

## EXTRAÇÃO DE FRAÇÕES LIGNOCELULÓSICAS POR PRÉ-TRATAMENTO ALCALINO EM RESÍDUO DE COCO

VIEIRA, Fabrícia<sup>1</sup>; SANTANA, Hortência Elucielly Pereira de<sup>1</sup>;  
FERNANDES, Ingrid Vieira<sup>2</sup>; SILVA, Isabelly Pereira<sup>2</sup>;  
SILVA, Daniel Pereira<sup>1,2,3,4,5</sup>; RUZENE, Denise Santos<sup>\*1,2,3,5</sup>

<sup>1</sup> Rede Nordeste de Biotecnologia, Universidade Federal de Sergipe (UFS)

<sup>2</sup> Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de Sergipe (UFS)

<sup>3</sup> Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia, Universidade Federal de Sergipe (UFS)

<sup>4</sup> Programa de Pós-Graduação em Ciência da Prop. Intelectual, Universidade Federal de Sergipe (UFS)

<sup>5</sup> CISAS - Center for Research and Development in Agrifood Systems and Sustainability,  
Instituto Politécnico de Viana do Castelo, Portugal

\*Autor de correspondência. E-mail: ruzeneds@hotmail.com

**Resumo:** O interesse crescente por materiais sustentáveis e por processos de separação eficientes da biomassa lignocelulósica tem contribuído para uma série de investigações sobre pré-tratamentos em resíduos agroindustriais. Desse modo, este trabalho teve como objetivo aplicar ao resíduo de coco o pré-tratamento alcalino para extração de frações de hemicelulose e lignina, visando obter polpa de celulose em condições experimentais brandas. Inicialmente, as fibras de coco (FC) foram pré-tratadas pelo método *Soxhlet* e, em seguida, submetidas ao pré-tratamento alcalino sob 55°C, 120 min e 2% de NaOH. Para avaliar a eficácia desse processo, foram realizadas análises químicas e estruturais. As análises de composição química confirmaram uma deslignificação de 15,30%, remoção de 52,83% de hemicelulose e aumento de 22% no teor de celulose. A análise por FT-IR corroborou as modificações na estrutura química da amostra, enquanto a análise de TGA revelou uma perda de massa significativa na faixa de temperatura específica da celulose, evidenciando a remoção eficiente dos outros componentes. Assim, este estudo promove a valorização de resíduos agroindustriais e a implementação de processo de pré-tratamento eficiente, o que contribui para obtenção de bioprodutos.

**Palavras-chave:** fibras de coco; extração alcalina; lignina; polpa celulósica.

## EXTRACTION OF LIGNOCELLULOSIC FRACTIONS BY ALKALINE PRETREATMENT IN COCONUT WASTE

**Abstract:** The growing interest in sustainable materials and efficient separation processes for lignocellulosic biomass has contributed to a series of investigations on pretreatments of agro-industrial waste. Thus, this work aimed to apply alkaline pretreatment to coconut residue for extraction of hemicellulose and lignin fractions, aiming to obtain cellulose pulp under mild experimental conditions. Initially, coconut fibers (CF) were pretreated by the Soxhlet method and then subjected to alkaline pretreatment at 55°C, 120 min and 2% NaOH. To evaluate the effectiveness of this process, chemical and structural analyses were performed. Chemical composition analyses confirmed a delignification of 15.30%, removal of 52.83% of hemicellulose and an increase of 22% in cellulose content. FT-IR analysis corroborated the changes in the chemical structure of the sample, while TGA analysis revealed a significant mass loss in the specific temperature range of cellulose, evidencing the efficient removal of the other components. Thus, this study promotes the valorization of agro-industrial waste and the implementation of an efficient pre-treatment process, which contributes to obtaining bioproducts.

**Keywords:** coconut fibers; alkaline extraction; lignin; cellulosic pulp.

## 1 Introdução

A crescente demanda por materiais sustentáveis e renováveis tem impulsionado o interesse em fontes alternativas de biomassa lignocelulósica. As fibras de coco, um resíduo agroindustrial amplamente disponível, têm despertado considerável interesse devido ao seu potencial para a obtenção de produtos de valor agregado. Esse resíduo possui uma composição química atrativa, conferindo-lhes propriedades diversas que permite uma ampla gama de usos (Borel *et al.*, 2021).

A estrutura da biomassa lignocelulósica é complexa, sendo composta por uma rede intrincada de celulose, hemicelulose e lignina (Bensalah *et al.*, 2021). A celulose, um polissacarídeo linear, é responsável por conferir resistência mecânica e rigidez as plantas, enquanto as hemiceluloses, consideradas polissacarídeos solúveis, ajudam a manter a estrutura da parede celular (Fengel; Wegener, 1989). A lignina, por sua vez, é um polímero aromático que atua como um agente de ligação e proteção, mas também impede a degradação enzimática da celulose e hemicelulose (Baucher *et al.*, 2003). Além de exercer diferentes funções na célula vegetal, cada macromolécula possui propriedades físico-químicas características de maneira que uma separação eficiente dessas frações é crucial para a utilização eficaz e integral da biomassa.

Deste modo, para os processos de separação desses componentes são necessários empregar pré-tratamentos que visem modificar a estrutura da biomassa, melhorando sua eficiência e viabilidade em processos subsequentes. Esses processos são empregados para separar os componentes da matriz lignocelulósica, como celulose, hemicelulose e lignina, que podem dificultar a acessibilidade ou a conversão desses materiais (Hayes, 2013). Os métodos mais comuns de pré-tratamento estão agrupados em processos físicos, químicos e biológicos (Capek-Menard *et al.*, 1992).

Os pré-tratamentos físicos incluem moagem e extrusão, que visam aumentar a área superficial e a acessibilidade da biomassa (Lu *et al.*, 2022). Os pré-tratamentos químicos, com o uso de ácidos, bases ou solventes orgânicos, promovem a degradação ou remoção de lignina e hemicelulose, facilitando a extração da

celulose e a sua conversão em outros produtos (Nitsos *et al.*, 2013). Enquanto os pré-tratamentos biológicos utilizam microrganismos ou enzimas para degradar seletivamente os componentes da biomassa (Ying *et al.*, 2024). A escolha do método de pré-tratamento depende das características da biomassa, dos objetivos do processo, das ferramentas disponíveis e dos produtos desejados.

Em todos os casos, o pré-tratamento visa melhorar a eficiência das etapas subsequentes, tornando os materiais lignocelulósicos mais acessíveis e economicamente viáveis para diversas aplicações industriais (Nitsos *et al.*, 2013). Os pré-tratamentos funcionam como processos de separação, preparando a biomassa para uma conversão mais eficaz em produtos valiosos.

O pré-tratamento alcalino é uma técnica química amplamente aplicado na biomassa lignocelulósica para a extração de lignina e a solubilização parcial da hemicelulose, além de aumentar a acessibilidade da celulose. As soluções de hidróxido de sódio (NaOH) têm demonstrado grande eficácia nesse processo, devido à sua capacidade de romper as ligações éster e facilitar a separação dos componentes da biomassa (Kocabaş; Köle; Yağci, 2020).

Na literatura, o pré-tratamento alcalino é amplamente estudado sob diferentes condições experimentais e em diversos tipos de resíduos. Jia, Liu e Zhang (2016) investigaram o uso do pré-tratamento alcalino em espigas de milho a 170°C por 90 min, para extrair lignina e obter uma polpa celulósica. Capetti *et al.* (2024) utilizaram 1% de concentração de NaOH (p/v) a 120°C por 40 min para a produção enzimática de xilooligossacarídeos a partir do bagaço de cana-de-açúcar. Wang *et al.* (2024) aplicaram o pré-tratamento alcalino em madeira de choupo utilizando 4% de NaOH e temperaturas variando entre 130°C, 150°C e 170°C por 1 h, com o objetivo de extrair as frações, e posteriormente produzir levoglucosano.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi extrair e caracterizar as frações lignocelulósicas presentes nas fibras de coco (FC) utilizando o pré-tratamento alcalino. A fim de avaliar a eficácia deste método para separar as frações de celulose, hemicelulose e lignina, obtendo uma compreensão detalhada

do desempenho do processo sob condições brandas. Para isso, foram realizadas a caracterização química das partes líquida e sólida das amostras, além de análises estruturais por espectroscopia infravermelho por transformada de Fourier (FT-IR) e Análise Termogravimétrica (TGA).

## 2 Materiais e métodos

### 2.1 Preparo das amostras

As fibras de coco (FC) foram coletadas de frutos maduros provenientes de uma unidade industrial localizada na região Nordeste do Brasil. Inicialmente, as amostras foram secas e desfibriladas. Foi realizada a caracterização química e estrutural das amostras de fibras de coco *in natura*, e posteriormente foi realizado o processo de pré-tratamento.

### 2.2 Pré-tratamento Soxhlet

As FC foram inicialmente submetidas ao processo Soxhlet para remover extrativos e impurezas. Este procedimento consistiu na recirculação de álcool etílico 99,8% P.A. por 4 h à temperatura de ebulição, com uma taxa de 6 ciclos/h, posteriormente sendo secas em estufa a 50°C por 24 h.

### 2.3 Pré-tratamento alcalino

As amostras de FC, após o pré-tratamento com Soxhlet, foram submetidas ao pré-tratamento com solução de NaOH com concentração de 2% (m/m), e relação sólido:líquido de 1:25, a 55°C por 120 minutos, em banho-maria sob agitação mecânica. Após este tempo, as amostras foram neutralizadas até atingir pH 7,0 e filtradas a vácuo. O filtrado foi armazenado para análise de lignina insolúvel e solúvel, enquanto a polpa foi lavada com água destilada e seca (50°C por 24 h). As amostras celulósicas pré-tratadas foram reservadas para caracterização química e estrutural.

### 2.4 Caracterização química

#### Rendimento

O rendimento de cada etapa de pré-tratamento foi obtido com base na proporção entre a massa final da amostra após o processo e a massa inicial, conforme a Equação 1.

$$RD = \left( \frac{m_f}{m_i} \right) * 100 \quad (1)$$

Em que:

$m_f$ : massa final [g]

$m_i$ : massa inicial [g]

RD: rendimento de processo [%]

Com relação ao rendimento de lignina, este foi calculado com base na massa de lignina extraída pelo processo e na massa da amostra usada, conforme Equação 2.

$$RD = \left( \frac{L_e}{m_a} \right) * 100 \quad (2)$$

Em que:

$L_e$ : lignina extraída [g]

$m_a$ : massa da amostra [g]

RD: rendimento de lignina [%]

#### Concentração de lignina

A concentração de lignina insolúvel (LI) foi obtida pela precipitação de lignina do licor resultante do pré-tratamento, em meio ácido utilizando ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) até atingir pH 2 (Kauldhar *et al.*, 2021), com posterior centrifugação. O sobrenadante resultante foi utilizado para determinar a concentração de lignina solúvel (LS) e o precipitado foi novamente lavado e centrifugado para remover o ácido residual. A lignina obtida foi seca em estufa e posteriormente calculou-se a concentração de LI.

A concentração da LS foi determinada por meio da análise por espectroscopia UV-visível, utilizando o espectrofotômetro UV-visível *Bel Photonics, Modelo UV-M5*. Com base na leitura da absorbância no comprimento de onda de 280 nm (Tang *et al.*, 2014).

#### Número kappa

O número kappa foi utilizado para determinar o conteúdo de lignina remanescente nas amostras. Essa medida foi determinada de acordo com o procedimento padrão TAPPI T 236 om-99 (Tappi, 2006).

#### Holocelulose, $\alpha$ -celulose e hemicelulose

O teor de holocelulose foi determinado utilizando o material particulado da FC pré-

tratada com granulometria de 30 mesh. A amostra foi submetida a uma reação com ácido acético e clorito de sódio em banho-maria a 70°C por 4 h (Wise; Murphy; Adieco, 1946). Após este período, as amostras foram lavadas com acetona e secas à temperatura ambiente (Browning, 1967).

Para a determinação da  $\alpha$ -celulose, 1 g da amostra de holocelulose foi tratado com NaOH 17,5% (Ferreira *et al.*, 2022). A adição do NaOH foi feita em duas etapas, com diferentes quantidades e tempos de reação, em banho-maria a 20°C. Após essas etapas, foi adicionada água destilada à mistura, que permaneceu em banho-maria por mais 30 minutos. As amostras foram então filtradas, lavadas com NaOH 8,3% e água destilada, e em seguida tratadas com ácido acético (2 mol/L).

O teor de hemicelulose foi determinado a partir da diferença entre holocelulose e  $\alpha$ -celulose (Jakka *et al.*, 2023).

## 2.5 Caracterização estrutural

### FT-IR

Os espectros FT-IR foram obtidos a partir do espectrofotômetro FT-IR, *Modelo Spectrum Two*, com superfície de quartzo, em regiões de frequência de 4000-800  $\text{cm}^{-1}$  na fixação de refletância total atenuada horizontal (HATR).

### TGA

A análise termogravimétrica das amostras foi realizada com auxílio do equipamento Analisador Termogravimétrico *Modelo TGA-50*, sob atmosfera de nitrogênio. As amostras foram aquecidas desde a temperatura ambiente até 1000°C, em 10°C por minuto.

## 3 Resultados e discussão

### 3.1 Concentração de lignina

A Tabela 1 apresenta as frações de lignina solúvel (LS) e lignina insolúvel (LI) extraídas após o pré-tratamento alcalino nas fibras de coco. A concentração de LS refere-se à porção que é hidrolisada em formas monoméricas, obtida em pequenas quantidades. Enquanto a fração de LI representa as porções insolúveis, consistindo na lignina condensada, que normalmente compõe a maior parte da lignina nos tecidos vegetais. Este

comportamento foi observado nas amostras analisadas.

O rendimento de extração de lignina obtido foi de 15,30% (Tabela 1). Em comparação, o estudo de Rambo *et al.* (2020) alcançou um rendimento de 21,4% em cascas de coco, utilizando condições experimentais mais severas, incluindo 2 h de tratamento a 76,21°C e uma concentração de 4% de NaOH. Essa diferença sugere que condições mais intensas podem aumentar significativamente a eficiência da extração de lignina, embora também possam envolver custos e desafios operacionais adicionais.

Tabela 1 – Concentração de lignina no licor das amostras após pré-tratamento alcalino

| Rendimento do processo (%) | Rendimento de lignina (%) | Lignina solúvel (g/L) | Lignina insolúvel (g/L) |
|----------------------------|---------------------------|-----------------------|-------------------------|
| 90,00                      | 15,30                     | 2,21                  | 3,91                    |

Em relação ao rendimento do processo, foi obtido um alto valor, atingindo 90% (Tabela 1). Esse resultado pode ser atribuído ao papel estrutural e protetor da lignina na matriz da parede celular das plantas, onde confere rigidez e resistência à degradação (Yadav; Chattopadhyay, 2023). A remoção da lignina na biomassa torna sua estrutura mais suscetível à decomposição, resultando em uma relação inversa entre a eficiência da extração de lignina e o rendimento de sólidos. Isso ocorre porque a retirada de grandes quantidades de lignina tende a comprometer a integridade estrutural da biomassa, reduzindo assim o rendimento total.

### 3.2 Caracterização química

Como evidenciado na Tabela 2, após o pré-tratamento alcalino, o teor de holocelulose apresentou um leve aumento de 58,04% para 58,54%, indicando uma pequena melhora na preservação dos componentes celulósicos totais em relação a hemicelulose e lignina. A  $\alpha$ -celulose, que representa a fração mais pura e cristalina da celulose, mostrou um aumento substancial de 40,02% para 49,02%, sugerindo que o pré-tratamento alcalino foi eficaz na remoção de impurezas e componentes não celulósicos, melhorando a pureza da celulose. Por outro lado, a hemicelulose diminuiu significativamente de 18,02% para 9,52%, o

que pode ser atribuído à sua maior suscetibilidade à degradação em condições alcalinas.

O número kappa, que mede a quantidade de lignina residual, diminuiu ligeiramente de 45,51 para 43,10, indicando uma modesta remoção de lignina com o pré-tratamento alcalino (Tabela 2). É importante notar que parte da lignina precipitada pode permanecer na superfície da amostra após os processos de lavagem devido à queda de temperatura, o que pode resultar em maior valor de número kappa na amostra pré-tratada (Xu; Li; Zhang, 2007).

Desse modo, esses resultados destacaram a eficiência do pré-tratamento alcalino em melhorar a proporção da  $\alpha$ -celulose enquanto reduz a hemicelulose e uma fração de lignina, contribuindo para a obtenção de uma polpa mais rica em celulose.

Tabela 2 – Caracterização das amostras após pré-tratamento alcalino

| Amostra          | HL (%) | $\alpha$ -C (%) | HM (%) | Nº kappa |
|------------------|--------|-----------------|--------|----------|
| <i>In natura</i> | 58,04  | 40,02           | 18,02  | 45,51    |
| Alcalina         | 58,54  | 49,02           | 9,52   | 43,10    |

HL: holocelulose;  $\alpha$ -C:  $\alpha$ -celulose; HM: hemicelulose

A literatura documenta resultados distintos, atribuíveis às variações nas condições experimentais aplicadas ao pré-tratamento alcalino, embora os dados se apresentem relativamente próximos, quando comparados. Schiavon & Andrade (2023) reportaram a obtenção de 42,75% de celulose e 8,71% de hemicelulose em fibras de coco, empregando uma solução de 5% de NaOH durante 2 h. Din *et al.* (2021) alcançaram 40,14% de celulose e 12,64% de hemicelulose sob condições de 121°C por 40 min utilizando concentração de 1,25 mol/L de NaOH.

Esses estudos corroboram a eficácia do pré-tratamento alcalino na modificação da composição química das fibras de coco, demonstrando a variabilidade dos resultados em função das condições específicas de cada experimento.

### 3.3 Caracterização estrutural

#### FT-IR

Os picos de absorbância da análise de FT-IR em números de onda específicos refletem as mudanças no conteúdo dos componentes celulose, lignina e hemicelulose das amostras.

A presença de picos na região  $3300\text{ cm}^{-1}$  indica a concentração de grupos hidroxilas livres ou envolvidos em ligações de hidrogênio (Dumitriu, 2004). Esses grupos funcionais são característicos dos principais componentes da biomassa lignocelulósica, como celulose, hemicelulose e lignina (Moshi *et al.*, 2020). A intensidade desses picos permaneceu semelhante para amostra *in natura* e pré-tratada, conforme observado na Figura 1. Isto sugere que, apesar do pré-tratamento alcalino ter removido parte da lignina e hemicelulose, houve uma maior exposição da celulose na amostra resultante.

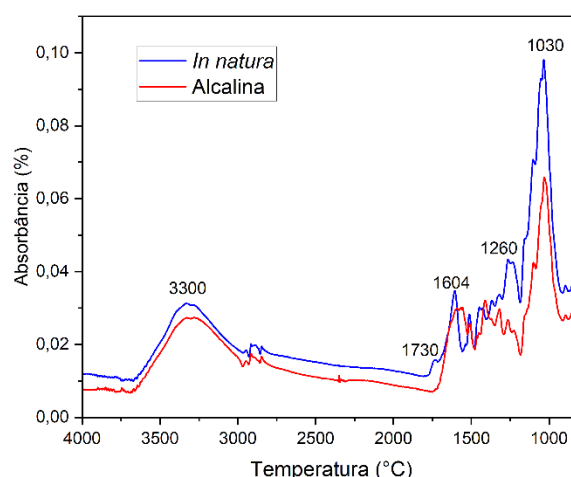


Figura 1 – FT-IR das fibras de coco *in natura* e alcalina

Também foram destacados os picos em  $1730$ ,  $1604$ ,  $1260$  e  $1030\text{ cm}^{-1}$  (Figura 1). Observou-se que os picos em  $1730$  e  $1260\text{ cm}^{-1}$  aparecem apenas na amostra *in natura*. A banda correspondente ao pico  $1730\text{ cm}^{-1}$  está associada a grupos carboxila, cetona, carbonila e acetila presentes na hemicelulose (Varol; Mutlu, 2023), o que indica a remoção de hemicelulose na amostra alcalina.

O pico presente na banda  $1260\text{ cm}^{-1}$  corresponde ao alongamento assimétrico de arabinose na hemicelulose e às ligações CO, CH e C=O em ésteres de ácido carboxílico ferúlico característicos da lignina (Cao *et al.*,

2015). A ausência ou menor intensidade desta banda na amostra alcalina indica a remoção ou redução de lignina e hemicelulose.

No pico de  $1604\text{ cm}^{-1}$  a amostra *in natura* apresentou uma intensidade significativa, enquanto a alcalina exibiu uma vibração de menor intensidade. Picos em  $1600\text{ cm}^{-1}$  estão associados às vibrações do anel aromático C= presente na lignina e ao grupo  $\text{COO}^-$  associado à hemicelulose (Latham *et al.*, 2022).

O pico em  $1030\text{ cm}^{-1}$ , presente em ambas as amostras, está associado ao alongamento C-O na celulose nativa. Essa banda confirma a presença contínua de celulose em ambas as amostras e sugere que, apesar do pré-tratamento alcalino, a celulose não foi significativamente alterada (Pandey; Theagarajan, 1997).

### TGA

A análise termogravimétrica (TGA) possibilitou a avaliação do comportamento térmico das fibras de coco, tanto *in natura* quanto pré-tratada. Em ambas as amostras, a perda de massa ao longo do aumento da temperatura ocorreu de maneira gradual, apresentando padrões de comportamento semelhantes, conforme ilustrado na Figura 2.

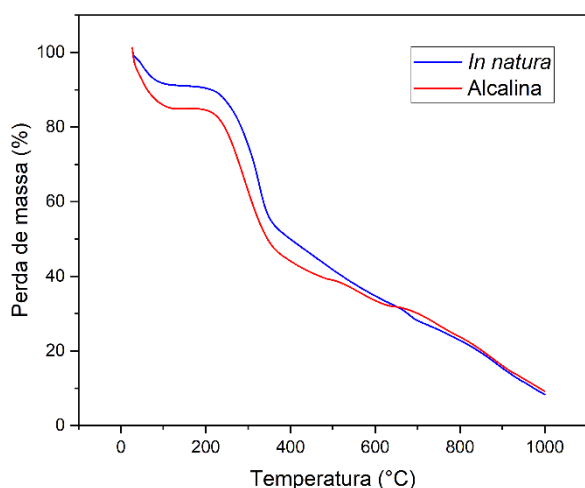


Figura 2 – TGA das fibras de coco *in natura* e alcalina

As curvas de TGA revelaram que a degradação térmica das amostras pode ser separada em três regiões: i)  $27^{\circ}\text{C} - 120^{\circ}\text{C}$ ; ii)  $200^{\circ}\text{C} - 400^{\circ}\text{C}$ ; e iii)  $> 450^{\circ}\text{C}$ . A primeira região refere-se à remoção de água da superfície, correspondente a umidade retida na biomassa e outros compostos voláteis. A segunda região está ligada aos componentes

orgânicos degradantes efetivos, incluindo hemicelulose, celulose e parcialmente a lignina. E a terceira região à despolimerização gradual da lignina e aos materiais carbonizados (Yang *et al.*, 2007).

Conforme mostrado na Tabela 3, as amostras apresentaram variações para cada região de perda de massa. A amostra alcalina apresentou uma perda de umidade maior em comparação à amostra *in natura*. Esse comportamento pode ser atribuído ao aumento da hidrofiliabilidade, resultante da quebra das ligações OH, que gerou grupos hidroxila ativos nas fibras (Sakuri; Surojo; Ariawan, 2020).

Na segunda região, ambas as amostras apresentaram um pico mais acentuado de perda de massa. Apresentando 37,80% de perda de massa para a amostra *in natura* e 40,82% para amostra alcalina, indicando uma degradação eficiente dos componentes hemicelulose e celulose presentes (Rueda-Ordóñez; Tannous, 2015). Isso evidencia uma maior concentração de celulose na amostra pré-tratada.

Tabela 3 – Perda de massa das amostras *in natura* e alcalina

| Amostra          | 1º Perda (%) | 2º Perda (%) | 3º Perda (%) |
|------------------|--------------|--------------|--------------|
| <i>In natura</i> | 8,80         | 37,80        | 37,53        |
| Alcalina         | 14,32        | 40,82        | 31,78        |

Desse modo, essas perdas de massa obtidas indicam uma maior concentração de celulose na amostra alcalina, decorrente da extração de hemicelulose e lignina, uma vez que, amostras com maior conteúdo de holocelulose e menor quantidade de lignina tendem a exibir uma maior perda de massa na segunda região de decomposição e menor perda na fase final. Esses valores também são sustentados pelos resultados apresentados na Tabela 2.

## 4 Conclusão

De maneira geral, os resultados obtidos demonstraram que o pré-tratamento alcalino, sob condições amenas, resultou na extração de hemicelulose e parte da lignina, levando ao aumento no conteúdo proporcional de holocelulose e  $\alpha$ -celulose. A redução no valor do número kappa confirmou a extração de

lignina das fibras, o que facilitou significativamente o acesso à celulose.

As modificações na estrutura química das amostras foram identificadas por meio das análises de FT-IR, que revelaram a presença de picos característicos de celulose e a ausência de picos correspondentes à lignina e hemicelulose. Esses efeitos foram ainda corroborados pelos resultados da análise TGA, que indicaram a extração de lignina e consequente concentração de celulose na amostra alcalina.

### Agradecimentos

Os autores agradecem as agências brasileiras de fomento à pesquisa Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), sob o Código de Finanças 001, fundação brasileira dentro do Ministério da Educação (MEC), o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), fundação brasileira vinculada ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação Tecnológica do Estado de Sergipe (FAPITEC/SE), a Universidade Federal de Sergipe – Campus São Cristóvão (UFS) e à Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT, Portugal) pelo apoio financeiro ao Centro de Investigação e Desenvolvimento em Sistemas Agroalimentares e Sustentabilidade (CISAS).

### Referências

BAUCHER, M.; HALPIN, C.; PETIT-CONIL, M.; BOERJAN, W. Lignin: genetic engineering and impact on pulping. **Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology**, v. 38, n. 4, p. 305-350, 2003.

BENSALAH, H.; RAJI, M.; ABDELLAOUI, H.; ESSABIR, H.; BOUHFID, R.; QAIS, A. E. K. Thermo-mechanical properties of low-cost “green” phenolic resin composites reinforced with surface modified coir fiber. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 112, p. 1917-1930, 2021.

BOREL, L. D. M. S.; LIRA, T. S.; ATAÍDE, C. H.; BARROZO, M. A. S. Thermochemical conversion of coconut waste: material characterization and identification of pyrolysis products. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 143, p. 637-646, 2021.

BROWNING, B. L. **Methods of wood chemistry**. Interscience Publishers, New York, 1967.

CAO, C.; YANG, Z.; HAN, L.; JIANG, X.; JI, G. Study on in Situ Analysis of Cellulose, Hemicelluloses and Lignin Distribution Linked to Tissue Structure of Crop Stalk Internodal Transverse Section Based on FTIR Microspectroscopic Imaging. **Cellulose**, v. 22, p. 139-149, 2015.

CAPEK-MENARD, E.; JOLLEZ, P.; CHORNET, E.; WAYMAN, M.; DOAN, K. Pretreatment of waste paper for increased ethanol yields. **Biotechnology letters**, v. 14, p. 985-988, 1992.

CAPETTI, C. C. M.; PELLEGRINI, V. A. O.; VACILOTTO, M. M.; CURVELO, A. A. S.; FALVO, M.; GUIMARAES, F. E. G.; ONTAÑON, O. M.; CAMPOS, E.; POLIKARPOV, I. Evaluation of hydrothermal and alkaline pretreatment routes for xylooligosaccharides production from sugar cane bagasse using different combinations of recombinant enzymes. **Food and Bioprocess Technology**, v. 17, p. 1752–1764, 2024.

DIN, N. A. S.; LIM, S. J.; MASKAT, M. Y.; ZAINI, N. A. M. Bioconversion of coconut husk fibre through biorefinery process of alkaline pretreatment and enzymatic hydrolysis. **Biomass Conversion and Biorefinery**, v. 11, p. 815-826, 2021.

DUMITRIU, S. **Polysaccharides: structural diversity and functional versatility**. CRC press, New York, 2004.

FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood Chemistry, Ultrastructure and Reactions**. Walter de Gruyter, Berlin, 1989.

FERREIRA, P. F.; PEREIRA, A. L.; ROSA, M. F.; SANTIAGO-AGUIAR, R. S. Lignin-rich cellulose nanocrystals from coir fiber treated with ionic liquids: preparation and evaluation as Pickering emulsifier. **Industrial Crops and Products**, v. 186, e115119, 2022.

HAYES, D. J. Biomass composition and its relevance to biorefining. In: TRIANTAFYLIDIS K. S.; LAPPAS, A. A.; STÖCKER, M. **The role of catalysis for the sustainable production of bio-fuels and bio-chemicals**. Amsterdã: Elsevier, 2013. p. 27-65.

JAKKA, V.; GOSWAMI, A.; NALLAJARLA, A. K.; ROY, U.; SRIKANTH, K.; SENGUPTA, S. Coconut coir-derived nanocellulose as an efficient adsorbent for removal of cationic dye safranin-O: a detailed mechanistic adsorption study. **Environmental Science and Pollution Research**, p. 1-22, 2023.

JIA, F.; LIU, H.; ZHANG, G.. Preparation of carboxymethyl cellulose from corncob. **Procedia Environmental Sciences**, v. 31, p. 98-102, 2016.

KAULDHAR, B. S.; SOOCH, B. S.; RAI, S. K.; KUMAR, V.; YADAV, S. K. Recovery of nanosized silica and lignin from sugarcane bagasse waste and their engineering in fabrication of composite membrane for water purification. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, n. 6, p. 7491-7502, 2021.

- KOCABAŞ, D. S.; KÖLE, M.; YAĞCI, S. Development and optimization of hemicellulose extraction bioprocess from poppy (*Papaver somniferum* L.) stalks assisted by instant controlled pressure drop (DIC) pretreatment. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 29, e101793, 2020.
- LATHAM, K. G.; MATSAKAS, L.; FIGUEIRA, J.; KOZYATNYK, I.; ROVA, U.; CHRISTAKOPOULOS, P.; JANSSON, S. Impact of temperature and residence time on the hydrothermal carbonization of organosolv lignin. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 166, e105623, 2022.
- LU, H.; ZHANG, L.; YAN, M.; WANG, K.; JIANG, J. Screw extrusion pretreatment for high-yield lignocellulose nanofibrils (LCNF) production from wood biomass and non-wood biomass. **Carbohydrate Polymers**, v. 277, e118897, 2022.
- MOSHI, A. A. M.; RAVINDRAN, D.; BHARATHI, S. R.; PADMA, S. R.; INDRAN, S.; DIVYA, D. Characterization of natural cellulosic fiber extracted from *Grewia damine* flowering plant's stem. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 164, p. 1246-1255, 2020.
- NITSOS, C. K.; MIHAİLOF, C. M.; MATIS, K. A.; LAPPAS, A. A.; TRIANTAFYLIDIS, K. S. The role of catalytic pretreatment in biomass valorization toward fuels and chemicals. In: TRIANTAFYLIDIS K. S.; LAPPAS, A. A.; STÖCKER, M. **The role of catalysis for the sustainable production of bio-fuels and bio-chemicals**. Amsterdã: Elsevier, 2013. p. 217-260.
- PANDEY, K. K.; THEAGARAJAN, K. S. Analysis of Wood Surfaces and Ground Wood by Diffuse Reflectance (DRIFT) and Photoacoustic (PAS) Fourier Transform Infrared Spectroscopic Techniques. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 55, p. 383-390, 1997.
- RAMBO, M. K.; MELO, P. M. D.; FERREIRA, M.; RAMBO, M. C.; BERTUOL, D. A.; MOTA, V. L. Optimization of alkaline, acidic, ionic liquid and oxidative pretreatments for coconut waste conversion into fermentable sugars. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 31, p. 904-915, 2020.
- RUEDA-ORDÓÑEZ, Y. J.; TANNOS, K. Isoconversional kinetic study of the thermal decomposition of sugarcane straw for thermal conversion processes. **Bioresource technology**, v. 196, p. 136-144, 2015.
- SAKURI, S.; SUROJO, E.; ARIAWAN, D. Thermogravimetry and interfacial characterization of alkaline treated cantala fiber/microcrystalline cellulose-composite. **Procedia Structural Integrity**, v. 27, p. 85-92, 2020.
- SCHIAVON, J. Z.; ANDRADE, J. J. O. Comparison between alternative chemical treatments on coir fibers for application in cementitious materials. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 25, p. 4634-4649, 2023.
- TANG, P. L.; HASSAN, O.; MD-JAHIM, J.; MUSTAPHA, W. A. W.; MASKAT, M. Y. Fibrous agricultural biomass as a potential source for bioconversion to vanillic acid. **International Journal of Polymer Science**, v. 2014, n. 1, e509035, 2014.
- TAPPI – Technical Association of the Pulp and Paper Industry. T 236: **Kappa number of pulp: Revision of T 236 om-99**. 2006.
- VAROL, E. A.; MUTLU, Ü. TGA-FTIR analysis of biomass samples based on the thermal decomposition behavior of hemicellulose, cellulose, and lignin. **Energies**, v. 16, n. 9, e3674, 2023.
- WANG, K.; PAN, J.; GAO, Y.; WU, G.; LIN, G.; DING, K.; HU, X.; ZHANG, S.; HUANG, Y. Effects of various pretreatments on fast pyrolysis of biomass to bio-oil: A case study of levoglucosan. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 177, e106300, 2024.
- WISE, L. E.; MURPHY, M. ADIECO, A. A. D. A chlorite holocellulose, its fractionation and bearing on summative wood analysis and studies on the hemicelluloses. **Tech Assoc Pap**, v. 29, p. 210-218, 1946.
- XU, Y.; LI, K.; ZHANG, M. Lignin precipitation on the pulp fibers in the ethanol-based organosolv pulping. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 301, n. 1-3, p. 255-263, 2007.
- YADAV, S.; CHATTOPADHYAY, D. Lignin: the building block of defense responses to stress in plants. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 42, n. 10, p. 6652-6666, 2023.
- YANG, H.; YAN, R.; CHEN, H.; LEE, D. H.; ZHENG, C. Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. **Fuel**, v. 86, n. 12-13, p. 1781-1788, 2007.
- YING, W.; CHUNJING, C.; JUNHUA, L.; XUAN, L.; ZHAOJIANG, W.; JIE, C. Efficient crop straws biotreatment using the fungus *Cerrena Unicolor* GC. u01. **AMB Express**, v. 14, n. 1, p. 28, 2024.