



BIOPROCESSOS INTEGRADOS PARA A VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE CASCAS DE FRUTAS

Gabriel Henrique Klein

Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) e bolsista CAPES

Helen Treichel

Docente do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS)
helen.treichel@uffs.edu.br

1. Introdução

Considerando que a principal fonte de energia ainda se concentra na utilização de combustíveis fósseis, cerca de 83% do consumo total (Mgeni et al., 2025), e que se prevê o esgotamento destes recursos para as próximas décadas colocando em risco a segurança energética e o crescimento econômico (Broda et al., 2022), torna-se necessário a substituição, ao menos parcial, da matriz energética para uma energia limpa, renovável e economicamente viável, tal qual os biocombustíveis.

Os biocombustíveis se mostram como uma alternativa ambientalmente correta quando comparado ao uso de combustíveis fósseis, pois a sua utilização alivia as emissões de CO₂ e são rotulados como neutros em carbono, pois à medida que a biomassa utilizada cresce, esta absorve quantidades de CO₂ (Chowdhury et al., 2025). Além disso, os biocombustíveis são menos inflamáveis e também são biodegradáveis, sendo assim, potencialmente menores causadores de contaminações ambientais em corpos d'água e solos, por exemplo (Kant et al., 2025). A produção de bioetanol de segunda geração pode se dar a partir da utilização de diferentes biomassas não alimentares, como resíduos florestais, resíduos agrícolas, resíduos de frutas e resíduos alimentares em geral (Mgeni et al., 2025), sendo estas biomassas lignocelulósicas.

O desperdício de grandes quantidades de frutas é uma preocupação devido ao uso improdutivo de recursos como espaço de terra, água e nutrientes, colaborando assim para o processo de degradação ambiental (Pramanik et al., 2019). Estes resíduos são descartados em aterros sem nenhuma utilização, desvalorizando assim a cadeia de produção e desperdiçando matérias-primas ricas em compostos como o D-Limoneno, açúcares para processos fermentativos, entre outros.



Além dos açúcares fermentescíveis que podem ser utilizados para processos de fermentação alcoólica, o D-Limoneno, um monoterpene cíclico abundante, encontrado principalmente em frutas cítricas, também pode ser recuperado destas biomassas. Este composto já possui grande importância em aplicações industriais, mas recentemente vêm se discutindo acerca da sua utilização como agente antimicrobiano, antiparasitário e antitumoral (Mukhrish et al., 2024; Novais et al., 2024).

Tendo em vista as diferentes possibilidades de aplicação do composto supracitado, este estudo tem por objetivo realizar a extração do D-Limoneno presente em cascas de limão, banana e mix de frutas (abacaxi, banana, laranja, limão e manga), realizar testes de atividade antimicrobiana em fungos isolados do tomate (*Solanum lycopersicum*) e realizar o processo de obtenção de açúcares fermentescíveis destas mesmas cascas para testes de fermentação alcoólica em um conceito de biorrefinaria integrada, valorizando os resíduos que tipicamente são descartados sem nenhuma utilização, assim, colaborando para o gerenciamento de resíduos e para a diminuição de problemas ambientais relacionados à utilização de combustíveis fósseis.

2. Metodologia

Os resíduos de cascas de frutas serão coletados no Restaurante Universitário da Universidade Federal da Fronteira Sul, UFFS, Erechim - RS. Estes resíduos serão processados isoladamente, para isso, serão secos em estufa com circulação de ar (40°C) até peso constante, moídos em moinho de facas na granulometria de 20 mesh e armazenados (-20°C) até utilização (Klein et al., 2024).

EXTRAÇÃO DE D-LIMONENO

O método de extração por aparelho Soxhlet será realizado conforme Lopresto et al. (2014) utilizando o resíduo de cascas de frutas, 8 gramas do resíduo de banana e do limão isoladamente, e para o mix de frutas, 1,6 gramas de cada de fruta totalizando 8 gramas, e hexano (200mL) como solvente (razão matriz/solvente 1:25). O aparelho será ajustado à temperatura de ebulição do solvente (68°C) ao longo de 4 horas. Após a extração, a fração líquida resultante será submetida à purificação em evaporador rotativo a 120 RPM e 100 °C até total evaporação do hexano. O óleo resultante será ressuspenso em 50 mL de hexano



e armazenado (-80°C) até o preparo das amostras para análise em cromatografia à gás (GC) (Klein et al., 2024).

TESTES ANTIMICROBIANOS

Para os testes antimicrobianos será utilizado o meio de cultura sólido Ágar Batata Dextrose (BDA), em placas de Petri com um poço de 5 milímetros para inocular o composto D-Limoneno. Para avaliar a ação antimicrobiana será considerado o halo de inibição do crescimento do microrganismo, partindo da margem do poço à margem de crescimento do microrganismo. A classificação da sensibilidade do microrganismo ao composto será a seguinte: sensíveis, quando o diâmetro da zona de inibição é maior do que 3 mm; moderadamente sensíveis, halo maior que 2 mm; e resistentes, halo igual ou menor que 2 mm. Ainda, como controle negativo será utilizado o solvente no qual o composto foi diluído. Os microrganismos serão incubados na temperatura de 28°C ao longo de, no mínimo, 24 a 48 horas (Ostrosky et al., 2008).

BIORREFINARIA INTEGRADA

Para o processo de biorrefinaria integrada à extração de D-Limoneno dos resíduos de cascas, anteriormente ao processo fermentativo, serão necessárias as etapas de pré-tratamento e hidrólise enzimática da biomassa na qual foi realizada a extração, para isso, será utilizado o trabalho de Klein et al., (2024) em que o processo de pré-tratamento e hidrólise enzimática foram otimizados a partir de um planejamento experimental. Neste caso, será utilizada uma quantidade de 15 g de resíduo para 100 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) na concentração de 10%, submetidos à temperatura de 80°C em banho Dubnoff ao longo de 30 minutos com agitação de 200 rpm, neutralizadas as amostras com NaOH 2 MOL e filtrando-as para secagem da fração sólida. Para a hidrólise enzimática será utilizada a quantidade de 1g de resíduo pré-tratado ajustado em pH 4,8 pela utilização de tampão citrato de sódio $0,05\text{ mol L}^{-1}$, sendo hidrolisado com a enzima comercial celulase (Sigma-Aldrich) na concentração de 50 FPU/g ao longo de 120 horas em condição de 150 RPM e 50°C . Ao final do tempo será coletada uma alíquota de cada amostra a fim de realizar a quantificação de açúcares redutores totais (ART) por espectrofotometria.

No processo de fermentação alcoólica será utilizado o hidrolisado (90mL) que será fermentado com a levedura *Wickerhamomyces sp.* UFFS-CE-3.1.2. previamente repicada



em meio de cultura sólido, incubados por 24 horas a 28 °C, e posteriormente ambientado em meio de cultura líquido YPD, incubado por 24 horas a 28°C, na proporção de 10%. A fermentação será realizada em agitador orbital New Brunswick Scientific, Innova®, 42 nas condições de 30 °C e 120 RPM por 48 h conforme Bonatto et al., (2021). Serão coletadas alíquotas ao longo da fermentação (0h, 12h, 24h e 48h) para análise composicional em cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC).

3. Resultados esperados

Estudos que quantificaram óleos essenciais em resíduos cítricos mostram o D-Limoneno como principal óleo essencial obtido nestes resíduos, como mostra o estudo de Teixeira et al., 2013. Assim, espera-se que sejam encontrados valores significativos do composto D-Limoneno nos resíduos de cascas de frutas, especialmente nos resíduos de limão, por ser uma fruta cítrica, seguido do mix de frutas, que contém frutas cítricas, e resíduos de banana.

Além do composto supracitado, busca-se obter quantidade de açúcares fermentescíveis suficiente para viabilizar o processo de fermentação alcoólica. Conforme o estudo de Klein et al., 2024, a partir dos resíduos de cascas de banana, é possível obter um total de 11,88 g/L de ART em condições de pré-tratamento e hidrólise enzimática otimizadas. Portanto, utilizando estas condições otimizadas para o processo de biorrefinaria integrada à extração de D-Limoneno, espera-se obter valores semelhantes de ART nos resíduos que serão utilizados no presente estudo.

4. Considerações finais

Tendo em vista a possibilidade de obtenção de D-Limoneno e de açúcares fermentescíveis, o presente estudo apresenta-se importante quanto ao gerenciamento de resíduos, descartados em quantidades significativas e sem qualquer valorização, a partir da obtenção de D-Limoneno e açúcares fermentescíveis e também quanto à busca por processos integrados que favoreçam economicamente a obtenção destes bioprodutos, favorecendo uma possível aplicação industrial destes processos.

Referências

BONATTO, C. et al. Utilization of seawater and wastewater from shrimp production in the fermentation of papaya residues to ethanol. *Bioresource technology*, v. 321, p. 124501–



124501, 1 fev. 2021.

BRODA, M.; YELLE, D. J.; SERWAŃSKA, K. Bioethanol Production from Lignocellulosic Biomass—Challenges and Solutions. *Molecules*, v. 27, n. 24, p. 8717, 9 dez. 2022.

CHOWDHURY, P. et al. Biomass to biofuel: Impacts and mitigation of environmental, health, and socioeconomic challenges. *Energy Conversion and Management: X*, v. 25, p. 100889, 15 jan. 2025.

KANT, G. et al. The generational shift in biofuels: A path toward sustainable energy solutions. *Biomass and Bioenergy*, v. 196, p. 107757, maio 2025.

KLEIN, G. H. et al. Utilization of banana peel waste for the production of bioethanol and other high-value-added compounds. *Food and Humanity*, v. 3, p. 100376, dez. 2024.

LOPRESTO, C. G. et al. A non-conventional method to extract D-limonene from waste lemon peels and comparison with traditional Soxhlet extraction. *Separation and Purification Technology*, v. 137, p. 13–20, nov. 2014.

MGENI, S. T. et al. Utilizing fruit wastes as a sustainable feedstock for bioethanol production: A review. *Cleaner Energy Systems*, v. 10, p. 100188, 2 abr. 2025.

MUKHRISH, Y. E. et al. Discovery of novel thiazolidinone-1,2,3-triazole hybrids with (D)-Limonene skeleton as anticancer agents: Design, synthesis and biological evaluation. *Journal of Molecular Structure*, v. 1308, p. 138127, jul. 2024.

NOVAIS, M. H. G. et al. Pharmacological potential of limonene against opportunistic fungi: Impact on *Candida* virulence. *Acta Tropica*, v. 253, p. 107168, 1 maio 2024.

OSTROSKY, E. A. et al. Métodos para avaliação da atividade antimicrobiana e determinação da Concentração Mínima Inibitória (CMI) de plantas medicinais. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, v. 18, n. 2, p. 301–307, jun. 2008.

PRAMANIK, S. K. et al. The anaerobic digestion process of biogas production from food waste: Prospects and constraints. *Bioresource Technology Reports*, v. 8, p. 100310, dez. 2019.

TEIXEIRA, J. P. F.; MARQUES, M. O. M.; FIGUEIREDO, J. O. Composição química de óleos essenciais de quinze genótipos de limão em duas épocas de colheita. *Citrus Research & Technology*, v. 34, n. 2, 2013.