

# FABRICAÇÃO DE PAPEL UTILIZANDO CELULOSE EXTRAÍDA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR COM ADIÇÃO DE AMIDO, EXTRAÍDO DA CASCA DE BATATA, COMO ADITIVO

JULIANO CARVALHO RAMOS

*Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Professor de Química, Campus Jaraguá do Sul - Centro, juliano.ramos@ifsc.edu.br*

ANNA JULIA ZANDONAI

DANIELLE VITÓRIA SANTANA DIAS

JEISIANE RAMOS MONTEIRO

LAYSA GABRIELI PEREIRA

KAWANNE PAOLLA ROGALEWSKI

RAYSSA CAROLINA COSTA

*Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Discentes do curso Técnico em Química integrado ao Ensino Médio, Campus Jaraguá do Sul - Centro*

## RESUMO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e, conseqüentemente, o país que possui a maior geração de biomassa residual (bagaço e palha). A cada tonelada de cana processada são gerados cerca de 140 kg de bagaço. Outro rejeito muito produzido pela indústria alimentícia é a casca de batata inglesa, que possui uma grande quantidade de amido em sua composição. Os resíduos gerados por essas indústrias, mais especificamente pela indústria de papel com o processo kraft, são a causa de diversos problemas ambientais, econômicos e sociais. Em vista disso, averiguou-se uma forma sustentável para produção de papel com o uso de fontes e recursos que fossem rejeitos, como o bagaço de cana-de-açúcar e a casca de batata. Para isso, a metodologia baseou-se na extração de celulose do bagaço de cana-de-açúcar pelo método de extração por Soxhlet, usando como solventes hexano e etanol; seguido de branqueamento com lavagem alcalina utilizando hidróxido de sódio e peróxido de hidrogênio, obtendo-se rendimentos de 29, 74, 67 e 58% para granulometrias de 63  $\mu\text{m}$ , 150  $\mu\text{m}$ , 250  $\mu\text{m}$  e 850  $\mu\text{m}$  respectivamente. Para melhorar a qualidade do papel, houve adição de amido extraído da casca de batata por processo de lavagem para retirada de impurezas, moagem com água gelada e decantação. Realizaram-se testes físicos, para fins comparativos entre os papéis produzidos e a folha sulfite (papel comumente comercializado). Os melhores valores de cada ensaio foram atribuídos aos papéis da granulometria de 850  $\mu\text{m}$  com e sem adição de amido: no ensaio de gramatura foram obtidos valores de 50,8 g/m<sup>2</sup> e 49,5 g/m<sup>2</sup>; para a umidade os valores foram 12,8% e 13,4%; e resistência à tração apresentou valores de  $1,8 \times 10^{-3}$  N/mm<sup>2</sup> e  $1,6 \times 10^{-3}$  N/mm<sup>2</sup>, todos respectivamente.

## PALAVRAS-CHAVE

Fabricação de papel, Bagaço de cana-de-açúcar, Celulose, Casca de batata, Amido.

# FABRICAÇÃO DE PAPEL UTILIZANDO CELULOSE EXTRAÍDA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR COM CASCA DE BATATA

## INTRODUÇÃO

A maior parte das plantas fibrosas como algodão, sisal, carnaúba e fibras de coço podem ser utilizadas para fabricação de papel, sendo a condição limitante a viabilidade econômica do processo, logo fatores como a quantidade de celulose que é possível encontrar nesta planta e o processo necessário para extração do polímero nesta matriz devem ser considerados, pois todas essas etapas (cultivo das plantas, extração da celulose, reagentes adicionados no processo, entre outros) influenciam na produção do papel (KLOCK et al., 2013).

Dentre os rejeitos brasileiros de origem agrícola que poderiam ser utilizados como matéria prima para fabricação do papel, o bagaço de cana-de-açúcar é um dos mais significativos por sua abundância. Estima-se que na safra de 2018/2019 serão produzidos cerca de 625,96 milhões de toneladas de cana-de-açúcar (CONAB, 2018).

Assim como o bagaço de cana-de-açúcar, a casca da batata inglesa também é um rejeito, e a indústria processadora gera anualmente entre 70 a 140 mil toneladas deste resíduo (WU, D., 2016). A casca da batata contribui com a maior fração orgânica deste detrito gerado na indústria processadora e o seu descarte incorreto pode ocasionar problemas ambientais, tais como a poluição das águas, devido ao aumentando da demanda química de oxigênio, sólidos totais suspensos e nitrogênio total. Além disso, há diminuição do pH das águas, devido a utilização de

soda cáustica para facilitar a remoção da casca da batata (HUNG, et al., 2006).

O papel é produzido a partir de uma suspensão aquosa de fibras celulósicas - polímero linear de ligações 1-4 glicosídicas - provenientes principalmente da madeira ou de outras fontes, como o bagaço da cana-de-açúcar. As fibras celulósicas são entrelaçadas e drenadas através de processos mecânicos e térmicos. Além disso, são empregados aditivos que fornecem diferentes características ao papel (cor e textura). Atualmente são utilizados como aditivos o sulfato de alumínio, corantes, carga mineral (dióxido de titânio), além dos amidos de mandioca e milho (CASTRO, 2009; KLOCK et al., 2013; SANTOS, et al., 2001).

A unidade de repetição da celulose, a celobiose, apresentada na Figura 1, se forma através da eliminação da molécula de água, presente nos carbonos 1 e 4 onde, seguidamente, duas moléculas farão uma ligação glicosídica (CARVALHO, 2011 apud WYMAN et al., 2005).

O amido é um homopolissacarídeo formado por cadeias de amilose e amilopectina. A amilose tem em sua estrutura unidades de glicose formadas por ligações glicosídicas  $\alpha$ -1,4, enquanto a amilopectina é formada por ligações glicosídicas  $\alpha$ -1,4 e  $\alpha$ -1,6. Como representado na Figura 2, a amilose (A), possui uma cadeia linear e a amilopectina (B), uma estrutura ramificada (DENARDIN et al., 2009 apud ELIASSON, 2004).

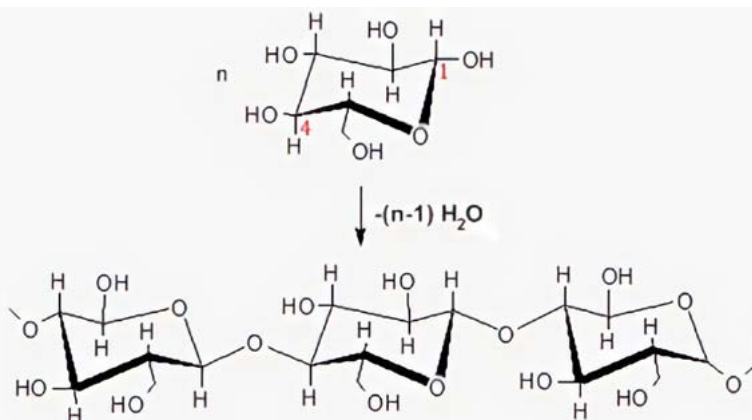


Figura 1. Estrutura da unidade de repetição da celulose, celobiose. Os números 1 e 4 representam a localização dos carbonos responsáveis pela formação da ligação glicosídica. FONTE: Baseado em Carvalho (2011).

# FABRICAÇÃO DE PAPEL UTILIZANDO CELULOSE EXTRAÍDA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR COM ADIÇÃO DE AMIDO, EXTRAÍDO DA CASCA DE BATATA, COMO ADITIVO

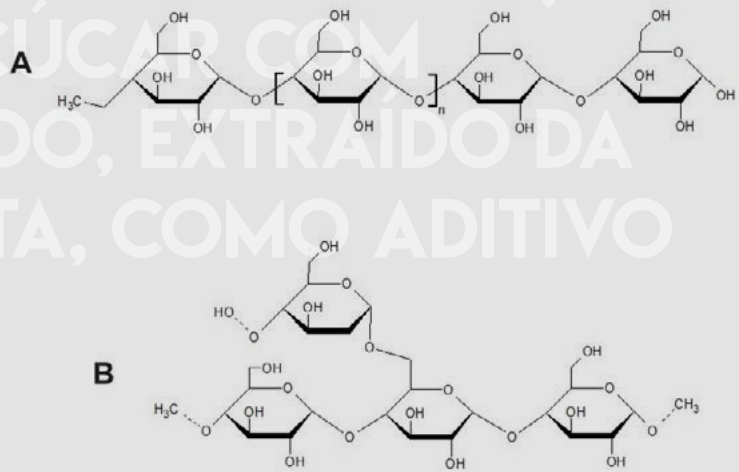


Figura 2. Estrutura da amilose (A) e da amilopectina (B).  
FONTE: Baseado em Denardin et al. 2009 (apud Lajolo et al., 2006).

O amido como aditivo já é utilizado comumente na indústria do papel por atribuir características relacionadas às propriedades mecânicas, físicas e estéticas. Grande parcela do amido utilizado como aditivo é modificado para garantir uma maior interação com as fibras do papel, já que a tração e arrebetamento do papel tem relação com o número de ligações que são formadas entre os elementos fibrosos (LEGOWSKI et al., s.d.).

Sendo extremamente dependente de recursos naturais - tais como fibras vegetais, energia e água - a indústria de papel e celulose é uma grande geradora de resíduos, sendo considerada uma importante fonte de poluentes do ar, água e solo (MIRANDA, 2008).

Em vista disso, o presente trabalho visa a extração da celulose do bagaço de cana-de-açúcar com diferentes granulometrias de fibras utilizando o amido da casca da batata inglesa como aditivo natural, verificando a viabilidade da realização do processo,

proporcionando a geração de um novo produto mais sustentável.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Preparo das amostras

O bagaço de cana-de-açúcar utilizado no presente trabalho foi disponibilizado por um estabelecimento comercial da cidade de Jaraguá do Sul, SC.

O bagaço passou por um pré-tratamento, no qual foi desfiado manualmente para a obtenção das fibras que em seguida foram secas em estufa à 60 °C por 2 h. Na sequência, foi realizado o processo de trituração do material e a separação das fibras por um sistema de peneiras com quatro granulometrias distintas, sendo elas: 63 µm, 150 µm, 250 µm e 850 µm. A Figura 3 apresenta as fibras separadas por granulometria.

É importante ressaltar que inicialmente seria também avaliada, além das já citadas, as fibras na granulometria de 38 µm, porém foi observado que a

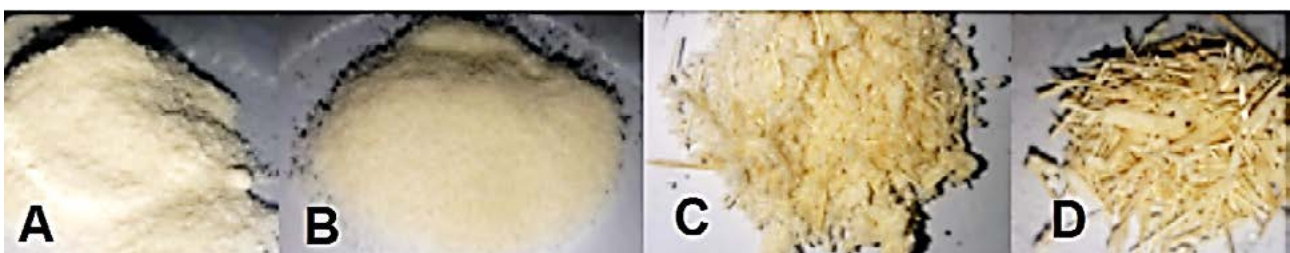


Figura 3. Imagens das distintas granulometrias das fibras do bagaço de cana-de-açúcar. (A) 63 µm; (B) 150 µm; (C) 250 µm; (D) 850 µm.

# FABRICAÇÃO DE PAPEL UTILIZANDO CELULOSE EXTRAÍDA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR COM ADIÇÃO DE AMIDO DE BATATA

massa obtida depois do processo de trituração era extremamente pequena e o seu tempo de vida útil relativamente curto, observando-se a presença de fungos no recipiente, assim o uso desta foi refutado.

## 2.2 Celulose

A metodologia de extração da celulose foi adaptada de Sun et al. (2004) e EMBRAPA (2014) e é apresentada no Fluxograma da Figura 4.

Para a extração da celulose, foi necessária uma quantidade de 5,0 g de bagaço seco e moído que

foram inseridos no extrator de Soxhlet juntamente com 300 mL da mistura de solventes: hexano e etanol na proporção de 2:1, durante 6 ciclos. Em seguida, o extrato obtido foi transferido para placas de Petri que permaneceram na capela de exaustão de gases por 24 h, para que o hexano evaporasse em condições adequadas e, em seguida, em estufa a 60 °C por uma hora, para que houvesse remoção de qualquer vestígio de hexano na amostra.

O processo de extração da celulose foi repetido até obter a massa mínima de 20 gramas (processo 1 a

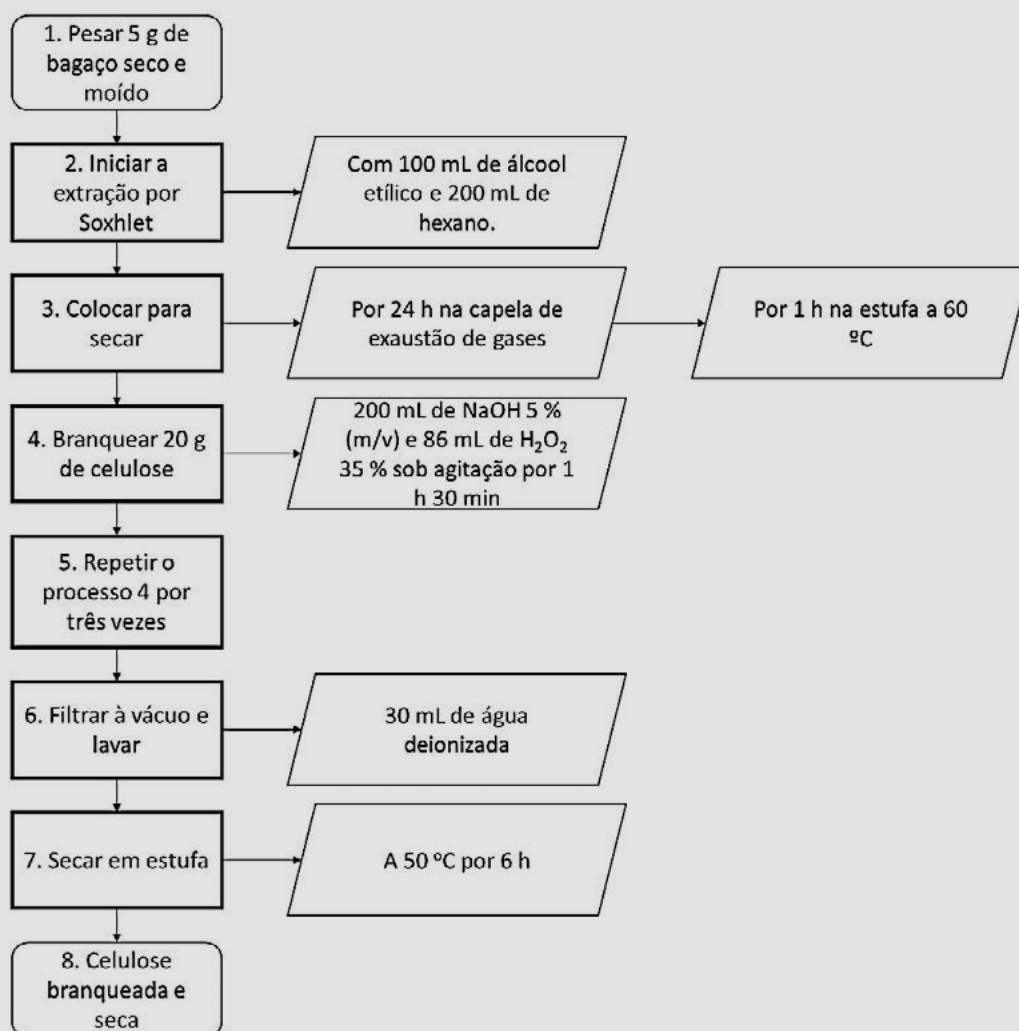


Figura 4. Fluxograma da metodologia de extração e purificação da celulose proveniente do bagaço da cana-de-açúcar.

# FABRICAÇÃO DE PAPEL UTILIZANDO CELULOSE EXTRAÍDA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR COM ADICÃO DE AMIDO, EXTRAÍDO DA CASCA DE BATATA, COMO ADITIVO

3 do fluxograma da Figura 4). Em seguida, procedeu-se ao branqueamento da celulose com 250 mL de NaOH 5% (m/v) e 86 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 35% (m/v). Durante o branqueamento, a mistura foi mantida sob agitação por 1 h 30 min, após esse período, separou-se o extrato sólido do líquido. O processo de branqueamento foi repetido por três vezes para clarear satisfatoriamente a celulose.

Na sequência, o sólido obtido foi submetido a uma filtração à vácuo utilizando 30 mL de água deionizada para lavagem. Ao final, a amostra seguiu para secagem em estufa a 50 °C por 6 horas, obtendo a celulose extraída, branqueada e seca.

## 2.3 Extração do amido

Para a extração do amido das cascas das batatas, adaptou-se a metodologia descrita por Garcia (2013). As cascas foram disponibilizadas por um estabelecimento comercial de Jaraguá do Sul, SC.

Em um primeiro momento, as cascas foram lavadas com água a fim de remover impurezas superficiais que poderiam estar presentes. Em seguida, foram trituradas com água gelada (utilizando um liquidificador), sendo o extrato sólido descartado e o líquido remanescente transferido para béqueres com capacidade de 1 L e mantido em repouso por um período de 48 horas (tempo necessário para que o amido decantasse).

O líquido suspenso foi descartado e o sólido decantado foi transferido para placas de Petri. Em seguida, a amostra foi seca em estufa na temperatura de 40 °C por 1 h 30 min.

## 2.4 Caracterização da celulose

A celulose extraída foi caracterizada antes da fabricação do papel por espectroscopia na região do infravermelho (frequência de 4000 cm<sup>-1</sup> a 400 cm<sup>-1</sup>), utilizando o Espectrofotômetro com Transformada de Fourier e Reflectância Total Atenuada (FTIR -ATR) modelo Spectrum 100 da marca Perkin Elmer. A amostra foi homogeneizada com brometo de potássio de alta pureza e a mistura prensada, a fim de obter um material sólido com formato similar a uma pastilha,

sendo posteriormente inserido no equipamento para análise. Esse ensaio foi conduzido no Departamento de Química da Universidade Federal de Santa Catarina - campus Florianópolis.

## 2.5 Fabricação do papel

Para a fabricação do papel, foram adicionados 50 mL de água deionizada previamente aquecida (aproximadamente 70 °C) a 4 g de celulose. Em seguida, foram adicionadas 1,33 g de amido nas amostras, representando 25 % da massa total.

Após a incorporação do amido, a mistura foi submetida a um processo mecânico de homogeneização, com o intuito de formar uma pasta que facilitasse o procedimento de produção do papel. A mistura resultante foi transferida e distribuída em uma tela de tecido, de diâmetro de 48,5 x 31 cm, com o objetivo de possibilitar que o papel possuísse a espessura mais fina possível. Por fim, a mistura foi para a estufa a 50 °C e permaneceu por um período de 7 h.

É importante salientar que para fins comparativos, foram produzidos papéis com e sem adição de amido em todas as granulometrias propostas. Sendo assim, para a fabricação do papel sem aditivo foram realizados os mesmos procedimentos de produção do papel com amido, com exceção da fase de incorporação do amido.

## 2.6 Caracterização físico-química do papel

As metodologias dos ensaios de gramatura, umidade e resistência à tração foram adaptadas de Campos (2010) e são apresentadas a seguir.

### 2.6.1 Gramatura

O ensaio de gramatura foi realizado cortando-se uma medida de área pré-determinada do papel selecionado e, posteriormente pesando-a em balança

<sup>1</sup> Quando o amido entra em contato com água fria, os grânulos incham ligeiramente (10% a 20%), porém quando aquecidos em água eles incham permanentemente num fenômeno chamado gelatinização (DENARDIN et al., 2009 apud WHO/FAO, 1998).

# FABRICAÇÃO DE PAPEL UTILIZANDO CELULOSE EXTRAÍDA DO BAGAÇO

analítica. O corte da área estabelecido foi de 1 cm<sup>2</sup> e o resultado final expresso em g/m<sup>2</sup>.

## 2.6.2 Umidade

Para obter o teor de umidade no papel produzido, pesou-se uma massa de aproximadamente 0,0500 g de cada um dos papéis, em seguida as amostras foram colocadas em estufa à 85 °C por um período de 30 minutos para remoção da água presente no material. Após esse período, as amostras foram retiradas da estufa e pesadas novamente.

Para o cálculo do teor de umidade, subtrai-se a massa da amostra úmida em relação a amostra seca. A diferença corresponde a massa de umidade presente no papel, que foi convertida em porcentagem para facilitar a interpretação dos dados.

## 2.6.3 Resistência à tração

Para o ensaio de resistência à tração, foi estabelecida uma área de 4 cm<sup>2</sup> de cada papel produzido. A cada uma dessas amostras, foi acoplado um dinamômetro de 10 N a seu centro, aplicou-se, então, força até o momento do rasgo.

Para calcular a tensão aplicada sobre o papel ( $\sigma$ ), utilizou-se a Equação 1.

$$\sigma = \frac{F}{S_0} \text{ (Equação 1)}$$

A equação relaciona a força (F) exercida para que houvesse o rasgo inicial e a área da seção inicial (S<sub>0</sub>). O resultado obtido foi expresso em N/mm<sup>2</sup>.

2.6.4 Análise das fibras de celulose com auxílio do microscópio

A análise de fibras foi executada no laboratório têxtil da própria instituição, sendo utilizado o microscópio Feldman Wild Leitz, modelo SMZ7.5. A análise foi realizada utilizando uma pequena área das amostras de celulose, a qual foi adicionada uma gota de azul de metileno para melhor visualização das fibras. A microscopia eletrônica é um ensaio que permite o estudo morfológico da amostra, e já tem sido utilizada para avaliação morfológica de fibras de

celulose (TELES et al., 2017).

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1. Extração e branqueamento da celulose

A extração por Soxhlet - método utilizado para extrair a celulose - consiste na interação entre os solventes e o extrato. A escolha do hexano como solvente ocorreu por este possuir características apolares tendo maior interação com os componentes apolares da amostra, como por exemplo os lipídios e alguns carboidratos. O outro solvente utilizado, o etanol, apresenta característica hidrofílica possibilitando a extração de carboidratos de baixa massa molecular (OLIVEIRA et al., 2015).

Já o branqueamento permite que o papel fique em tonalidades mais claras, pois esta etapa consiste na remoção da lignina (componente responsável pela coloração mais escura), de modo que se aproxime, em termos de coloração, aos papéis convencionalmente comercializados, como por exemplo o papel sulfite. A remoção da lignina também aumenta o tempo de vida útil do papel (SOUZA, 2019).

O peróxido de hidrogênio é amplamente conhecido no que se diz respeito ao branqueamento da celulose. Em meio alcalino, conforme ilustrado na Equação 2, ocorre a liberação do ânion peridroxila (OOH<sup>-</sup>), um oxidante poderoso e seletivo. Este reage de forma satisfatória com os componentes do bagaço de cana-de-açúcar, removendo a lignina sem danificar a estrutura da celulose, processo denominado deslignificação (SIQUEIRA et al., s.d.)



O rendimento do processo de branqueamento para as granulometrias de 63 µm, 150 µm, 250 µm e 850 µm foi de, respectivamente: 29%, 74%, 67% e 58%. Os rendimentos foram considerados elevados (com exceção da granulometria de 63 µm) se comparados com o trabalho de Schwendler et al. (2013), que

# FABRICAÇÃO DE PAPEL UTILIZANDO CELULOSE EXTRAÍDA DO BAGAÇO

obteve rendimento de 44,6% após o branqueamento e extração por Soxhlet. Ressalta-se que um dos principais diferenciais entre os trabalhos foram as matéria-primas utilizadas, sendo a do autor supracitado a casca da acácia negra (*Acacia mearnsii*, uma leguminosa arbórea). O trabalho de Camargo (2015) obteve rendimento de 54 %, este aproximando-se do presente trabalho pela matéria-prima e metodologia de extração, porém distanciando-se quanto ao pré-tratamento que, no caso de Camargo (2015), foi hidrotérmico.

É importante salientar que o principal fator que levou a diminuição do rendimento da granulometria de 63  $\mu\text{m}$  foi a etapa de preparo de amostra, pois após os processos de trituração e separação por sistema de peneiras, a massa obtida era sempre reduzida, independentemente do tempo que essa ficava no triturador<sup>2</sup>.

## 3.2 Caracterização da celulose

A caracterização da celulose ocorreu com o intuito de verificar se no processo de extração dos componentes do bagaço de cana-de-açúcar, a celulose estava presente majoritariamente. Na Figura 5, visualizam-se os espectros de infravermelho da celulose nas granulometrias de 63  $\mu\text{m}$ , 150  $\mu\text{m}$ , 250  $\mu\text{m}$  e 850  $\mu\text{m}$  que foram sobrepostos.

No espectro são evidenciadas bandas características de estiramento OH na região de 3300  $\text{cm}^{-1}$ , indicando a presença de grupos hidroxila encontrados na celulose. Há, em 2900  $\text{cm}^{-1}$ , a presença de estiramentos de ligações C-H pertencentes aos grupos CH e CH<sub>2</sub>, deformação angular de ligações C-O de álcoois primários em 1100  $\text{cm}^{-1}$ , característica da celulose. Por fim, há bandas em 900  $\text{cm}^{-1}$  referentes às ligações-glicosídicas entre as unidades de glicose, sendo essas marcadamente características da celulose. Em estudos realizados por Andrade (2014) com celulose oriunda do bagaço de cana-de-açúcar,

são apresentadas as mesmas bandas identificadas na Figura 5, principalmente as pertencentes às ligações-glicosídicas.

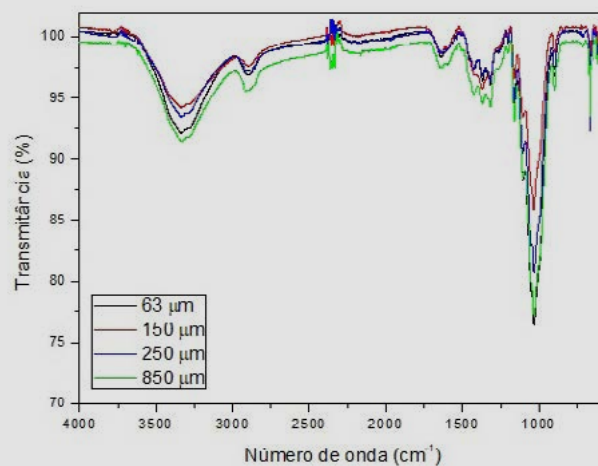


Figura 5. Espectro de infravermelho da celulose nas granulometrias de 63, 150, 250 e 850  $\mu\text{m}$  provenientes do bagaço da cana-de-açúcar.

## 3.3 Fabricação do papel

Oito diferentes papéis de composições específicas foram produzidas e seus respectivos desempenhos avaliados. Para facilitar a apresentação dos resultados, as amostras foram legendadas do seguinte modo: todas as amostras 1 possuem 25% de amido incorporado em sua composição; já as amostras 2 são isentas da presença de amido; e as letras A, B, C e D referem-se às granulometrias de 63  $\mu\text{m}$ , 150  $\mu\text{m}$ , 250  $\mu\text{m}$  e 850  $\mu\text{m}$  respectivamente. A Tabela 1 sumariza as informações descritas, relacionando a legenda das amostras com sua granulometria e presença ou ausência de amido.

Após a fabricação dos papéis, foram realizados testes de gramatura, umidade e resistência à tração, cujos resultados são apresentados na Tabela 2. Com objetivo de realizar uma comparação, esses mesmos testes foram conduzidos para o papel sulfite convencional, sendo seus resultados adotados como referência para o presente trabalho.

<sup>2</sup> Foi utilizado um liquidificador. Entende-se que as hélices do liquidificador não eram tão eficientes para atingir granulometrias próximas a 63  $\mu\text{m}$ , porém devido a limitação de outros instrumentos na instituição, este foi utilizado.

# FABRICAÇÃO DE PAPEL UTILIZANDO CELULOSE EXTRAÍDA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR COM ADIÇÃO DE AMIDO EXTRAÍDO DA CASCA DE BATATA (AMIDO)

As amostras 1A, 2A, 1B e 2B evidenciaram significativas diferenças visuais em relação as demais amostras, as quatro amostras citadas apresentaram ranhuras e superfície irregular, como exibido na Figura 6.

Observando a Figura 6, nota-se que todas as amostras apresentam grande número de ranhuras. Isso se deve ao fato de possuírem granulometrias diminutas, não havendo fibras de celulose grandes o suficiente para se unirem efetivamente umas às outras, ou seja, quando a água evapora as fibras encolhem deixando espaços entre elas, surgindo as fissuras. Mesmo com a presença do amido que possui característica gelatinosa (Figuras 1A e 1B) as ranhuras estão presentes.



Figura 6. Fotografias dos papéis 1A, 2A, 1B e 2B respectivamente, provenientes do bagaço da cana-de-açúcar e da casca da batata inglesa.

Na Figura 7, é possível evidenciar melhor a ausência de fibras nas granulometrias de  $63\ \mu\text{m}$  (1A e 2A) e  $150\ \mu\text{m}$  (1B e 2B), sendo observado a presença de estruturas/aglomerados semelhantes aos grânulos antes do processo de fabricação do papel.

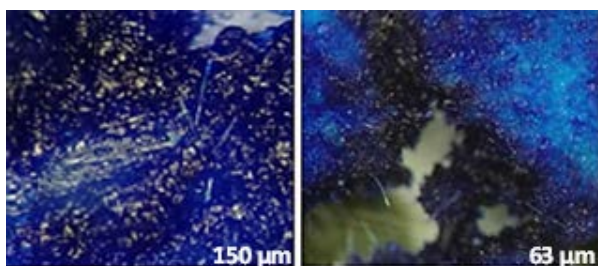


Figura 7. Fibras de celulose nas granulometrias de  $150$  e  $63\ \mu\text{m}$  respectivamente, provenientes do bagaço de cana-de-açúcar, visto através do microscópio de Feldman, com o aumento de 10 vezes, com a adição de azul de metileno para facilitar a visualização e nitidez das fibras.

Antagonicamente, as amostras que possuem as granulometrias de  $250\ \mu\text{m}$  e  $850\ \mu\text{m}$  das fibras do bagaço da cana-de-açúcar (1C, 2C, 1D e 2D), apresentaram superfícies relativamente regulares,

como pode ser observado na Figura 8.

Nota-se na Figura 8, que a superfície das amostras 1C e 1D apresentam forma regular e ausência de ranhuras, possivelmente devido à presença do amido entre as fibras de celulose (isso ocorre por meio de interações intermoleculares de hidrogênio entre amido, celulose e a água presente no interior dos grânulos); diferentemente das superfícies das amostras 2C e 2D que se mostraram mais irregulares, com ranhuras e colorações mais amareladas (possivelmente, indicando degradações do material).

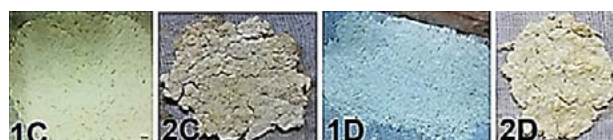


Figura 8. Fotografias dos papéis 1C, 2C, 1D e 2D respectivamente, provenientes do bagaço da cana-de-açúcar e da casca da batata inglesa.

Ressalta-se que apesar das amostras 2C e 2D apresentarem ranhuras, essas diferem das amostras 1A, 2A, 1B e 2B devido ao tamanho de suas fibras. Deste modo, as amostras 2C e 2D, mesmo com ranhuras, apresentam características mais próximas a condição de obtenção do papel.

A Figura 9 apresenta a característica fibrosa da celulose nas granulometrias de  $250$  e  $850\ \mu\text{m}$ . Nestes tamanhos, há união entre as fibras permitindo que o papel não se fragmente. Nota-se também que as fibras se organizam de forma amorfa, ou seja, não se orientam em um único sentido.

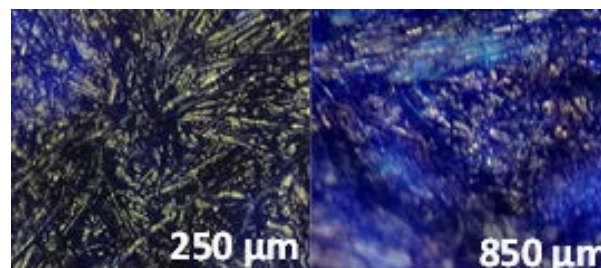


Figura 9. Fibras de celulose nas granulometrias de  $250$  e  $850\ \mu\text{m}$  respectivamente, provenientes do bagaço de cana-de-açúcar, visto através do microscópio de Feldman, com o aumento de 10 vezes, com a adição de azul de metileno para facilitar a visualização e nitidez das fibras.



# FABRICAÇÃO DE PAPEL UTILIZANDO CELULOSE EXTRAÍDA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR E CASCA DE BATATA, COM E SEM AMIDO

O teste de gramatura não foi realizado com as amostras 1A e 2A, ambas de granulometria 63  $\mu\text{m}$ , pois suas superfícies não permitiram o corte de 1  $\text{cm}^2$  para realização do ensaio. As outras amostras apresentaram gramaturas entre 13,8  $\text{g}/\text{m}^2$  a 50,8  $\text{g}/\text{m}^2$ , assim nota-se que mesmo o maior valor de gramatura é cerca de 30% inferior à gramatura do papel sulfite.

AMOSTRAS	GRANULOMETRIA DA CELULOSE ( $\mu\text{m}$ )	ADIÇÃO DE AMIDO
1A	63	Sim
1B	150	Sim
1C	250	Sim
1D	850	Sim
2A	63	Não
2B	150	Não
2C	250	Não
2D	850	Não

Tabela 1. Legendas e composições (em relação a celulose proveniente do bagaço da cana-de-açúcar e amido da casca da batata inglesa) dos oito papéis realizados.

Klock et al. (2013), afirma que quanto maior a gramatura, mais resistência possui o papel e que esta afeta suas características mecânicas e ópticas; além de alterar o preço do produto, já que este é comercializado de acordo com seu peso. Tendo as amostras 1, com amido, apresentado gramatura maior em relação às amostras 2 de mesma granulometria, pode-se afirmar que estas são mais resistentes que suas correspondentes sem amido.

Assim como a gramatura, a umidade influencia na resistência do papel pois um grande teor de umidade, indica interações intermoleculares fracas, pois a água estaria entre as fibras de celulose, tornando o papel mais frágil (KLOCK et al., 2013). Nesta avaliação todas as amostras 1 possuem teor de umidade menor do que suas amostras 2 correspondentes, o que indica maior número de interações diretas nas amostras com amido do que nas amostras sem amido.

As amostras mais frágeis, de acordo com o teor

AMOSTRA	GRAMATURA ( $\text{G}/\text{M}^2$ )	UMIDADE (%)	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO ( $\text{N}/\text{MM}^2$ )
1A	Teste não realizado	12,6	Teste não realizado
1B	26,5	15,0	$1,4 \times 10^{-3}$
1C	43,5	14,4	$1,6 \times 10^{-3}$
1D	50,8	12,8	$1,8 \times 10^{-3}$
2A	Teste não realizado	14,2	Teste não realizado
2B	13,8	15,4	$1,2 \times 10^{-3}$
2C	43,3	15,0	$1,6 \times 10^{-3}$
2D	49,5	13,4	$1,6 \times 10^{-3}$
Papel sulfite	75,0	4,4	$2,3 \times 10^{-3}$

Tabela 2. Resultados dos testes de gramatura, umidade e resistência à tração para os oito papéis produzidos com o bagaço da cana-de-açúcar e a casca da batata inglesa. A folha de papel sulfite foi avaliada como parâmetro referencial.

de umidade, são a 2B - com 15,4% - e as 1B e 2C que apresentaram o mesmo teor de umidade - 15,0%. Às amostras 1B e 2B, por serem correspondentes, pode-se atribuir o grande teor de umidade a sua granulometria (150  $\mu\text{m}$ ) e à amostra 2C a ausência de amido em sua composição. Salienta-se que nenhuma das amostras apresentou umidade inferior à umidade do papel sulfite.

Nenhum ensaio de resistência é uma medida fundamental, mas sim uma combinação de vários fatores, como a umidade, interação e resistência das fibras (KLOCK et al., 2013). Considerando os fatores supracitados, os papéis teoricamente mais resistentes à tração deveriam ser os 1C e 1D, por apresentarem baixo teor de umidade, maiores granulometrias para as fibras e maior gramatura. Após o ensaio, o papel 1D apresentou maior resistência em relação às outras amostras, com valor de  $1,8 \times 10^{-3} \text{ N}/\text{mm}^2$ , corroborando com as previsões citadas por Klock et al. (2013); porém a amostra 1C exibiu o valor de  $1,6 \times 10^{-3} \text{ N}/\text{mm}^2$  que, apesar de ser maior em relação às outras amostras, apresenta o mesmo valor de sua amostra correspondente sem amido (2C).

Apesar de as amostras correspondentes 1C e 2C

# FABRICAÇÃO DE PAPEL UTILIZANDO CELULOSE EXTRAÍDA DO BAGAÇO

possuírem a mesma resistência à tração, não é possível afirmar que essa propriedade se relaciona idealmente apenas com o tamanho das fibras, já que as amostras 1B e 1D apresentam maior valor de resistência à tração, mas suas granulometrias são significativamente distintas. Ou seja, apesar do tamanho das fibras ser importante para a determinação desta propriedade, é possível sugerir que a presença do aditivo possa influenciar na resistência à tração.

Ressalta-se que apesar de a amostra 1D ter apresentado maior resistência à tração, em relação às outras amostras, esta não tem maior resistência do que o papel sulfite, sendo relativamente menos resistente.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Fabricar papel a partir do bagaço da cana-de-açúcar é uma alternativa economicamente viável (quando comparado ao eucalipto, por exemplo, que demanda processos prévios antes da madeira ser efetivamente utilizada) por ser um material de manuseio simples, requerendo poucos processos de preparo de amostra (separação das fibras, secagem e moagem), além disso, a etapa de extração e branqueamento da celulose se torna mais simples e sustentável por poluir menos, evitando o uso de compostos clorados que são convencionalmente utilizados nas indústrias papeleiras.

As granulometrias de fibras maiores (250  $\mu\text{m}$  e 850  $\mu\text{m}$ ) atribuíram melhor forma aos papéis e apresentaram rendimento superior na fase de branqueamento, demonstrando que a granulometria interfere no rendimento da celulose, influenciando na qualidade do produto final.

As observações no microscópio mostraram que cada fibra de celulose extraída é cristalina, mas dependendo da sua granulometria, torna-se amorfa, sendo que nas menores granulometrias, 63  $\mu\text{m}$  e 150  $\mu\text{m}$ , não se notou visualmente a presença cristalina e sim de aglomerados, semelhantes aos grânulos antes do processo de extração da celulose.

A caracterização do papel seguiu a tendência: quanto maior a fibra, menor a umidade, maior a

gramatura e maior a resistência à tração. Desta forma, nota-se que as características do papel obtido dependem da granulometria utilizada. Ademais, os papéis produzidos com amido proveniente da casca da batata inglesa se mostraram melhores, indicando que esse é um bom aditivo.

A presente pesquisa propôs um método alternativo para a produção de papel com o uso de rejeitos prontamente disponíveis na maior parte das cidades do Brasil. Acredita-se que ideias sustentáveis e mais amigáveis ao meio ambiente estejam cada vez mais em expansão, contribuindo para a qualidade de vida e prosperidade do planeta.

## Agradecimentos

Os integrantes deste trabalho agradecem as contribuições iniciais ofertadas pela docente Luciana Valgas de Souza e ao docente Elder Correa Leopoldino, sendo este último também responsável pela realização das análises por infravermelho na Universidade Federal de Santa Catarina.

# REFERÊNCIAS

- ANDRADE, J.C.F.; SILVA, V.L.; CARVALHO, L. S.; OLIVEIRA, K. G.; COSTA, G. I. Q.; SILVA, E. G.; CÂMARA, A. B. F.; SILVA, T. M. G.; LIMA, R. R. S.; CAMPOS, L. M. A. OBTENÇÃO DA CELULOSE ORIUNDA DO BAGAÇO DA CANA DE AÇÚCAR (SACCHARUM OFFICINARUM) E CARACTERIZAÇÃO POR FTIR/DRX; 54º CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, Natal, 2014. Disponível em: <<http://www.abq.org.br/cbq/2014/trabalhos/13/6027-18805.html>>. Acesso em: 04 jun. 2018.
- CAMARGO, L. A. OBTENÇÃO DE NANOCRISTAIS DE CELULOSE A PARTIR DO RESÍDUO DA PRODUÇÃO DE ETANOL DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR PELA ROTA ENZIMÁTICA. Dissertação (Mestrado em Química) Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2015.
- CAMPOS, E. S. CURSO BÁSICO DE FABRICAÇÃO DE PAPEL com ênfase nas propriedades dos papéis de fibra curta. Aracruz, 2010. Disponível em: [http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/2010\\_papel\\_FibraCurtEucalipto.pdf](http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/2010_papel_FibraCurtEucalipto.pdf). Acesso em 15 set. 2017
- CARVALHO, M. L. Estudo cinético da hidrólise enzimática de celulose de bagaço de cana-de-açúcar. Dissertação (Mestrado em Química) Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.
- CASTRO, H. F. Processos Químicos Industriais II. Apostila 4 - Papel e Celulose, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de Lorena - EEL, 2009. Disponível em: Acesso em: <<https://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/5840556/434/apostila4papelecelulose.pdf>> Acesso em: 12 nov. 2017.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Acompanhamento da safra brasileira Cana-de-açúcar. v. 5, n. 3, p. 1-71, Brasília, 2018. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana>>. Acesso em: 01 mar. 2019.
- DENARDIN, C. C.; SILVA, L. P. Estrutura dos grânulos do amido e sua relação com propriedades físico-químicas. Ciência Rural, Santa Maria, v. 39, n. 3, p. 945-954, 2009.
- CAMARGO, L. A.; TEODORO, K.; CORRÊA, A. C.; PEREIRA, S. C.; FARINAS, C. S.; MARCONCINI, J. M.; MATTOSO, L. H. C. Avaliação de métodos de purificação de celulose a partir do resíduo da hidrólise enzimática do bagaço de cana-de-açúcar para a produção de nanowhiskers de celulose. Anais da VI Jornada Científica - EMPRAPA, São Carlos, 2014. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/114174/1/resumo-5.pdf>>. Acesso em 06 de jun. 2018.
- HUNG, Y.; IO, H. H.; AWAD, A.; SALMAN, H. Potato Wastewater Treatment. Taylor & Francis Group, 2006. Disponível em: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1898957/mod\\_folder/content/0/material%20para%20a%20elabora%C3%A7%C3%A3o%20de%20projetos/Potato%20Wastewater%20Treatment.pdf?forcedownload=1](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1898957/mod_folder/content/0/material%20para%20a%20elabora%C3%A7%C3%A3o%20de%20projetos/Potato%20Wastewater%20Treatment.pdf?forcedownload=1)>. Acesso em 01 mar. 2019

KLOCK, U.; ANDRADE, A. S.; HERNANDEZ, J. A. Polpa e Papel. Manual didático Polpa e Papel, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013. Disponível em: <<http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasklock/polpaepapel/manualpolpa2013.pdf>>. Acesso em: 06 Outubro de 2017.

MIRANDA, R. E. S. Impactos ambientais decorrentes dos resíduos gerados na produção de papel e celulose. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008.

PIRES, A. M. M.; MATIAZZO, M. E. Efluentes da indústria processadora de batata X Preservação do meio ambiente: ênfase no uso agrícola de resíduos. Embrapa Meio Ambiente, 2005. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/127326/1/2005AA-095.pdf>> Acesso em: 10 out. 2017.

OLIVEIRA, V. B.; ZUXHETTO, M.; OLIVEIRA, C. F.; PAULA, C. S.; DUARTE, A. F. S.; MIGUEL, M. D.; MIGUEL, O. G. Efeito de diferentes técnicas extrativas no rendimento, atividade antioxidante, doseamentos totais e no perfil por clae-dad de dicksonia sellowiana (presl.). Hook, dicksoniaceae. Revista Brasileira de Plantas Mediciniais, v. 18, n. 1, p. 230-239, 2016.

SANTOS, C. P.; dos Reis, I. N.; MOREIRA, J. E. B.; BRASILEIRO, L. B. Papel: Como se Fabrica?. Química Nova na Escola, n. 14, 2001.

SCHWENDLER, L. A.; BICA, C. I. D. Obtenção de nanocristais de celulose a partir da casca de acácia negra. XXV Salão Iniciação Científica. Porto Alegre, 2013. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/92600/Resum31571.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 06 jun. 2018.

SOUZA, L. A. Lignina na composição do papel; Brasil Escola. Disponível em: <<https://brasilescola.uol.com.br/quimica/lignina-na-composicao-papel.htm>> Acesso em: 26 mar. 2019.

SUN, J. X.; SUN, X. F.; ZHAO, H.; SUN, R. C. Isolation and characterization of cellulose from sugarcane bagasse. Polymer Degradation and Stability, v. 84, n. 2, p.331-339, 2004.

TELES, V. C.; ANDREANI, L.; VALADARES, L. F. Uso de microscopia de luz eletrônica como técnicas de análise morfológica. Embrapa Energia, Circular Técnica 15, 2017. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1085307/1/CIT15CNPAE.pdf>>. Acesso em: 25 mai. 2018.

WU, D. Recycle technology for potato peel waste processing: A review. Procedia Environmental Sciences, v. 31, p. 103-107, 2016.