO, 2003 *apud* TEIXEIRA *et al.*, 2017).

Em geral, segundo Teixeira *et al.*, (2017), são aplicados os seguintes passos para a produção de papel conforme descrito na Figura 3:

Figura 3. Fluxograma dos processos de preparação do papel.



Fonte: Os autores, 2023.

7.2.1 Preparação da matéria-prima

O processo de preparação da matéria-prima se inicia com a lavagem da polpa, seguido pela retirada do mesocarpo da matéria-prima, processo denominado de descascamento. Em seguida é realizada a picagem do material com o objetivo de obter um tamanho menor deste, denominado de cavaco, cujas dimensões devem

estar de acordo com o processo utilizado em seguida, a polpação, dado que a espessura do cavaco interfere no consumo dos reagentes e no rendimento da polpa celulósica (SHREVE; BRINK, 1980 *apud* TEIXEIRA *et al.*, 2017) (PIOTTO, 2003 *apud* TEIXEIRA *et al.*, 2017). De acordo com Jeetah e Jaffur (2021), os cavacos podem ser cortados em tamanhos de 2 a 3 cm, e então colocados em um forno industrial a 60 °C por 72 horas para a retirada da umidade presente como forma de preparação para a polpação.

7.2.2 Extração da celulose ou polpação

As matérias primas vegetais apresentam em sua composição a celulose, a hemicelulose, a lignina e demais extrativos, conforme mencionado anteriormente. Para a fabricação do papel é necessária, principalmente, a fibra celulósica. Portanto, é aplicado um procedimento chamado de polpação, que consiste em separar essas fibras de celulose do resto dos componentes presentes na matéria prima para formar uma espécie de biomassa celulósica denominada de polpa ou polpa celulósica. Existem dois processos para a separação desses componentes e obtenção da polpa, sendo eles o processo de polpação mecânica e o processo de polpação química, onde cada um vai dar uma característica específica ao papel obtido. A qualidade do papel depende da característica apresentada pela fibra de cada matéria prima, assim como o grau de pureza da polpa atingido (SHREVE; BRINK, 1980 *apud* TEIXEIRA *et al.*, 2017) (PIOTTO, 2003 *apud* TEIXEIRA *et al.*, 2017).

O processo de polpação mecânica é utilizado geralmente em matérias primas menos resistentes. Para este processo, os cavacos cortados são submetidos ao contato com água quente e são moídos, facilitando o processo de desfibramento e a flutuação das fibras. Este processo não possui remoção total ou alta da lignina e demais extrativos, dando assim uma durabilidade baixa, fragilidade e coloração amarelada ao papel em pouco tempo, porém é um processo menos custoso do que a polpação química. Em adição à este processo, visando uma maior qualidade no papel, é possível realizar um tratamento químico prévio, assim como Teixeira *et al.* (2017, p. 1371), descrevem:

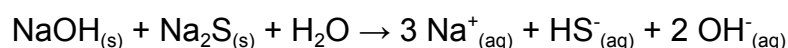
Para tal, os cavacos de madeira são digeridos em solução de sulfeto de sódio tamponada com carbonato de sódio, a uma pressão de 6,8 a 10,9 atm

e temperatura de 160 a 182 °C por um período de 30 a 60 min. A seguir, realiza-se um processo mecânico de moagem, similar ao descrito anteriormente, obtendo-se uma polpa de celulose de resistência mediana e muito utilizada para a produção de papel ondulado, papel jornal, papel de impressão e papel absorvente.

O processo de polpação química é mais comumente utilizado pela indústria de papel e celulose, em geral, por garantir uma qualidade melhor à folha devido a grande taxa de remoção da lignina de sua composição, e também por obter fibras mais longas. Este processo pode ocorrer em meio ácido ou alcalino, conforme explicado na sequência (SHREVE; BRINK, 1980 *apud* TEIXEIRA *et al.*, 2017).

Quando realizado em meio alcalino, também conhecido como processo de polpação de *kraft*, os cavacos são introduzidos em uma solução de hidróxido de sódio (NaOH), e sulfeto de sódio (Na₂S), com pH entre 13 e 14 e são digeridos em pressão entre 6,8 a 9,2 atm, temperatura de 170 a 177 °C, durante 2 a 5 horas. Os componentes ativos presentes no licor são os íons hidróxido (OH⁻) e hidrossulfeto (HS⁻), obtidos pela dissociação das bases em meio aquoso, conforme apresentado na equação 1 de D'Almeida *et al.* (2013) *apud* Oliveira e Suarez (2017), (D'ALMEIDA; *et al.*, 2013 *apud* TEIXEIRA *et al.*, 2017).

Equação 1. Dissociação do hidróxido de sódio e sulfeto de sódio.



Fonte: D'Almeida *et al.* (2013) *apud* Oliveira e Suarez (2017).

Os íons hidrossulfeto (HS⁻) reagem seletivamente com a lignina, quebrando a sua cadeia e preservando a fibra celulósica, já os íons hidróxido possuem uma seletividade que depende da temperatura, promovendo a quebra (por hidrólise) da lignina, hemicelulose e celulose, porém reagindo em menor escala com a celulose. Por isso, é necessária atenção quanto à temperatura e concentração da solução alcalina na hora da reação, visando a proteção das fibras celulósicas e a retirada da maior quantidade possível de lignina e outros extrativos presentes. Também pode ser realizada a lavagem e filtração da polpa até a obtenção de um pH neutro, visando retirar o excesso de reagente utilizado no cozimento, assim como o próprio licor negro (TEIXEIRA *et al.*, 2017).

Este licor negro é composto dos restos de lignina, hemicelulose e outros extratos que estavam presentes no cavaco, de acordo com o IBP (Instituto Brasileiro de Pellets, Biomassa e Briquete) *apud* Souza *et al.* (2023). Esse licor apresenta um problema ambiental caso descartado incorretamente, portanto o setor de celulose passa por fiscalizações acerca do tratamento desse licor negro antes de ser descartado. De acordo com SOUZA *et al.* (2023), o tratamento do licor negro pode ser feito com a neutralização pelo ácido acético (CH_3COOH) contido no vinagre. A produção de papel a partir dessa polpa celulósica obtida favorece a produção de papéis mais resistentes, utilizados em sacos de cimento, chapas onduladas, papelões usados em caixas *etc* (SHREVE; BRINK, 1980 *apud* TEIXEIRA *et al.*, 2017) (PIOTTO, 2003 *apud* TEIXEIRA *et al.*, 2017).

Em relação ao processo de polpação *kraft*, aumentar a carga alcalina resulta numa reação de deslignificação mais rápida. Porém, com o aumento da velocidade da reação, geralmente são observadas propriedades de resistência piores devido à degradação das moléculas de celulose e de hemicelulose (CARVALHO, 1999 *apud* CARDOSO *et al.*, 2011). Por isso deve-se atentar à quantidade de álcali ativo utilizado para a reação, uma vez que também com cargas muito baixas pode ocorrer a diminuição do pH do licor durante o processo de cozimento, podendo haver a precipitação da lignina nas fibras (BUGAJER *et al.*, 1980 *apud* CARDOSO *et al.*, 2011).

Caso o processo seja realizado em meio ácido, é utilizada uma solução de ácido sulfuroso (H_2SO_3) e íons bisulfito (HSO_3^-). O cavaco é inserido na solução a uma pressão de 6,1 a 7,5 atm, a uma temperatura de 125 a 160 °C por um período de 6 a 12 horas. Com a utilização deste processo é obtível uma polpa muito utilizada para a produção de papéis mais brancos, utilizados por exemplo na produção de livros, papéis de uso sanitário *etc* (SHREVE, BRINK, 1980 *apud* TEIXEIRA *et al.*, 2017).

7.2.3 Branqueamento da polpa celulósica

O processo de branqueamento pode ser utilizado quando a polpa se encontra amarelada, caracterizando a presença de lignina na polpa celulósica obtida no

processo anterior. Portanto, este processo pode ser entendido como uma continuação da deslignificação. São utilizados, geralmente, como agentes branqueadores, o hidróxido de sódio (NaOH), hipoclorito (NaClO), dióxido de cloro (ClO₂) ou ozônio (O₃) (SHREVE; BRINK, 1980 *apud* TEIXEIRA *et al.*, 2017) (PIOTTO, 2003 *apud* TEIXEIRA *et al.*, 2017).

7.2.4 Refino

A refinação da polpa celulósica se baseia num tratamento mecânico por refinadores em batelada, pouco utilizados industrialmente, ou por refinadores contínuos, que são mais eficazes e modernos. Ambas as máquinas possuem um sistema de pequenas facas que são responsáveis por refinar a polpa que está presente em um meio aquoso (HOFMANN-GATTI, 2007 *apud* TEIXEIRA *et al.*, 2017).

O processo de refinação possui duas etapas para ser concluído. A primeira, chamada também de hidratação ou fibrilação interna, se baseia no contato das fibras entre si e com o refinador, gerando um desgaste na parte externa na fibra e permitindo a absorção de água. A segunda etapa é conhecida como fibrilação externa, e se baseia na passagem de energia do refinador para as fibras hidratadas, fazendo com que elas formem fibrilas e, conseqüentemente, aumentem sua área de contato, promovendo um entrelaçamento mais eficaz (SANTOS, 2006). No final, o papel obtido que passa por este processo é mais macio, opaco, imprimível, resistente à umidade e também a possíveis rasgos (ITO, 1977 *apud* TEIXEIRA *et al.*, 2017).

7.3 RELAÇÃO ENTRE O COCO VERDE E AS ÁRVORES EMPREGADAS NA PRODUÇÃO DE PAPEL

Para identificar se a produção do papel a partir do coco compensa, é importante saber as relações entre o coco verde e a matéria-prima mais comum de produção de papel, árvores, principalmente das espécies de eucalipto e pínus, que compõem, somadas, cerca de 98% das madeiras utilizadas nesse processo

(JESUS, 2020). Assim, ficará mais clara a semelhança entre essas duas matérias-primas e o que possibilita a produção de papel a partir do coco verde, identificando suas compatibilidades com a matéria-prima tradicional.

7.3.1 Concentração de celulose

Sendo a celulose o principal componente da produção de papel, é de extrema importância verificar as semelhanças entre a quantidade extraída das árvores e a quantidade extraída do coco verde, exatamente para comprovar a possibilidade de alteração da matéria-prima de forma eficaz. Segundo Gomide, Neto e Regazzi (2010), o rendimento médio encontrado nas madeiras de árvores clonadas de espécies de eucalipto é de 49,5%. Já no uso das madeiras de espécies de pinus, são atingidos rendimentos de cerca de 58% a 70%, dependendo da espécie utilizada (VIVIAN; CARDOSO; MODES; JÚNIOR, 2022).

O rendimento de polpa celulósica encontrado no coco por Cardoso e Gonzalez (2016) é próximo de 50%. Dessa forma, há uma semelhança ao rendimento encontrado na extração de celulose de árvores, se mostrando um fator não limitante para a produção de papel e convergente com esta proposta de pesquisa.

7.3.2 Concentração de lignina

A lignina presente nas fibras vegetais não é de interesse para a produção de polpa celulósica e, conseqüentemente, a produção de papel. Isso se dá pelo fato de que a lignina é responsável pela rigidez e resistência presente na matéria-prima, podendo tornar o papel produzido em um material não maleável ou quebradiço e também amarelado. Este é um quesito de extrema importância quando houver a comparação com o papel comum (SHREVE; BRINK, 1980 *apud* TEIXEIRA *et al.*, 2017).

Nas árvores são encontrados os seguintes percentuais de lignina: 27,3% nas amostras de clones de eucalipto, como pesquisado por Gomide, Neto e Regazzi, e 26,7% nas espécies de pinus (MAGNOS *et al.*, 2015). Já no coco verde, de acordo

com Carrijo (2002 *apud* SILVA, 2014), é encontrado um percentual de lignina de 35% a 45%, demonstrando uma quantidade muito superior à encontrada em árvores. Isso apresenta uma dificuldade para a produção do papel com baixo teor de lignina a partir do coco verde, sendo este um fator que pode se apresentar como limitante à pesquisa.

7.4 PRODUÇÃO DE PAPEL A PARTIR DA POLPA CELULÓSICA

Como descrito na pesquisa de Teixeira *et al.* (2017), a etapa final da produção de papel a partir da polpa celulósica é justamente transformar essa polpa em papel, após todos os processos anteriores que tornaram ela possível de ser trabalhada. Antes do processo de secagem, podem ser acrescentados aditivos para melhorar as características físicas do papel e, conseqüentemente, torná-lo mais viável para o uso. Um exemplo desses aditivos, que é usado na vasta maioria dos papéis, é o amido, que acaba diminuindo a umidade do papel e melhorando a fixação das tintas durante sua impressão. Além do amido, há outros produtos que podem ser adicionados para conferir resistência, brilho, textura, aparência, entre outras propriedades do papel, como descrito pelos autores.

Após o processo de adição de aditivos, a polpa celulósica pode ser, finalmente, transformada no papel propriamente dito. Essa transformação final, após peneiração, é feita a partir da secagem enquanto é submetida a uma pressão, isso para diminuir a umidade e grossura do papel. Na indústria, esse processo é feito em larga escala, a partir de prensas hidráulicas e secagem a vapor com temperatura elevada, acelerando o processo (TEIXEIRA *et al.*, 2017). Como no caso da nossa pesquisa o papel será produzido em baixa escala, exatamente para poder verificar a possibilidade da produção de papel a partir do coco verde, deverão ser utilizados outros métodos, simplificados, para a finalização do papel, como serão descritos em nossa metodologia.

8 METODOLOGIA

8.1 MATERIAIS

Na execução desse projeto de pesquisa serão utilizados os seguintes materiais:

- Coco verde;
- Estufa de circulação de ar forçada;
- Faca;
- Estufa;
- Moinho de facas;
- Amido;
- Secador industrial;
- Sistema de cilindros;
- Panela de pressão;
- Balança analítica;
- Picnômetro;
- NaOH;
- Na₂S.

8.2 MÉTODOS

8.2.1 Obtenção e preparação do coco verde

Inicialmente, para a obtenção do coco, será feita uma tentativa de doação com as distribuidoras que apoiarem o projeto, para conseguirmos o coco de forma gratuita. Se não conseguirmos com nenhuma distribuidora, será uma opção tentar obter em praias, já que, como dito antes, o descarte do coco não é feito de forma adequada, sendo muito comum encontrarmos em praias. Mas, em último caso, caso as alternativas anteriores não se mostrarem viáveis, iremos comprar o coco em feiras ou em algum mercado para conseguir dar continuidade ao projeto.

Para o preparo do coco, iniciaremos com a lavagem do mesmo, e em seguida o coco será descascado para conseguirmos retirar o mesocarpo. Após isso, iremos “picar” o material para diminuirmos o tamanho do coco, e facilitar a polpação. Após isso, colocaremos o cavaco em uma estufa para retirar a umidade, à 60 °C por aproximadamente 72 horas.

Para fazer a biomassa, pretendemos utilizar 50 g da fibra do mesocarpo de coco, equivalente ao volume de 170 mL. A partir desses dados, vamos determinar a densidade do material, utilizando um picnômetro. Após isso, vamos acrescentar ao material sólido 550 mL de água. Posteriormente, iremos decidir quantos tratamentos iremos fazer e assim, calcular o volume total que foi utilizado. Todavia, esses valores podem ser alterados conforme a necessidade e a quantidade de matéria prima que vamos obter.

8.2.2 Produção da polpa celulósica

Para a produção da polpa celulósica serão feitos alguns procedimentos que serão detalhados a seguir.

8.2.2.1 Deslignificar

A deslignificação, também conhecida como polpação, será realizada em meio alcalino com hidróxido de sódio (NaOH), e sulfeto de sódio (Na₂S). Será utilizado 50 mL de NaOH a 2% junto de 400 mL de água e uma pequena quantidade de Na₂S, a ser definida, uma vez que este é um aditivo e não necessita grandes quantidades em relação à quantidade de hidróxido de sódio.

O cozimento será realizado em uma panela de pressão de aço inoxidável, visando atingir uma pressão maior que do ambiente e uma deslignificação mais eficaz, e acontecerá durante 1 hora numa temperatura de aproximadamente 90 °C. Após este processo, a polpa obtida será lavada com água destilada e filtrada algumas vezes a fim de separá-la do licor negro. Este licor residual será neutralizado com CH₃COOH (ácido acético) e poderá então ser descartado.

8.2.2.2 Branquear

Para realizar o branqueamento deve se adicionar o agente branqueador H_2O_2 e NaOH na polpa em temperatura ambiente, após a mistura se homogeneizar a polpa deve ser aquecida até a temperatura de 80 °C, e logo em seguida deve ser transferida para um banho de vapor mantendo-se a temperatura, onde deve ficar por um tempo de aproximadamente 120 min. Ao término dessas etapas deve-se obter licor residual onde deve ser feito o tratamento para o descarte correto. Após obter a polpa branqueada, ela deve ser lavada com água destilada, sendo para cada quilograma de polpa recomendado 9 litros de água.

8.2.2.3 Refinar

Para o processo de refino da polpa celulósica é necessário um refinador em batelada ou um refinador contínuo, ambos possuem um sistema circular com um moinho de facas que será responsável por desagregar, cortar e hidratar as fibras da celulose. Neste projeto, será utilizado o moinho de facas disponível no laboratório do câmpus para a realização desta etapa. A polpa que será colocada no moinho de facas terá pH entre 8 e 10, facilitando assim a fibrilação, que irá ocorrer por cerca de 1 hora em meio aquoso.

8.2.3 Fabricação do papel a partir da polpa celulósica

Antes de serem feitos os processos de produção do papel a partir da polpa celulósica produzida, deverão ser incorporados aditivos para melhorar as características do papel. Nesse caso, será discutida a necessidade de adicionar ou não o amido, principal aditivo utilizado na indústria. No caso da adição, o amido deverá ser incorporado aos poucos na polpa celulósica para que não passe do ponto, deixando o papel desnecessariamente rígido.

Depois disso, deverá ser feita a peneiração da polpa para que esteja apenas com a composição necessária, sem a possibilidade de haver um problema na homogeneização do papel produzido. Isso possibilitará a última etapa da produção de papel: prensagem e secagem.

Na etapa de prensagem e secagem, primeiramente, a polpa celulósica deverá ser submetida a uma forte pressão que será feita a partir de um sistema de cilindros, para conferir a grossura pretendida ao papel, verificando a necessidade de ser feita mais de uma vez, dependendo do resultado. Posteriormente, o processo de secagem será feito com a utilização de um secador industrial para remoção do restante indesejado de água da polpa celulósica. Assim, estará finalizada a produção do papel a partir do mesocarpo de coco verde.

8.2.4 Quantificação de parâmetros de qualidade do papel

Para determinar a qualidade do papel produzido a partir do mesocarpo do coco verde serão realizados alguns testes, possibilitando assim uma análise e comparação com o papel normal, obtido através de árvores.

8.2.4.1 Gramatura

Para a realização do teste de gramatura do papel será realizado o corte da folha nas medidas 1 m², ou outro tamanho equivalente, e será feita a pesagem numa balança analítica/semianalítica. A partir dos dados obtidos será feito o cálculo da gramatura conforme a fórmula:

$$G = m / A$$

Em que m corresponde a massa em grama (g) e A representa a área do papel em metros quadrados (m²), a fim de obter uma gramatura G em grama por metro quadrado (g/m²).

8.2.4.2 Resistência à tração

Realizaremos o teste de resistência à tração fazendo uso de um testador automatizado específico para o teste de resistência à tração. Para isso, será fixada uma amostra do papel que produziremos nas garras automáticas. O teste será

finalizado quando a amostra que utilizarmos se romper, e com isso, será obtido o nosso índice de tração.

8.2.4.3 Percentual de umidade

O porcentual de umidade é determinado pela diferença de massa (inicial e final), onde a polpa é pesada e observa-se a diferença de peso após ela ficar por um dado intervalo de tempo numa estufa de secagem, até atingir peso constante.

9 CRONOGRAMA

A execução deste projeto acontecerá no período de agosto do corrente ano a junho de 2024, sendo que o cronograma das atividades é apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 - Cronograma das atividades de execução deste projeto de pesquisa.

Período / Atividades	Ago 2023	Set 2023	Out 2023	Nov 2023	Dez 2023	Fev 2024	Mar 2024	Abr 2024	Mai 2024	Jun 2024
Obter matéria-prima	X									
Preparação do coco	X									
Deslignificação da polpa		X	X							
Branquear a polpa		X	X							
Refinar a polpa			X	X						
Produzir o papel				X	X					
Realizar os testes						X	X	X		
Escrever o relatório final								X	X	X

REFERÊNCIAS

- AZEVEDO, Marco Antônio Bandeira *et al.* **DIFERENTES PROCESSOS DE BRANQUEAMENTO DA CELULOSE E SEUS EFEITOS NAS PROPRIEDADES FÍSICAS E CRISTALINIDADE.** Belo Horizonte, 2011. disponível em <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/SFSA-95JVPB/1/tese_marco_vs_final.pdf>. Acesso em: 07 mai. 2023.
- CARDOSO, Gabriel Valim; FOELKEL, Celso Edmundo Bochetti; FRIZZO, Sonia Maria Bitencourt; ROSA, Claudia Adriana Broglio da; ASSIS, Teotônio Francisco de; OLIVEIRA, Patrícia de. **EFEITO DO TEOR DE LIGNINA DA MADEIRA DE *Eucalyptus globulus* Labill. NO DESEMPENHO DA POLPAÇÃO KRAFT.** Ciência Florestal, v. 21, n. 1, p. 133-147. Rio Grande do Sul: Santa Maria, 2011. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/cflo/a/WFW6wSmqtYyTFWHWDDtHcWw/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 13 Mai. 2023.
- 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.
- CARRIJO, Osmar Alves; LIZ, Ronaldo Setti de; MAKISHIMA, Nozomu. **Fibra da casca de coco verde como substrato agrícola.** Horticultura brasileira, v. 20, p. 533-535, 2002.
- DE SOUZA, Emelye Stephane et al. **Aplicação da fibra de coco no processo de isolamento termo acústico.** Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, v. 4, p. 233-245, 2015.
- FAVERO, Cristiano; PINHEIRO, Olivert Soares; COSTA, Andréa Oliveira Souza da; JUNIOR, Esly Ferreira da Costa. **ASPECTOS GERAIS DO PROCESSO DE PRÉ-BRANQUEAMENTO DE CELULOSE.** ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer, v. 10, n. 18, p. 3696-3711. Goiânia, 2014. Disponível em: <<https://www.conhecer.org.br/enciclop/2014a/ENGENHARIAS/aspectos%20gerais.pdf>>. Acesso em: 07 mai. 2023.
- GIRARDELLI, Mariana Aparecida; PEREIRA, Osvaldo Alves; SANTOS, Samuel Felipe dos; BRASIL, Mirela Aguiar; PINHEIRO, Stefani Karoline Teodoro. **Propriedade da Fibra de Coco: Uma Revisão Sistemática.** UNICIÊNCIAS, v. 24, n. 1, p. 34-38, 2020. Disponível em: <<https://uniciencias.pgsskroton.com.br/article/download/8920/5849>>
- GOMIDE, Jose Livio; NETO, Humberto Fantuzzi; REGAZZI, Adair José. **Análise de critérios de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose kraft.** Revista Árvore, v. 34, n. 2, p. 339-344. Minas Gerais: Viçosa, 2010. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rarv/a/6bddGZnPQ6d7b5ScWWrY4Fj/?lang=pt&format=pdf>>. Acesso em: 07 mai. 2023.

JEETAH, Pratima; JAFFUR, Nausheen. **Coconut Husk, a Lignocellulosic Biomass, as a Promising Engineering Material for Non-wood Paper Production.** Journal of Natural Fibers, v. 19, p. 5622-5636. Mauritius: Réduit, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/15440478.2021.1889428>>. Acesso em: 09 Mai. 2023.

JESUS, Marcia Silva de. **Qualidade da madeira para celulose: uma perspectiva de mercado.** Mata Nativa. Minas Gerais: Viçosa, 2020. Disponível em: <<https://matanativa.com.br/qualidade-da-madeira-para-celulose>>. Acesso em: 07 de maio de 2023.

MAGNOS, Alan Vivian; SEGURA, Tiago Edson Simkunas; JÚNIOR, Eraldo Antonio Bonfatti; SARTO, Camila; Schmidt, Flavia; JÚNIOR, Francides Gomes da Silva; GABOV, Konstantin; FARDIM, Pedro. **Qualidade das madeiras de Pinus taeda e Pinus sylvestris para a produção de polpa celulósica kraft.** Scientia Forestalis, v. 43, n. 105, p. 183-191. São Paulo: Piracicaba, 2015. Disponível em: <<https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr105/cap18.pdf>>. Acesso em: 07 mai. 2023.

SANTOS, Carlos Henrique Godoy dos. **O preparo de massa e a refinação.** Revista Nosso papel. Disponível em: <https://www.eucalyptus.com.br/artigos/2006_Preparo+Massa+Refino.pdf>. Acesso em: 27 Mai. 2023.

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.

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.

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.

TEIXEIRA, Maria Betânia d'Henj; SUAREZ, Paulo A.Z.; GATTI, Thérèse Hofmann; OLIVEIRA, Robson Alves de. **O Papel: Uma Breve Revisão Histórica, Descrição da Tecnologia Industrial de Produção e Experimentos para Obtenção de Folhas Artesanais.** Revista Virtual de Química, v. 9, n. 3, p. 1364-1380. Distrito Federal: Brasília, 2017. Disponível em: <https://rvq.s bq.org.br/detalhe_artigo.asp?id=779>. Acesso em: 28 Mar. 2023.

VIVIAN, Magnos Alan; CARDOSO, Alexandre Saturnino; MODES, Karina Soares; JÚNIOR, Francides Gomes Da Silva. **Avaliação Do Potencial Da Madeira De Pinus Greggii Para Produção De Polpa Celulósica.** Ciências Agroveterinárias, p.

56-65. Lages, 2021. Disponível em:
<<https://periodicos.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/view/20687>>. Acesso em: 31 mai. 2023.