



Extração Verde de Lignina a partir do Bagaço de Cana-de-Açúcar

Erickson Lima¹
Luana Viana Ferreira Jorge²

Resumo: O bagaço de cana-de-açúcar é um resíduo agroindustrial abundante e constitui uma importante biomassa lignocelulósica para produção sustentável de bioenergia, bioetanol e outros produtos de valor agregado. Este trabalho apresenta a composição química do bagaço, os métodos de extração e pré-tratamento baseados em técnicas de extração verde, destacando o papel da lignina e das hemiceluloses para a conversão eficiente em biocombustíveis e compostos químicos como o ácido cítrico. A metodologia consiste em revisão bibliográfica e análise dos processos industriais atuais relacionados à valorização de biomassa. Os resultados indicam que os resíduos agroindustriais do bagaço, ricos em lignina, podem ser aproveitados de forma integrada para aumentar a eficiência energética e a sustentabilidade. Conclui-se que o uso de técnicas verdes na extração promove maior aproveitamento do bagaço para produção de etanol e outros bioprodutos, contribuindo para a redução de impactos ambientais e agregação de valor econômico.

Palavras-chave: Lignina; Resíduos Agroindustriais; Etanol; Ácido Cítrico; Extração Verde; Valorização de Biomassa.

Abstract: Sugarcane bagasse is an abundant agro-industrial residue and constitutes an important lignocellulosic biomass for the sustainable production of bioenergy, bioethanol, and other added-value products. This study presents the chemical composition of bagasse, extraction and pretreatment methods based on green extraction techniques, highlighting the role of lignin and hemicellulose for efficient conversion into biofuels and chemical compounds such as citric acid. The methodology consists of a bibliographic review and analysis of current industrial processes related to biomass valorization. The results indicate that agro-industrial residues from bagasse, rich in lignin, can be integrated to enhance energy efficiency and sustainability. It is concluded that the use of green extraction techniques promotes greater utilization of bagasse for ethanol production and other bioproducts, contributing to the reduction of environmental impacts and economic value addition.

Key-words: Lignin; Agro-industrial Residues; Ethanol; Citric Acid; Green Extraction; Biomass Valorization.

¹ Professor do curso Engenharia Química, pela UNIFATEB, campus Telêmaco Borba – e-mail: <erickson.lima@unifateb.edu.br>.

² Gradando do curso de Engenharia Química da UNIFATEB, campus Telêmaco Borba – e-mail: <luanaferreirajorge@gmail.com>.



1. INTRODUÇÃO

A produção de cana-de-açúcar no Brasil em 2025 está estimada em cerca de 663 a 669 milhões de toneladas, sendo o país o maior produtor mundial dessa matéria-prima (AGRICONLINE, 2023). Do processamento, gera-se o bagaço de cana, um resíduo lignocelulósico que representa aproximadamente 28% do peso da cana moída, resultando em mais de 180 milhões de toneladas anuais. Esse volume expressivo evidencia a relevância do seu aproveitamento para a produção sustentável de bioenergia, bioetanol e compostos químicos de valor agregado (ANTUNES *et al.*, 2022; VICENTE *et al.*, 2024).

O bagaço é uma biomassa lignocelulósica representativa, proveniente do processo de produção de açúcar e etanol. A valorização de resíduos agroindustriais está relacionada não apenas à bioenergia, mas também à extração de compostos de interesse, como o ácido cítrico (MEDEIROS, 2020).

A lignina, principal componente da biomassa, exerce papel crucial na resistência estrutural, mas também pode ser aproveitada para geração energética e síntese de produtos químicos (LIMA, 2022; LINO, 2015). Assim, a valorização do bagaço é fundamental para promover economia circular e reduzir os impactos ambientais associados ao manejo inadequado.

Diante da crescente demanda por soluções sustentáveis, este trabalho tem como objetivo investigar métodos de extração verde da lignina, com ênfase no uso de ácido cítrico como alternativa aos solventes convencionais (DU *et al.*, 2025; ABOLORÉ *et al.*, 2025).

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO BAGAÇO DE CANA

O bagaço é constituído por celulose (38–45%), hemicelulose (22–27%) e lignina (19–32%) (UNESP, 2023; YUAN *et al.*, 2021). A lignina se destaca por sua resistência à degradação, sendo fator determinante nos processos de conversão da biomassa em biocombustíveis.

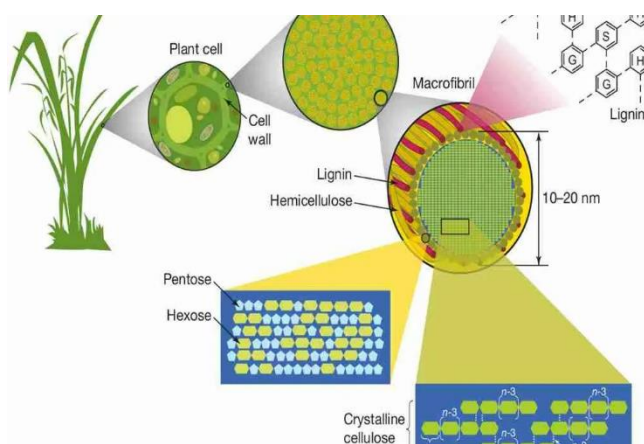
A lignina é um polímero complexo formado por unidades fenilpropanoides (H, G e S), cuja estrutura inclui ligações éter e carbono-carbono que conferem rigidez e



resistência química (LIMA, 2022; LINO, 2015). Seus grupos fenólicos e metoxi permitem aplicações industriais como antioxidantes e adesivos (RAÍZEN, 2024). Além disso, suas funcionalidades químicas possibilitam aplicações como adsorventes, polímeros e precursores químicos (SHERIDAN *et al.*, 2024).

A figura 1 apresenta as principais frações que constituem o bagaço: celulose, hemicelulose e lignina.

Figura 1 - Composição da planta da Cana de açúcar.



Fonte: Agriconline, (2023).

A composição química do bagaço de cana de açúcar é fundamental para entender o potencial de aproveitamento deste resíduo.

2.1.1 Química Orgânica da Lignina e suas Funcionalidades

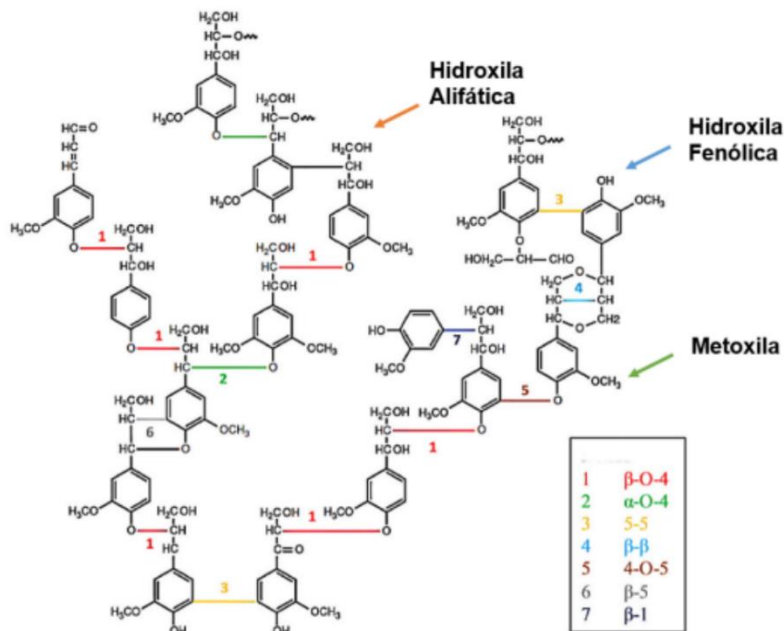
A lignina é um polímero complexo, tridimensional, formado pela condensação radicalar de unidades fenilpropanóides principais — p-cumaril (H), coniferil (G) e sinapil (S) álcoois — compostos que conferem diversidade estrutural à biomassa lignocelulósica. A estrutura da lignina é composta por ligações éter (β -O-4', α -O-4') e ligações carbono-carbono (β - β ', β -5' e 5-5'), que conferem rigidez e resistência química (LINO, 2015; LIMA, 2022; SHERIDAN *et al.*, 2024).

Macromolécula amorfa, tridimensional, altamente ramificada e heterogênea, formada por diferentes unidades fenólicas ligadas de maneira irregular, complexamente ramificado, formado por unidades fenilpropanóides, conforme ilustrado na Figura 2. Essa estrutura química confere resistência e rigidez à planta, dificultando a degradação e conversão da biomassa lignocelulósica. O conhecimento



detalhado dessa estrutura ajuda a otimizar os métodos de extração da lignina, possibilitando a valorização de seus múltiplos grupos funcionais para aplicações industriais e bioenergéticas (ANTUNES *et al.*, 2022).

Figura 2 – Estrutura molecular da lignina.



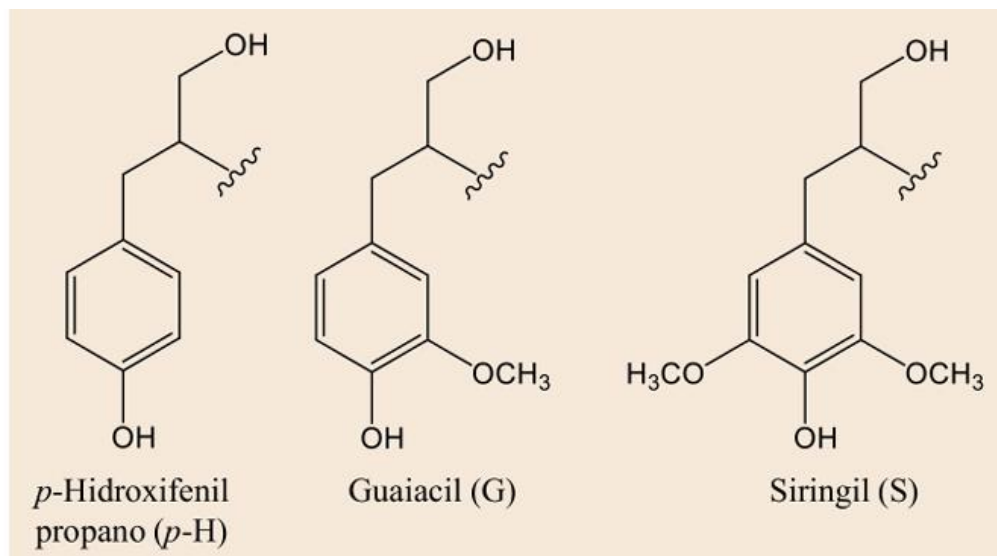
Fonte: LIMA, (2022).

Essa estrutura química confere resistência e rigidez à planta, dificultando a degradação e conversão da biomassa lignocelulósica. O conhecimento detalhado dessa estrutura ajuda a otimizar os métodos de extração da lignina, possibilitando a valorização de seus múltiplos grupos funcionais para aplicações industriais e bioenergéticas.

Os grupos fenólicos e metoxi na lignina permitem sua utilização na fabricação de produtos industriais com propriedades antioxidantes e adesivas, como mostra a Figura 3.



Figura 3. Funcionalidades Químicas da lignina.



Fonte: Raízen, (2024).

As hidroxilas alifáticas e carbonilas facilitam a interação com outras moléculas, ampliando possibilidades de uso como adsorventes e precursores químicos. As múltiplas funcionalidades químicas da lignina incluem grupos fenólicos, hidroxilas alifáticas, metoxi e carbonilas, que proporcionam propriedades antioxidantes, antimicrobianas e adsorventes (ANTUNES *et al.*, 2022; SHERIDAN *et al.*, 2024).

Esta versatilidade química permite sua utilização não apenas para geração de energia por combustão, mas também para síntese de produtos de valor agregado, como antioxidantes naturais, adesivos, materiais poliméricos, e precursores para compostos aromáticos (DU *et al.*, 2025; LIMA, 2022).

As Tabelas 1 e 2, apresentam informações importantes sobre a composição do bagaço de cana e a estrutura química da lignina, um dos seus principais componentes.

Tabela 1 - Composição química aproximada do bagaço de cana

Componente	Valor (%) para cada 100 g de matéria seca
Celulose	38 a 45
Hemicelulose	22 a 27
Lignina	19 a 32
Cinzas	1 a 3
Extrativos	2 a 5

Fonte: LINO, (2015)



A composição química do bagaço, apresentada na Tabela 1, evidencia que a celulose e a hemicelulose são carboidratos complexos cuja conversão resulta em açúcares fermentáveis para biocombustíveis.

Na Tabela 2 é mostrados os grupos funcionais da lignina.

Tabela 2 – Principais grupos funcionais na lignina

Grupo Funcional	Função	Aplicações relevantes
Fenol (-OH)	Antioxidante, reativo	Resinas, antioxidantes
Metoxi (-OCH ₃)	Influencia a solubilidade	Alteração de propriedades químicas
Hidroxila alifática	Hidratação e ligação	Adsorventes, polímeros
Carbonila (C=O)	Reatividade química	Síntese química

Fonte: LINO, (2015)

A lignina, entretanto, é o componente que confere rigidez e resistência à planta, o que pode dificultar essa conversão (Figura 2). Por isso, entender sua estrutura química (Tabela 2) é crucial para inovações nos processos de extração e aproveitamento.

2.2 MÉTODOS DE EXTRAÇÃO E PRÉ-TRATAMENTO

Os processos de extração verde, que utilizam agentes menos agressivos e técnicas sustentáveis, têm sido aplicados para fragmentar eficientemente a matriz lignocelulósica do bagaço (ABOLORÉ *et al.*, 2025; ALAM *et al.*, 2024). Esses métodos favorecem a remoção da lignina e a liberação da celulose e hemicelulose, essenciais para a produção de açúcares fermentáveis que são posteriormente convertidos em etanol (VICENTE *et al.*, 2024).

Paralelamente, a extração verde permite a recuperação de compostos de alto valor agregado, como o ácido cítrico, ampliando o aproveitamento da biomassa (MEDEIROS, 2020). O desenvolvimento tecnológico focado na valorização dos resíduos agroindustriais contribui para a geração de produtos multifuncionais a partir do bagaço.



2.2.1 Coleta e Preparação do Bagaço de Cana

A coleta do bagaço de cana-de-açúcar é realizada normalmente nas indústrias sucroalcooleiras após o processo de moagem da cana, onde o bagaço é separado como resíduo sólido (AGRICONLINE, 2025).

Para garantir a qualidade da biomassa para extração, o bagaço deve ser devidamente seco para reduzir o teor de umidade, o que evita o crescimento microbiano e degradação. Posteriormente, o bagaço é triturado para aumentar a área de superfície, facilitando a penetração dos solventes durante os processos químicos. A preparação adequada do material é um passo fundamental para a eficiência dos tratamentos de extração e conversão (RODRIGUES *et al.*, 2020).

2.2.2 Processos de Extração da Lignina com Solventes

A extração de lignina do bagaço pode ser realizada por métodos químicos, sendo comum o uso de solventes orgânicos como etanol, acetona ou misturas aquosas destes solventes, que permitem a dissolução seletiva da lignina (HAGEDORN *et al.*, 2020; SILVA, 2014). Nessa técnica, o bagaço pré-triturado é submetido a um tratamento com solventes sob controle de temperatura e agitação para promover a solubilização da lignina.

A escolha do solvente e das condições operacionais (temperatura, tempo e proporção sólido/solvente) influenciam diretamente a pureza e o rendimento da lignina extraída. Após a extração, a lignina é precipitada por adição de água ou ajuste do pH, seguida de filtragem e secagem para obtenção do produto (SHERIDAN *et al.*, 2024).

2.2.3 Extração de Compostos com Ácido Cítrico

O ácido cítrico, obtido por fermentação de microrganismos, também pode ser usado como agente extrator verde para a lignina e outros compostos fenólicos do bagaço (MEDEIROS, 2020). Essa técnica aproveita o caráter orgânico e biodegradável do ácido cítrico, que em solução aquosa promove a quebra seletiva das ligações na matriz lignocelulósica, facilitando a liberação de lignina e



hemiceluloses.

O processo ocorre em temperaturas moderadas, sendo eficiente para recuperação de compostos bioativos sem a geração de resíduos tóxicos. Após a extração, a solução é filtrada, e a lignina pode ser recuperada por processos de concentração e precipitação (DU *et al.*, 2025).

2.3 APLICAÇÕES DOS RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS

Além da produção de bioetanol, os resíduos de bagaço com alto teor de lignina são utilizados para geração de energia por meio da combustão ou gaseificação, promovendo a autossuficiência energética nas usinas (VIVIAN *et al.*, 2022).

A valorização integral promove a fabricação de briquetes e outros produtos sustentáveis, reduzindo resíduos descartados e potencializando a economia circular (VAZ JÚNIOR, 2020). O uso de técnicas de extração verde assegura maior eficiência e menor impacto ambiental no manejo desses resíduos agroindustriais (EMBRAPA, 2025).

2.4 METODOLOGIA

Este trabalho será desenvolvido com base em uma revisão bibliográfica aprofundada, utilizando fontes científicas e técnicas que abordam a composição química do bagaço de cana-de-açúcar, os métodos de extração da lignina e suas aplicações industriais. A pesquisa futura incluirá a análise comparativa de técnicas de extração verde, com foco especial no uso de ácido cítrico como alternativa sustentável aos solventes convencionais.

Além da revisão teórica, está previsto o desenvolvimento experimental em laboratório, onde serão realizados testes de extração da lignina a partir do bagaço utilizando diferentes condições operacionais (temperatura, tempo, concentração de ácido). Os extratos obtidos serão caracterizados quanto à pureza, rendimento e potencial antioxidante, visando aplicações em formulações sustentáveis.

A metodologia também incluirá a avaliação da viabilidade técnica e ambiental



EPIC 2025

XII ENCONTRO DE PESQUISA, XVI ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E
II ENCONTRO DE ENSINO E EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA



dos processos propostos, considerando aspectos como reaproveitamento de resíduos, redução de impactos ambientais e potencial de valorização econômica. Os resultados esperados contribuirão para o avanço de tecnologias limpas e para o fortalecimento da bioeconomia regional.

2.4 RESULTADOS ESPERADOS

Espera-se que a aplicação de técnicas de extração verde, especialmente com o uso de ácido cítrico, resulte em uma lignina com alta pureza, boa atividade antioxidante e potencial para aplicações industriais sustentáveis. A caracterização dos extratos obtidos permitirá avaliar sua viabilidade como matéria-prima para formulações cosméticas, adesivos naturais e materiais poliméricos.

Além disso, prevê-se que o aproveitamento integrado do bagaço de cana contribua para a redução de resíduos agroindustriais, valorização da biomassa e fortalecimento da economia circular. Os resultados também devem demonstrar que o uso de métodos menos agressivos pode minimizar impactos ambientais e otimizar o rendimento dos processos de conversão, promovendo avanços na bioeconomia regional.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O bagaço de cana-de-açúcar, dentro do contexto da biomassa lignocelulósica e resíduos agroindustriais, apresenta grande potencial para produção sustentável de etanol, energia e compostos como ácido cítrico, quando associado a técnicas inovadoras de extração verde e valorização da lignina.

Esse enfoque possibilita reduzir a poluição ambiental e agregar valor econômico relevante à cadeia produtiva sucroalcooleira. Necessitam-se avanços contínuos nos processos para otimizar custos e eficiência, consolidando a viabilidade industrial e ambiental dos bioprodutos derivados do bagaço.

A valorização da lignina representa um avanço estratégico para a bioeconomia brasileira, promovendo inovação sustentável e aproveitamento inteligente de



resíduos agroindustriais

4. AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pela força, sabedoria e saúde durante todo o desenvolvimento deste trabalho. Manifesto minha profunda gratidão ao meu esposo, pelo apoio incondicional, incentivo e companheirismo. Agradeço também ao professor Erickson, por sua orientação técnica, paciência e valiosas contribuições. Por fim, registro meu agradecimento à UNIFATEB, pela oportunidade e estrutura disponibilizadas para a realização desta pesquisa.



REFERÊNCIAS

ABOLORÉ, R. S. *et al.* **A comprehensive review on sustainable lignin extraction strategies: chemical and physical insights.** *Journal of Cleaner Production*, v. 405, p. 136498, 2025.

AGRICONLINE. **Aprendendo a morfologia da cana-de-açúcar.** Disponível em: <https://agronline.com.br/portal/artigo/aprendendo-a-morfologia-da-cana-de-acucar/>. Acesso em: 19 set. 2025.

ALAM, M. M. *et al.* **Efficient and environmentally friendly techniques for lignin extraction: a review.** *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 12, n. 2, p. 109288, 2024.

ANTUNES, F. *et al.* **A review on the valorization of lignin from sugarcane by-products: extraction, separation, and applications.** *Industrial Crops and Products*, v. 170, p. 113822, 2022.

DU, Y. P. *et al.* **Efficient pre-treatment of bagasse to enhance the cellulose and lignin valorization by the combination of metal-based ionic liquid and organic acid.** *Bioresource Technology*, v. 370, p. 128525, 2025.

EMBRAPA. **Extração de lignina de bagaço de cana-de-açúcar.** Embrapa Agroindústria Tropical. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/4966/extracao-de-lignina-de-bagaco-de-cana-de-acucar>. Acesso em: 20 set. 2025.

HAGEDORN, J. P. *et al.* **Estudo da extração da lignina oriunda do bagaço de cana-de-açúcar.** In: Simpósio de Ciência, Tecnologia e Inovação – SICITE, 2020, Londrina. Anais [...]. Londrina: UTFPR, 2020. Disponível em: <https://eventos.utfpr.edu.br/sicite/sicite2020/paper/viewFile/5949/2091>. Acesso em: 19 set. 2025.

LIMA, Érickson Alex de. **Obtenção e caracterização de lignina kraft utilizando resíduos industriais.** 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2022.

LINO, A. G. **Composição química e estrutural da lignina e lipídios do bagaço e palha da cana-de-açúcar.** Tese (Doutorado em Agroquímica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015. Disponível em: <https://locus.ufv.br/server/api/core/bitstreams/ceea36af-57ce-4804-a760-86a4514f0a84/content>. Acesso em: 19 set. 2025.

MEDEIROS, A. D. L. **Estudo da produção de ácido cítrico a partir de resíduos agroindustriais.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2020.



EPIC 2025

XII ENCONTRO DE PESQUISA, XVI ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E
II ENCONTRO DE ENSINO E EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA



RAÍZEN. **Lignina: o que é e como ela pode ser usada na indústria.** Disponível em: <https://www.raizen.com.br/blog/lignina>. Acesso em: 19 set. 2025.

RODRIGUES, J. S. *et al.* **Isolamento e caracterização de lignina acetossolvente do bagaço de cana-de-açúcar.** *Revista Virtual de Química*, v. 12, n. 2, p. 560-575, 2020.

SHERIDAN, E. *et al.* **A systematic study on the processes of lignin extraction and nanolignin production: chemical structure and molecular weight considerations.** *Green Chemistry*, v. 26, n. 5, p. 1500-1514, 2024.

SILVA, F. S. **Obtenção de fibra de carbono a partir da lignina do bagaço de cana-de-açúcar.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

UNESP. **Caracterização e estudo do comportamento térmico de ligninas obtidas do bagaço de cana-de-açúcar.** Repositório Institucional da UNESP, 2023. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/items/83781d45-bc20-4fbd-a244-ad7031f2aa85>. Acesso em: 19 set. 2025.

VAZ JÚNIOR, S. **Aproveitamento de resíduos agroindustriais: uma abordagem sustentável.** Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2020. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1126255/1/S-VAZ-Aproveitamento-de-resi769duos-agroindustriais.pdf>. Acesso em: 20 set. 2025.

VICENTE, M. S. *et al.* **Resíduos agroindustriais utilizados para fabricação de etanol de segunda geração.** *Ciência e Tecnologia: FATEC-JB*, v. 3, n. 5, p. 89-98, 2024.

VIVIAN, M. A. *et al.* **Caracterização do bagaço de cana-de-açúcar e suas potencialidades para geração de energia e polpa celulósica.** *MyB*, v. 28, n. 1, e2812376, 2022. Disponível em: <https://scielo.org.mx/pdf/mb/v28n1/2448-7597-mb-28-01-e2812376.pdf>. Acesso em: 20 set. 2025.

YUAN, Y. *et al.* **Avanços recentes na compreensão dos efeitos das ligninas na sacarificação enzimática para produção de bioetanol.** *Biotechnology for Biofuels*, v. 14, n. 1, p. 1-15, 2021.