

## 15<sup>o</sup> Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2024

### DESENVOLVIMENTOS DE BIOESPUMA VEGETAL UTILIZANDO RESÍDUOS DA AGROINDÚSTRIA

CARLOS EDUARDO C. DOS SANTOS<sup>1</sup>, JANE KARLA DE F. B. MACHADO<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Graduando em Licenciatura em Química, Bolsista PIBIFSP, IFSP, Campus Matão, [cecds.carloseduardo@gmail.com](mailto:cecds.carloseduardo@gmail.com)

<sup>2</sup> Orientadora do projeto, IFSP, Campus Matão, [jkarla@ifsp.edu.br](mailto:jkarla@ifsp.edu.br)

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.06.03.20-0 Tratamento e Aproveitamento de Rejeitos

**RESUMO:** O projeto "Desenvolvimento de Bioespuma Vegetal Utilizando Resíduos da Agroindústria" tem como objetivo a criação de bioespumas biodegradáveis a partir de resíduos de borra de café e bagaço de cana-de-açúcar, promovendo a economia circular e a sustentabilidade. Essas bioespumas surgem como alternativas ecológicas para embalagens, isolantes e aplicações na indústria automotiva, reduzindo a dependência de espumas sintéticas. Além de diminuir o acúmulo de resíduos, o projeto valoriza a reutilização de subprodutos, incentivando práticas de produção mais limpas e sustentáveis. A extração inicial de óleo da borra de café foi realizada com aquecimento e agitação, obtendo rendimentos significativos. O óleo extraído com etanol comercial se mostrou um método eficiente para a obtenção de óleo vegetal, essencial para a produção da bioespuma. Para o bagaço de cana-de-açúcar, foram obtidos biopolióis a partir de reações de liquefação com glicerol em catalise ácida, com parâmetros ajustados de pressão e temperatura para otimizar as propriedades finais. As análises físico-químicas e espectroscópicas (FTIR) dos polióis de café e do bagaço da cana de açúcar confirmaram a viabilidade estrutural para a síntese de bioespumas. As reações para obtenção das bioespumas serão realizadas posteriormente, com caracterizações por MEV, TGA e FTIR para assegurar suas propriedades estruturais e funcionais.

**PALAVRAS-CHAVE:** bioespuma; agroindústria; sustentabilidade; biopoliol; resíduos; biodegradabilidade.

### DEVELOPMENT OF VEGETABLE BIOFAM USING AGROINDUSTRY WASTE

**ABSTRACT:** The project "Development of Vegetable Biofoam Using Agroindustrial Waste" aims to create biodegradable biofoams from coffee grounds and sugarcane bagasse waste, promoting the circular economy and sustainability. These biofoams emerge as ecological alternatives for packaging, insulation and applications in the automotive industry, reducing dependence on synthetic foams. In addition to reducing the accumulation of waste, the project values the reuse of by-products, encouraging cleaner and more sustainable production practices. The initial extraction of oil from coffee grounds was carried out with heating and agitation, obtaining significant yields. The oil extracted with commercial ethanol proved to be an efficient method for obtaining vegetable oil, essential for the production of biofoam. For sugarcane bagasse, biopolyols were obtained from liquefaction reactions with glycerol in acid catalysis, with adjusted pressure and temperature parameters to optimize the final properties. The physicochemical and spectroscopic (FTIR) analyses of coffee polyols and sugarcane bagasse confirmed the structural viability for the synthesis of biofoams. The reactions to obtain the biofoams will be performed later, with characterizations by SEM, TGA and FTIR to ensure their structural and functional properties.

**KEYWORDS:** biofam; agroindustry; sustainability; biopolyols; waste; biodegradability.

## **INTRODUÇÃO**

A crescente preocupação com questões ambientais e a busca por alternativas sustentáveis têm impulsionado a pesquisa em bioprodutos a partir de fontes renováveis. A dependência de combustíveis fósseis e os impactos das mudanças climáticas exigem soluções inovadoras que utilizem resíduos agroindustriais como matéria-prima.

Nesse contexto, o projeto "Desenvolvimento de Bioespuma Vegetal Utilizando Resíduos da Agroindústria" propõe a utilização de palha de cana-de-açúcar e borra de café, combinados com glicerol p.a e bruto, para a síntese de bioespumas. Essas bioespumas apresentam características desejáveis para diversas aplicações, incluindo embalagens sustentáveis, isolamento térmico e acústico, componentes automotivos, produtos de consumo e setores agrícolas. Além de promover a redução de resíduos e a diminuição da poluição, esse projeto diminui a dependência de fontes fósseis, gera economia circular e contribui para a preservação do meio ambiente através de sua desintegração natural, agregando valor aos resíduos.

A pesquisa fundamenta-se na transformação de biomassa em biopolióis, essenciais para a produção de poliuretano. Por meio de reações químicas específicas, é possível obter materiais com propriedades ajustáveis para diferentes finalidades (Carriço, 2017). Assim, o projeto não busca apenas desenvolver um novo produto, mas também se alinha às necessidades urgentes de soluções que respeitem o meio ambiente e promovam a utilização responsável dos recursos naturais (Custódio et al., 2022).

## **MATERIAL E MÉTODOS**

No projeto "Desenvolvimento de Bioespuma Vegetal Utilizando Resíduos da Agroindústria", diversas atividades foram realizadas para transformar resíduos agroindustriais em bioprodutos sustentáveis, alinhando-se com práticas de economia circular e respeito ao meio ambiente. Inicialmente, a pesquisa focou na extração de óleo vegetal a partir da borra de café, fornecida por padarias de Araraquara-SP. A borra de café foi submetida a um processo de secagem em estufa para remover o excesso de umidade e prevenir a proliferação de fungos, como descrito por Custódio et al. (2022), que destacam a importância da secagem adequada de resíduos agroindustriais. Após a secagem, foi realizada a extração do óleo utilizando etanol comercial como solvente, seguindo o método descrito por Almeida (2019). Várias condições experimentais foram testadas para otimizar o rendimento do óleo extraído, como aquecimento e agitação mecânica, agitação em banho ultrassônico e repouso por 7 dias em contato, visando verificar o processo mais eficiente e sustentável.

Posteriormente, o óleo extraído foi utilizado em duas rotas distintas para a síntese dos biopolióis: na primeira, foi realizada reação de transesterificação com glicerol como álcool na reação e catálise básica (Petzhold, Menger, Veronese, 2011); na segunda, empregou-se a reação de hidroxilação, epoxidando o óleo seguido da abertura do seu anel oxirano (Nascimento, Costa, 2018), testada em sistemas aberto e fechado para avaliar diferenças nos resultados. Ambas as abordagens visaram obter os grupos hidroxila necessários para a formulação das bioespumas.

Além disso, foi realizado o processamento do bagaço de cana-de-açúcar, obtido de garapeiros locais, que incluiu secagem, moagem e peneiração para separar partículas de diferentes tamanhos. O bagaço seco foi utilizado na síntese de biopoliol através do processo de liquefação da biomassa utilizando glicerol p.a e glicerol bruto, oriundo da produção de biodiesel, ácido sulfúrico como catalisador, conforme metodologia explorada por Carriço (2017). Esta etapa foi realizada em autoclave, variando parâmetros como pressão, temperatura e concentração de catalisador para otimizar a produção do biopoliol.

As atividades descritas foram fundamentais para a obtenção dos biopolióis que serão usados na síntese de bioespumas. Estas espumas serão posteriormente avaliadas quanto à sua degradabilidade e propriedades físico-químicas, explorando aplicações que vão desde a construção civil até a agricultura.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os resultados obtidos durante as atividades de pesquisa focaram na extração de óleo vegetal a partir da borra de café e na síntese de biopolióis utilizando bagaço de cana de açúcar. Inicialmente, foi realizada a extração do óleo da borra de café, utilizando diferentes métodos com agitação e aquecimento, como banho de ultrassom e banho-maria com agitação. Os dados mostraram que esses métodos

aumentaram significativamente o rendimento do óleo, indicando que tanto o aquecimento quanto a agitação são fundamentais para otimizar a extração.

Na sequência, para aumentar a quantidade de óleo para as etapas subsequentes de síntese de biopoliol, optou-se por usar álcool combustível em um teste piloto de 10 litros. No entanto, essa abordagem resultou em um rendimento menor, em torno de 7,8 %, o que era esperado devido ao teor de água presente no álcool e à ausência de agitação e aquecimento durante o período de repouso de sete dias. Mesmo com um rendimento inferior e um erro percentual elevado de 31% em comparação com o etanol anidro, o uso de álcool comercial demonstrou uma relação custo-benefício favorável, tornando-se uma opção viável para a extração de óleo de café.

A caracterização do óleo extraído incluiu análises de viscosidade e densidade, que mostraram resultados próximos aos valores encontrados na literatura, sugerindo a precisão dos métodos empregados. Especificamente, a viscosidade medida foi de 54,368 mPa.s-1 a 40°C, comparada com 50,833 mPa.s-1 na literatura, enquanto a densidade foi de 1,0358 g/cm<sup>3</sup> a 40°C, em linha com os 1,1156 g/cm<sup>3</sup> reportados. Essas pequenas variações são atribuídas às diferenças nos procedimentos experimentais, mas ainda dentro dos limites aceitáveis.

Além disso, a análise por Espectroscopia Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) revelou a presença de grupos funcionais característicos dos ácidos graxos, comuns em óleos vegetais. A presença de bandas específicas no espectro, como em 3390 cm<sup>-1</sup>, referente a grupos hidroxila (OH), e 2900 cm<sup>-1</sup>, correspondente ao grupo C-H sp<sup>3</sup>, confirmou a composição esperada para o óleo vegetal da borra de café. Observa-se nos espectros dos polióis um aumento na intensidade da banda de -OH, o que indica que as reações de transesterificação e hidroxilação foram bem-sucedidas, resultando na formação do biopoliol necessário para a produção de bioespuma. Os testes de FTIR também garantiram a formação correta de grupos hidroxila e a ausência de subprodutos indesejados, assegurando a qualidade do biopoliol obtido. A Figura 1 apresenta a análise FTIR do óleo extraído da borra de café e dos polióis obtidos através das reações de transesterificação e hidroxilação.

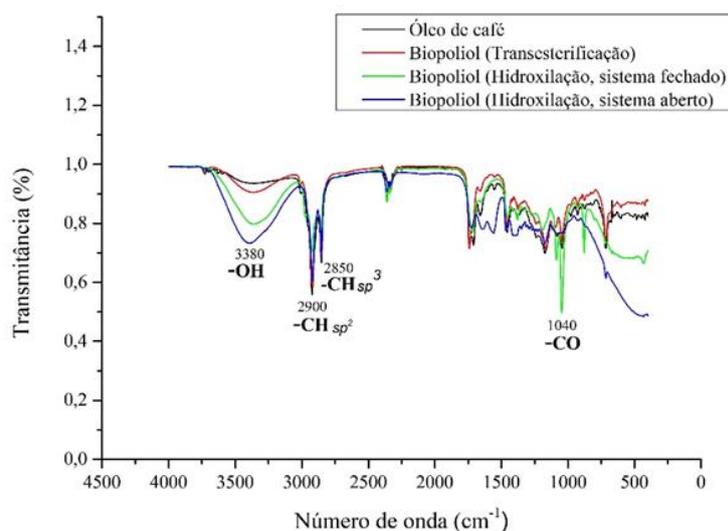


Figura 1. Espectro de Infravermelho (FTIR) do óleo de café e dos polióis.

Na síntese dos biopolióis a partir do bagaço de cana de açúcar, verificou a influência da variação da pressão, do tempo reacional e da concentração de catalisador na formação dos biopolióis.

Os resultados obtidos foram caracterizados por análises de espectroscopia de infravermelho (FTIR), que revelaram informações importantes sobre a estrutura química dos biopolímeros, conforme demonstrado na figura 2 que avalia a influência do catalisador nas amostras, sendo B1(2% de catalisador), B2 (5% de catalisador) e B3 (7% de catalisador). As amostras apresentaram variações nas bandas espectrais, indicando a presença de grupos funcionais característicos dos polióis. Observou-se uma diminuição na intensidade da banda de OH em 3300 cm<sup>-1</sup>, o que sugere a influência da concentração do catalisador na síntese dos biopolímeros. Além disso, foram identificadas duas bandas C-O em 1200 e 1030 cm<sup>-1</sup>, atribuídas à lignina da cana e ao glicerol, respectivamente.

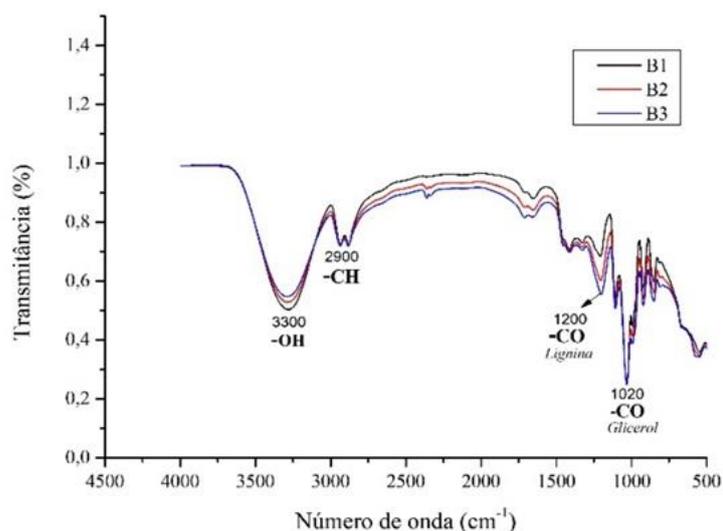


Figura 2. Espectro de infravermelhos (FTIR) dos polióis com concentrações diferentes de catalisador.

Na análise da figura 3, foi comparado C1 (1 hora) com C4 (1,5 horas), observou-se que o tempo de reação não influenciou a intensidade da banda correspondente ao grupo -OH. Da mesma forma, ao comparar C1 (1,1 bar) com C7 (1,4 bar), notou-se que a pressão também não teve impacto na intensidade da banda.

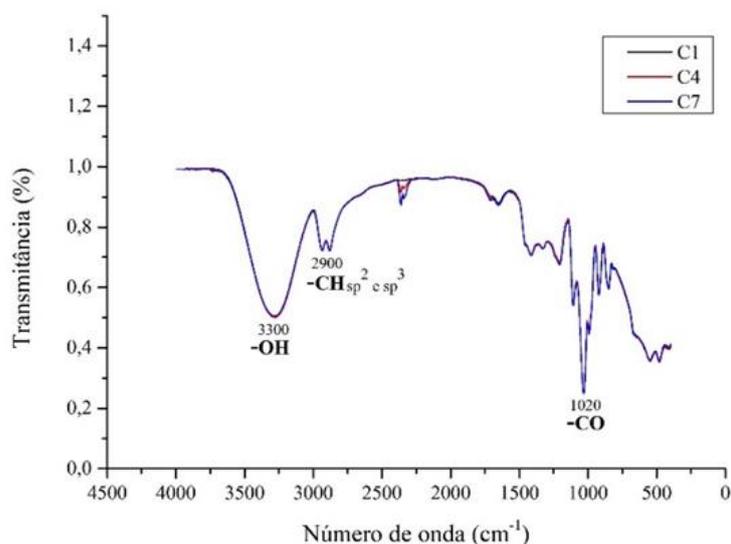


Figura 3. Espectro de infravermelho (FTIR) – Influência do tempo reacional e pressão.

As análises de viscosidade e densidade revelaram que a viscosidade das amostras variou conforme a concentração do catalisador e as condições reacionais. Com o aumento da concentração do catalisador, a viscosidade diminuiu, sugerindo uma reação favorecida. Amostras com 2% de catalisador apresentaram viscosidade de aproximadamente 200 mPa.s<sup>-1</sup>, enquanto aquelas com 5% e 7% mostraram uma redução adicional. Em contrapartida, a densidade manteve-se relativamente constante, com pequenas variações devido à pressão e ao tamanho das partículas.

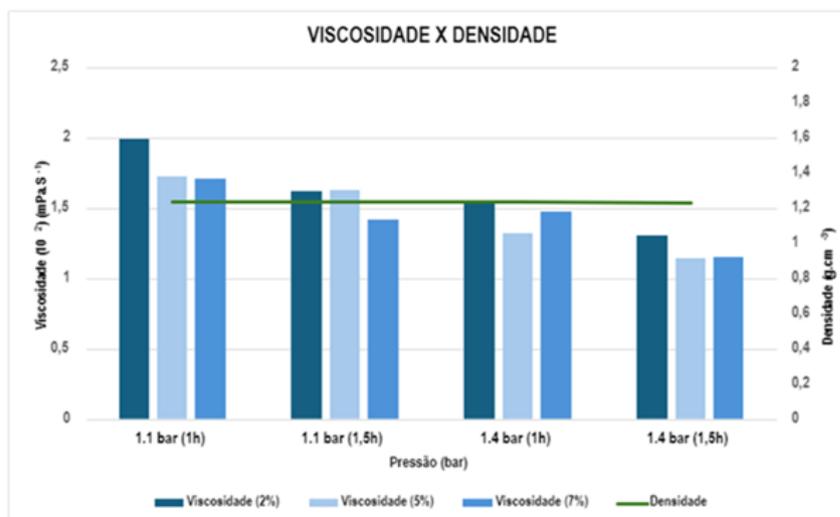


Figura 4. Viscosidade versus densidade.

A caracterização do poliols em termos de viscosidade e densidade é essencial para a produção de poliuretano em escala industrial, pois esses parâmetros influenciam tanto a qualidade do produto quanto a eficiência do processo. Borowicz, Isbrandt, Paciorek-Sadowska (2021) diz que a viscosidade e densidade impactam diretamente a formação da estrutura celular do poliuretano, afetando resistência e uniformidade, requisitos fundamentais para garantir durabilidade e desempenho em aplicações específicas, como isolamento, que demanda leveza, ou estruturas, que exigem rigidez.

Essas propriedades físico-químicas controlam o fluxo do poliols e a precisão das proporções em uma linha de produção, mantendo a consistência do material em lotes maiores. Ajustes adequados nos parâmetros otimizam o tempo de cura e reduzem defeitos estruturais, viabilizando uma produção em larga escala com qualidade garantida (Pan, Saddler, 2013).

## CONCLUSÕES

Foi possível observar com os resultados obtidos até o momento, que o projeto se apresenta viável a utilização de resíduos agroindustriais em especial a extração de óleo vegetal da borra de café para a produção de bioespumas, pois os polióis obtidos nas diferentes rotas mostraram propriedades físico-química e estruturais, satisfatório como pode ser visto na análise de FTIR. Os experimentos de extração do óleo mostraram que métodos como o banho de ultrassom e o banho-maria com agitação oferecem rendimentos superiores, reforçando a necessidade de otimizar essas condições para melhorar a eficiência.

Os dados indicam que a escolha de solventes e condições de extração impacta diretamente o rendimento dos biopolióis, etapa essencial para o sucesso das bioespumas. A caracterização desses polióis, prevista para as próximas fases, trará uma compreensão mais detalhada das propriedades físico-químicas dos materiais, com expectativa de confirmar sua adequação para a produção sustentável de bioespumas.

Programados para os meses finais, os testes de biodegradabilidade serão cruciais para validar o impacto ambiental positivo dessas bioespumas, especialmente em um contexto de crescente necessidade por sustentabilidade e gestão de resíduos. Os resultados alcançados até agora são promissores e indicam que os objetivos serão atingidos, com bioespumas de alta qualidade que contribuem para a pesquisa em materiais sustentáveis com agregação de valor para os resíduos agroindustriais.

Além dos benefícios ambientais, a viabilidade econômica da produção em larga escala dessas bioespumas também é encorajadora. O uso de matérias-primas de baixo custo, como a casca de arroz, reduz os custos de produção e agrega valor aos subprodutos, favorecendo um modelo de economia circular. Assim, o projeto se mostra viável tanto técnica quanto economicamente, criando oportunidades para a produção de materiais avançados e sustentáveis em escala industrial.

## CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

J.K.D.F.B.M contribuiu com a metodologia, administração do projeto, redação do manuscrito original, redação – revisão e edição. A.B.N contribuiu com supervisão e redação – revisão e edição. C.E.C.D.S contribuiu com análise de dados, pesquisa, redação do manuscrito original.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela força e sabedoria, à minha família pelo apoio incondicional, e à minha orientadora pela orientação e confiança em cada etapa. Aos técnicos de laboratório e ao IFSP, campus Matão, pelo suporte essencial, e ao CONICT, pela oportunidade de compartilhar este trabalho.

## REFERÊNCIAS

BOROWICZ, M.; ISBRANDT, M.; PACIOREK-SADOWSKA, J. *Effect of new eco-polyols based on PLA waste on the basic properties of rigid polyurethane and polyurethane/polyisocyanurate foams. International Journal of Molecular Sciences*, v. 22, n. 16, p. 8981, 20 ago. 2021.

CARRIÇO, C. S. *Obtenção de espumas de poliuretano a partir de coprodutos da cadeia dos biocombustíveis e resíduos agroindustriais*. 2017. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Química.

CUSTÓDIO, A. C. et al. *Purificação simplificada do rejeito de glicerina bruta da produção de biodiesel da biorrefinaria Berso - UFPE: uma prática sustentável. Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 15, n. 05, p. 2226-2237, 2022.

NASCIMENTO, B. Z.; COSTA, A. P. O. *Hidroxilação dos óleos de girassol, milho e crambe e caracterização química dos polióis vegetais obtidos. Matéria (Rio de Janeiro)*, v. 25, n. 3, 2020.

PAN, X.; SADDLER, J. N. *Effect of replacing polyol by organosolv and kraft lignin on the property and structure of rigid polyurethane foam. Biotechnology for Biofuels*, v. 6, n. 1, p. 12, 2013.

PETZOLD, C. L.; VERONESE, V. B. *Processo de produção de polióis a partir da glicerina loira*. Número de publicação: PI0901857-3 A2, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/62467>. Acesso em: 1 jul. 2024.