

OBTENÇÃO DE PAPEL A PARTIR DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR - UM ESTUDO INTERDISCIPLINAR NO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

Autores: André L. C. Simões¹; Leticia Q. Pereira²; Marta C. Picardo³; Louis Fellipe Olavo das Virgens⁴; Marcelo Manoel Moraes da Silva⁵

¹Professor da Faculdade SENAI CETIQT, Rio de Janeiro, Brasil. E-mail: alsimoes@cetiqt.senai.br

²Professor da Faculdade SENAI CETIQT, Rio de Janeiro, Brasil. E-mail: lquinello@cetiqt.senai.br

³Professor da Faculdade SENAI CETIQT, Rio de Janeiro, Brasil. E-mail: mcpicardo@cetiqt.senai.br

⁴Alunos de Engenharia Química, Faculdade SENAI, SENAI CETIQT, Rio de Janeiro, Brasil. E-mail: lfellipe07.lycbl@gmail.com

⁵Alunos de Engenharia Química, Faculdade SENAI, SENAI CETIQT, Rio de Janeiro, Brasil. E-mail: marcelomanoelmoraes@gmail.com

Palavras-Chave: Química Verde, Ensino de Química, Economia Circular.

Introdução

A educação profissional moderna, especialmente na área de Engenharia Química, enfrenta o desafio de preparar profissionais com um perfil holístico, que compreenda não apenas os eixos técnico e científico, mas também aspectos gerenciais e sociais, alinhados com a rápida evolução do conhecimento e as demandas do mercado de trabalho. A experimentação em laboratório e a vivência prática são fundamentais para o desenvolvimento de competências e habilidades, transformando o aprendizado em um processo exploratório, divertido e instigante à curiosidade científica e à criatividade. É crucial o desenvolvimento de soluções diversificadas e de baixo custo para tornar a aula atraente e de qualidade, especialmente em tempos de escassez de verbas para a educação.

Nesse contexto, a Metodologia SENAI de Educação Profissional (MSEP) surge como um arcabouço teórico e prático que visa a formação integral do aluno, enfatizando o desenvolvimento de capacidades, a mediação da aprendizagem, a interdisciplinaridade e a contextualização do conhecimento com o mundo do trabalho e as práticas sociais. A MSEP promove uma ruptura com práticas tradicionais, posicionando o aluno como protagonista de sua aprendizagem e o docente como mediador, buscando a construção de conhecimentos de forma ativa e significativa.

Este trabalho se propõe a apresentar a aplicação prática da Metodologia SENAI em um módulo do curso de Engenharia Química, focado no "Desenvolvimento de Produto", que integra as unidades curriculares de Planejamento de Produto, Obtenção de Produto e Caracterização de Produto. O objetivo é demonstrar como a abordagem metodológica, centrada em situações de aprendizagem desafiadoras e na integração teoria-prática, contribui para a consolidação de

conhecimentos e o desenvolvimento de competências relevantes para a indústria. O projeto específico desenvolvido pelos alunos foi a produção de papel a partir do bagaço de cana-de-açúcar, um resíduo agroindustrial abundante no Brasil. Esta abordagem alinha-se aos princípios da química verde e da economia circular, ao buscar a valorização de subprodutos e a redução de resíduos

Metodologia

A metodologia adotada para este estudo de caso baseou-se na aplicação dos princípios da MSEP, em que o desafio proposto aos alunos foi investigar a cadeia de valor do glicerol como precursor de produtos comerciais de maior valor agregado. Embora o contexto inicial fosse o glicerol, o projeto prático executado pelos alunos foi a obtenção de papel a partir do bagaço de cana-de-açúcar, um resíduo agroindustrial.

A estratégia de aprendizagem desafiadora principal foi a Pesquisa Aplicada, complementada por elementos de Projeto, Situação-Problema e Estudo de Caso, conforme as atividades detalhadas nas unidades curriculares.

1. Planejamento de Produto: Os alunos foram desafiados a definir um produto à base de glicerol (que se adaptou para o bagaço de cana-de-açúcar) e sua rota de obtenção, considerando parâmetros, reações de síntese e mecanismos, além de avaliar a rota pelos princípios da Química Verde. Isso envolveu pesquisa bibliográfica e análise de tendências para identificar oportunidades de inovação e *gaps* de mercado. A prospecção tecnológica, análise de dados e *benchmarking* com outras indústrias foram ferramentas essenciais. A estimativa de custos para a obtenção do produto, considerando o ciclo de vida, também foi parte dessa fase.

2. Obtenção de Produto: Nesta etapa, os alunos executaram o processo de obtenção do produto (papel de bagaço de cana-de-açúcar) utilizando o planejamento experimental. Foi aplicado um planejamento fatorial 2^2 para avaliar o tempo de reação e a concentração de NaOH na extração de lignina (variáveis independentes), Tabela 1. As variáveis dependentes foram a extração de lignina, quantificada por espectroscopia UV-Vis, e o rendimento do papel. Ensaios de separação e purificação foram realizados, e a legislação e normas de saúde, segurança e responsabilidade socioambiental foram consideradas. A execução em laboratório envolveu técnicas de tratamento alcalino do bagaço e produção de papel.

Tabela 1: Matriz 2^2 do planejamento experimental utilizado na quantificação da extração da lignina

Experimentos	Variáveis		Variáveis	
	Tempo (h)	NaOH (M)	Tempo (h)	NaOH (M)
1	1	0,5	(-1)	(-1)
2	1	1	(-1)	(+1)
3	4	0,5	(+1)	(-1)
4	4	0,5	(+1)	(+1)

Fonte: Elaborado pelos autores

3. *Caracterização de Produto*: Os produtos obtidos foram submetidos a ensaios de separação e purificação, além de caracterização físico-química. Foram realizadas análises fundamentais como densidade, viscosidade, ponto de ebulição e fusão, e testes de solubilização. Análises espectrofotométricas (UV-Vis, FTIR). A destinação dos rejeitos foi proposta de acordo com as normas ambientais e de segurança. A Figura 1 apresenta o Fluxograma do processo completo de obtenção do produto.

A avaliação foi contínua e formativa, com foco na análise de relatórios, seminários, provas práticas e observação comportamental. Os alunos foram incentivados à reflexão sobre suas ideias e ao feedback construtivo, buscando aprimorar planos e projetos.

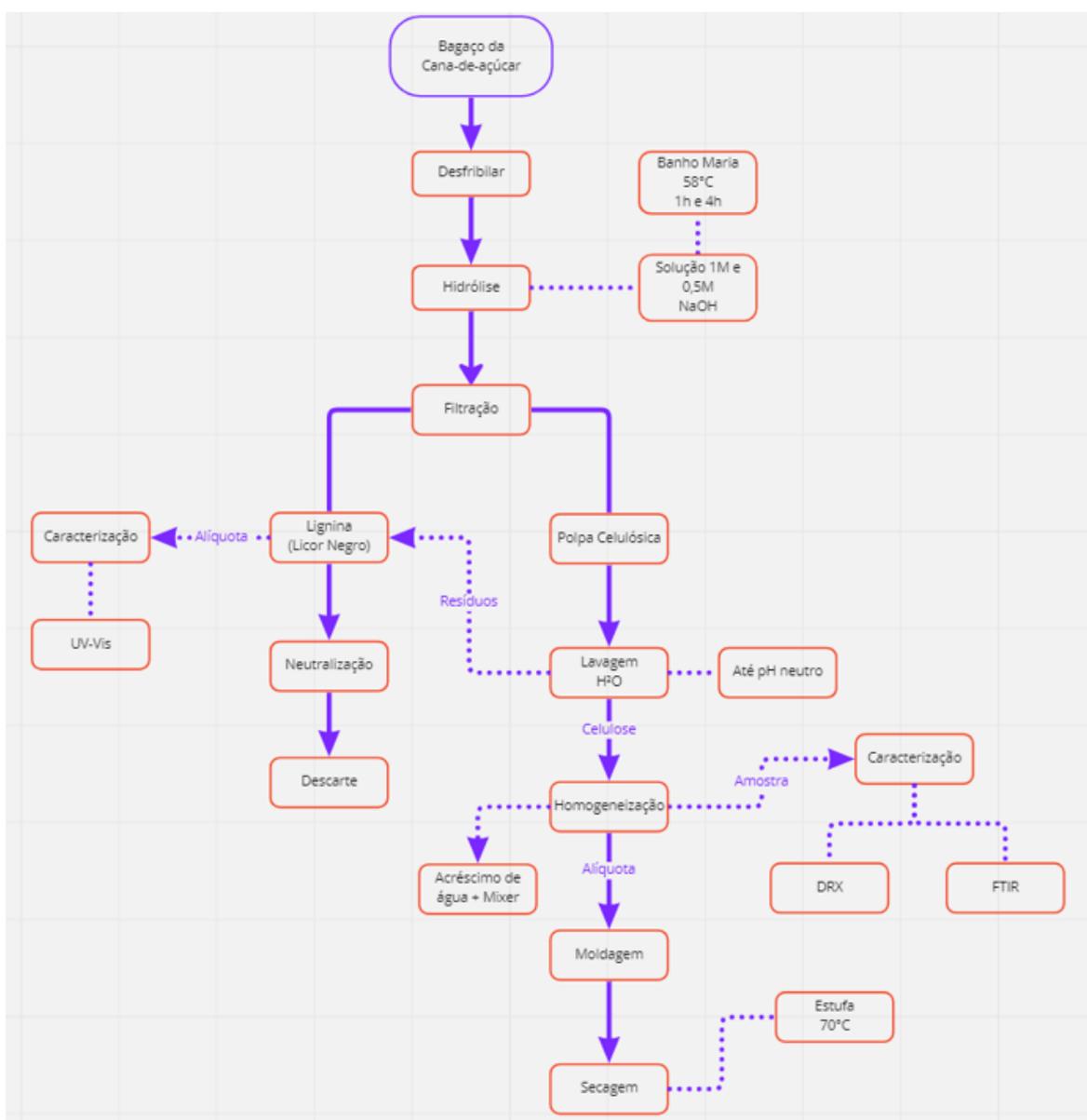


Figura 1: Fluxograma do processo completo de obtenção do produto

Fonte: Elaborado pelos autores

Resultados e Discussão

A aplicação da metodologia no módulo "Desenvolvimento de Produto" resultou em experiências significativas para os alunos, que puderam vivenciar o ciclo completo de prospecção, obtenção e caracterização de um produto, utilizando o bagaço de cana-de-açúcar como matéria-prima.

Planejamento de Produto: A fase de planejamento de produto, embora desafiadora, foi crucial para a compreensão da cadeia de valor do bagaço de cana-de-açúcar. A pesquisa de mercado e a identificação de gaps estimularam o pensamento crítico e a busca por soluções inovadoras para a produção de papel. Os alunos realizaram benchmarking, utilizando ferramentas de data mining e análise de dados para identificar oportunidades de inovação. A definição da rota de obtenção, avaliando os princípios da Química Verde (como o uso de matéria-prima renovável e a minimização de resíduos), permitiu uma compreensão mais profunda da sustentabilidade no desenvolvimento de produtos. A estimativa de custos e a análise de riscos também foram atividades que desenvolveram competências gerenciais e de planejamento, preparando os alunos para os desafios reais da indústria.

Obtenção de Produto: A execução do planejamento experimental para a obtenção do papel a partir do bagaço de cana-de-açúcar demonstrou a importância da otimização de processos. A aplicação do planejamento fatorial 2² permitiu aos alunos entender a relação entre as variáveis de tempo de reação e concentração de NaOH na extração da lignina.

Os resultados da produção de papel revelaram rendimentos variados, sendo 50,50% e 47,55% para as condições de 1,0 M de NaOH por 1 hora, e 34,14% e 40,38% para 1,0 M de NaOH por 4 horas. Para 0,5 M de NaOH, os rendimentos foram de 28,8% e 51,89% para 1 hora, e 46,62% e 46,21% para 4 horas. A alta quantidade de rejeitos produzidos (total de 8,250 L com as duplicatas) indicou que o método pode ser excluído para produção de papel, mas é recomendado para avaliação via Processo Kraft, conforme observado na Tabela 2. A neutralização dos rejeitos foi realizada com ácido sulfúrico, fenolftaleína e hidróxido de sódio, e o pH foi controlado com papel indicador

Tabela 2: Resultados obtidos na obtenção do papel

Concentração (mol/l)	Tempo (h)	Massa do Bagaço (g)	Massa do Papel (g)	Rendimento (%)	Absorbância da Lignina*
1,0	1	8,340	4,211	50,50	0,185
1,0	4	8,344	2,849	34,14	0,191
0,5	1	8,340	2,401	28,80	0,256
0,5	4	8,340	3,888	46,62	0,133

* Obtida por Técnica de Ultravioleta

Fonte: Elabora pelos autores

Caracterização de Produto: A etapa de caracterização foi fundamental para a análise das propriedades do papel produzido. Embora não tenha sido possível determinar a quantidade exata de lignina extraída utilizando UV-Vis devido à falta de um "padrão", as caracterizações das amostras de celulose por FTIR e DRX indicaram fortes indícios da presença do polímero. As diferenças observadas em comparação com a literatura foram atribuídas a possíveis resquícios de lignina não extraída. O FTIR dos papéis produzidos (1h 1,0 mol/l, 1h 0,5 mol/l, 4h 1,0 mol/l, 4h 0,5 mol/l) apresentou picos característicos de O-H, C-H alifáticos (lignina), C=C aromáticos (lignina) e C-O de éteres, observados na Figura 2. Esses grupos funcionais estão de acordo com a literatura (Quinelato, 2016; Ramos, 2019).

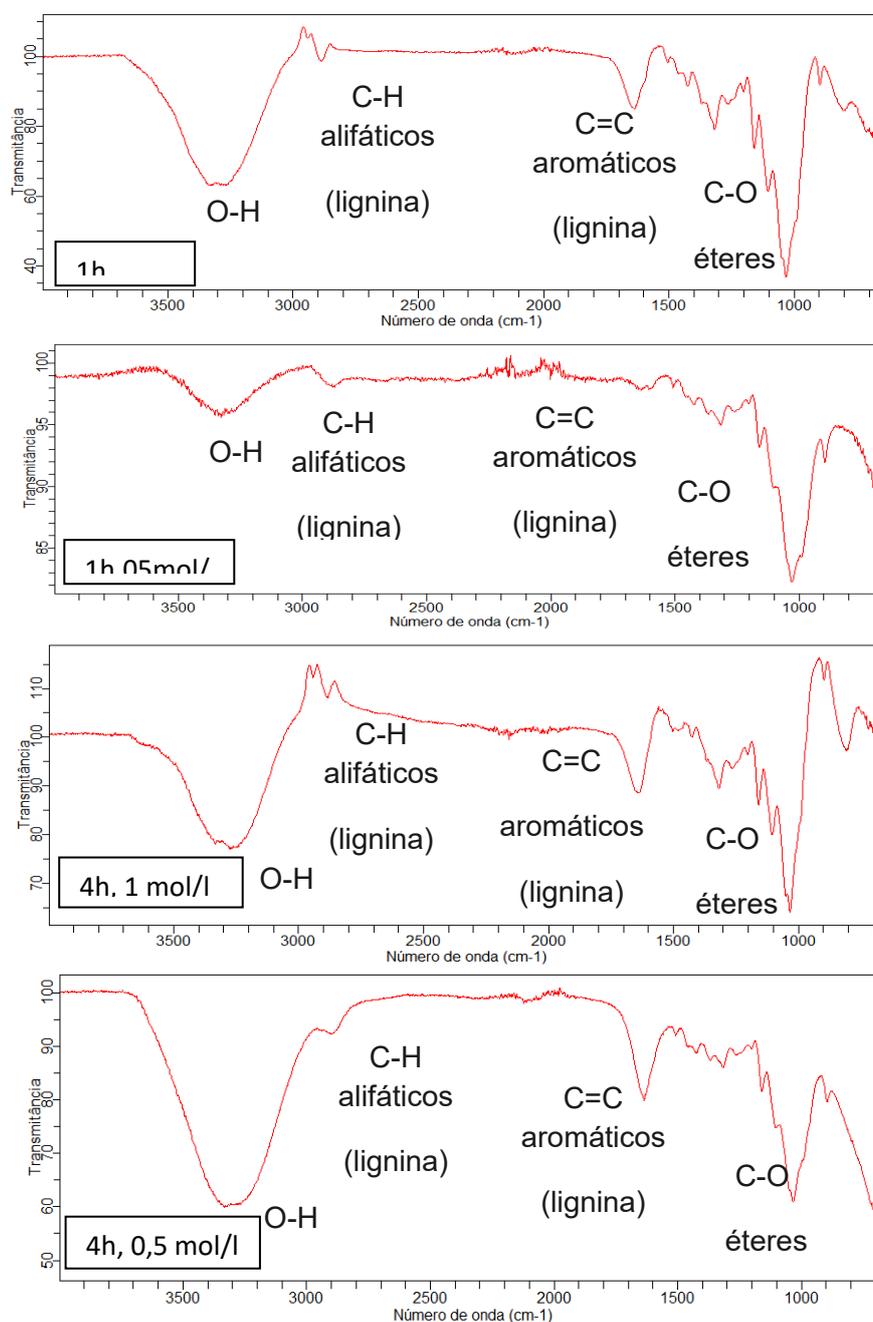


Figura 2: Espectros de FTIR das amostras de papel

Fonte: Elaborada pelos autores

A Figura 3 apresenta as fotos dos papéis obtidos nas sínteses.

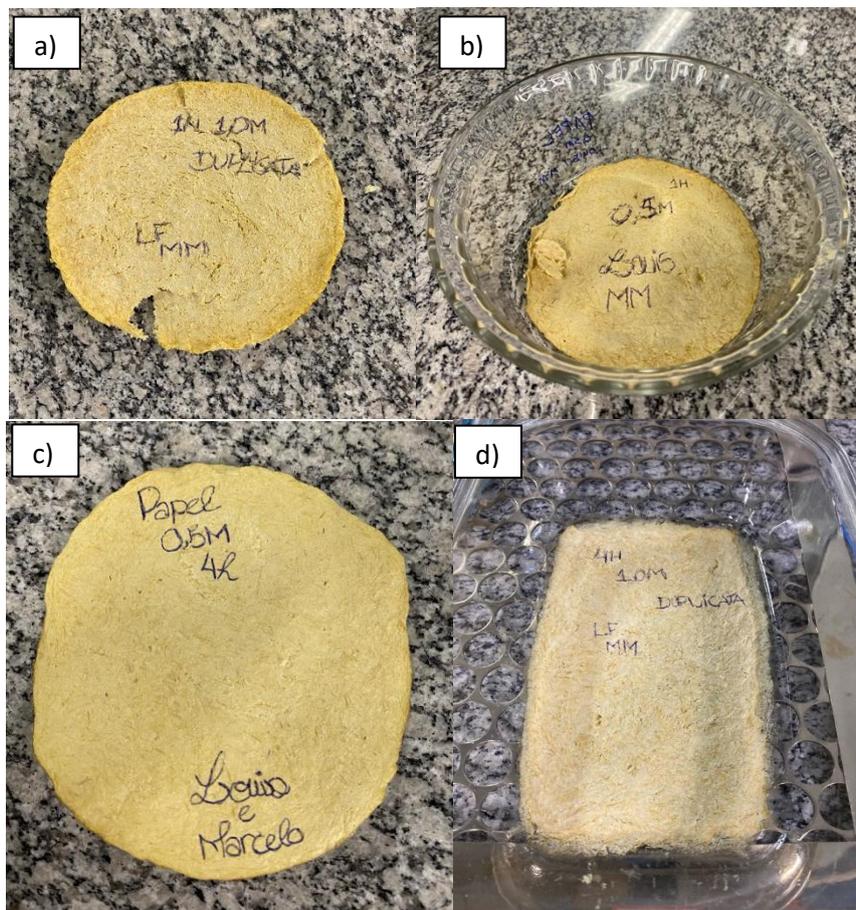


Figura 3: Amostras dos papéis obtidos: a) 1h, 01 mol/l; b) 1h, 05 mol/l; c) 4h, 0,5 mol/l; 4h, 1,0 mol/l

Fonte: Elabora pelos autores

As amostras de papel também tiveram a fração de lignina analisadas por difração de Raios-X (Figura 4). Os resultados da análise apresentaram, para todas as amostras de lignina, picos de difração característicos da substância, em $2\theta = 17$ e 22° , responsáveis pelos planos cristalográficos (101) e (002) de maior intensidade. Esses resultados estão em concordância com a literatura (Silva, 2022).

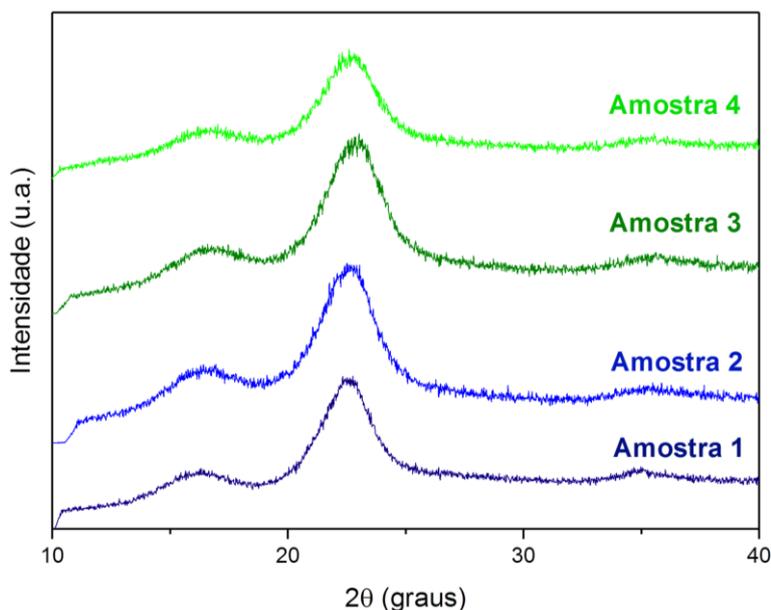


Figura 4: Difração de Raios-X. 1h, 01 mol/l (amostra 1); b) 1h, 05 mol/l (amostra 2); c) 4h, 0,5 mol/l (amostra 3); 4h, 1,0 mol/l (amostra 4).

Fonte: Elaborada pelos autores

Conclusões

A aplicação da Metodologia SENAI no módulo de "Desenvolvimento de Produto", com foco na obtenção de papel a partir do bagaço de cana-de-açúcar, demonstrou ser uma abordagem eficaz para a consolidação de conhecimentos e o desenvolvimento de competências essenciais na área de Engenharia Química. A integração das unidades curriculares de Planejamento, Obtenção e Caracterização de Produto, por meio de situações de aprendizagem desafiadoras e contextualizadas, proporcionou aos alunos uma vivência prática do ciclo completo de desenvolvimento de um produto.

Foi possível verificar que o bagaço de cana-de-açúcar pode ser utilizado como matéria-prima renovável para a produção de papel, alinhando-se aos princípios da economia circular e da sustentabilidade. Embora a quantificação da lignina por UV-vis tenha apresentado desafios devido à falta de um padrão, as análises de FTIR e DRX confirmaram a presença da celulose nas amostras.

A abordagem pedagógica, que incentivou a reflexão, a formulação de hipóteses e a análise crítica dos resultados, mesmo quando inesperados, foi crucial para o desenvolvimento das capacidades cognitivas dos alunos. O trabalho em grupo e a mediação do professor foram fundamentais para a construção colaborativa do conhecimento e o aprimoramento das habilidades sociais e organizacionais, comprovando a eficácia da interface teoria-prática.

Este estudo corrobora a importância de abordagens inovadoras no ensino de química, que integrem a experimentação e a contextualização com as demandas reais da indústria. A utilização de subprodutos e resíduos, como o bagaço de cana-de-açúcar, como objeto de estudo,

não só promove a sustentabilidade, mas também estimula a criatividade e a busca por soluções inovadoras nos futuros profissionais de engenharia química.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Faculdade SENAI CETIQT pela oportunidade de desenvolver e aplicar esta metodologia de ensino.

Referências

QUINELATO, Cristiane. **Métodos de extração da lignina do bagaço da Cana-de-açúcar da região noroeste do estado de São Paulo**. Dissertação de mestrado, 2016. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/00612e6f-9067-4d24-97a8-bbd7bfbbc2a2/content>>. Acesso em: 3 jun. 2025.

RAMOS, J. et al. Fabricação de papel utilizando celulose extraída do bagaço de cana-de-açúcar com adição de amido, extraído da casca de batata, como aditivo. **Revista Técnico-Científica do IFSC**, v. 2, p. 40–51, 2019.

SENAI. **Metodologia SENAI de educação profissional**. Brasília: SENAI/DN, 2019.

SILVA, Luma Karla da. **Obtenção e caracterização de filmes celulósicos a partir do bagaço da cana-de-açúcar**. 2022. 72 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Têxtil) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/server/api/core/bitstreams/ea722d1-6c79-498b-ab30-4f4a83d3acd2/content>. Acesso em: 3 jun. 2025.

Obtenção da celulose oriunda do bagaço da cana de açúcar (*Saccharum officinarum*) e caracterização por FTIR/DRX. Disponível em:<<https://www.abq.org.br/cbq/2014/trabalhos/13/6027-18805.html>>. Acesso em: 3 jun. 2025.