

Produção de diesel verde em escala piloto derivado de microalgas

DOI: 10.5281/zenodo.17508354

Sara Karolina dos Santos^{a*}

Biofuels derived from biomass are currently an explored energy alternative. Microalgae stand out as a promising raw material for producing these biofuels due to their rapid growth and high lipid content. However, this scarcity of data related to large-scale processes limits the effective implementation of this alternative energy source. So, this article is a review of a study on the feasibility of transitioning processes developed in the laboratory to pilot and commercial-scale applications.

Os biocombustíveis derivados de biomassa são uma alternativa de energia explorada atualmente. As microalgas destacam-se como uma matéria-prima promissora para a produção desses biocombustíveis em razão do seu rápido crescimento e elevado teor lipídico. No entanto, a escassez de dados referentes a processos em larga escala limita implementação efetiva dessa fonte de energia alternativa. Com isso, este artigo é uma revisão sobre um estudo da viabilização da transição de processos desenvolvidos em laboratório para aplicações em escala piloto e comercial.

^aUniversidade de Brasília (UnB). Campus Darcy Ribeiro. Instituto de Química (IQ/UnB).

*E-mail: karolinaskw1@gmail.com

Palavras-chave: Microalgas; biomassa; diesel verde; biocombustíveis.

Recebido em 05 de agosto de 2025,

Aprovado em 20 de setembro de 2025,

Publicado em 03 de novembro de 2025.

Introdução

A exploração excessiva de recursos não renováveis tem contribuído para as mudanças climáticas, o que aumenta a necessidade de fontes de energia sustentáveis e ambientalmente responsáveis. Diversas alternativas energéticas estão sendo exploradas atualmente, entre elas, os biocombustíveis derivados de biomassa. A biomassa consiste em materiais orgânicos que podem ser transformados em biocombustíveis, provenientes de fontes variadas, como plantas, algas ou subprodutos de animais e suas formas processadas.^{1,2}

As microalgas têm se destacado como uma fonte promissora de biomassa para produção de biocombustíveis renováveis, devido a sua capacidade de sintetizar compostos de alta densidade energética, de interesse comercial. Elas são cultivadas preferencialmente em fotobiorreatores, permitindo assim a redução da área de cultivo, aumentando a produtividade e proporcionando um potencial de expansão para a escala industrial. Como organismos autotróficos, as microalgas conseguem fixar dióxido de carbono, utilizando-o como fonte primária de carbono. Assim, sua alta produtividade de biomassa e eficiência na síntese e acumulação de ácidos graxos as tornam ideais para a produção de hidrocarbonetos.^{1,3}

Os hidrocarbonetos produzidos pelas microalgas possuem estruturas químicas e propriedades físicas semelhantes às do diesel obtido em refinarias de petróleo. Isso possibilita que sejam utilizados diretamente em sua forma pura ou misturados em qualquer proporção, sem necessidade de ajustes nos motores a diesel, tornando-os um substituto ideal para os combustíveis fósseis convencionais. O diesel verde de microalgas é uma mistura de hidrocarbonetos, como alcanos e alcenos, composta de frações de cadeia curta e longa. Assim como o biodiesel, o diesel verde apresenta a vantagem de ser originado de fontes biológicas, com baixo impacto ambiental, sendo diferenciados em seus processos de produção.⁴

Na produção do diesel verde, a conversão do óleo presente na biomassa é uma etapa crítica, pois envolve processos como extração e destilação. As principais estratégias exploradas para a extração de óleo são a prensagem de óleo, extração assistida por ultrassom e extração com solventes. Esta última se destaca por sua alta eficiência, baixo custo e simplicidade operacional. Porém, quando usados na extração de óleos de microalgas, solventes não polares têm dificuldade de penetrar nas células, por causa das ligações de hidrogênio formadas entre a membrana, ligadas a lipídios e proteínas na célula da alga. Como solução, pode-se utilizar uma mistura de solventes polares e não polares: o solvente polar quebra as ligações e o não polar extrai os lipídios.^{1,5}

Essa fração lipídica extraída é separada por destilação, que utiliza a diferença de volatilidade dos compostos para purificá-los em diferentes temperaturas. A destilação fracionada se destaca por ser uma separação mais eficiente dos compostos, devido aos múltiplos ciclos de evaporação e condensação dentro das colunas de destilação.⁶

Os biocombustíveis derivados de microalgas apresentam um amplo potencial. Muitos estudos analisaram a produção de hidrocarbonetos a partir de microalgas como uma alternativa ao óleo diesel, com diferentes condições de cultivo, espécies e técnicas de produção. Ainda assim, sua implementação possui obstáculos, por conta da escassez de dados em escala industrial. Para que sua comercialização seja bem-sucedida é necessário que haja uma transição eficaz dos processos desenvolvidos em escala laboratorial para as operações em escala piloto e industrial.^{3,7,8,9}

Dessa forma, o artigo de referência analisado trata da realização de experimentos para a produção de diesel verde em escala comercial, com o objetivo de avaliar sua competitividade no mercado, além de oferecer uma compreensão abrangente dos desafios e perspectivas dos biocombustíveis derivados de microalgas.¹

Metodologia

A metodologia utilizada no artigo de referência consistiu na utilização da microalga *Tetrademus obliquus*, pertencente a divisão Chlorophyta e à família Scenedesmaceae. A microalga foi cultivada em um fotobiorreator fechado de pequeno porte industrial, utilizando como meio de cultivo resíduos de dejetos suínos previamente biodigeridos. Os experimentos foram realizados durante um tempo de residência de 15 dias, e após cada ciclo, a biomassa foi colhida e processada. A biomassa obtida foi submetida à secagem e colheita, seguida pela extração de óleo usando um método de extração com solvente quente, e por destilação para purificação dos compostos.¹

Três experimentos diferentes de extração e destilação foram conduzidos, cada um utilizando diferentes combinações de solventes com as seguintes condições: condição 1 (70% de hexano e 30% de etanol), condição 2 (50% de hexano e 50% de etanol) e condição 3 (100% hexano). Cada condição experimental exigiu 1,5 Kg de biomassa microalgal seca e moída e 7,5 L de solvente orgânico. A duração estimada do processo foi de 3 h. Após a extração, os componentes restantes

são direcionados para um sistema de separação sólido-líquido para a remoção de resíduos celulares.

Foram realizadas análises da caracterização dos hidrocarbonetos por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-MS), de parâmetros físico-químicos dos hidrocarbonetos produzidos, também uma análise de custos e desafios e oportunidades futuras para o diesel verde em escala comercial. Para a análise de custos, cada etapa foi avaliada com base no custo médio mensal da eletricidade, com base nos dados da Administração de Informação de Energia dos EUA. As análises foram realizadas em triplicata e as incertezas foram dadas segundo as normas da ASME, com precisão de 95% definida como duas vezes o desvio padrão das médias experimentais.¹⁰

Resultados e discussão

Com base nos resultados obtidos pelos pesquisadores, observou-se que a extração com uma mistura de solventes (50% hexano e 50% etanol) obteve melhor rendimento que em comparação com o hexano puro. A combinação de um solvente não polar (hexano) e um solvente polar (etanol) favoreceu a eficiência da extração, uma vez que o etanol auxilia na ruptura de interações hidrofílicas da parede celular, enquanto o hexano promove a solubilização eficiente de lipídios.

Na destilação fracionada, nos resultados das condições 1 e 2, os rendimentos foram mais favoráveis, que na condição 3, que apresentou baixo rendimento. Além disso, as amostras fracionadas de óleo de microalgas obtidas apresentaram aparência física semelhantes em todas as condições experimentais.

Na análise de caracterização de hidrocarbonetos por CG, foram detectados 25 compostos de várias classes químicas em cada destilado, incluindo hidrocarbonetos, álcoois, ésteres e ácidos carboxílicos. A presença de hidrocarbonetos como alcenos e alcanos foi predominante, e a proporção de solvente utilizada influenciou na produção de alcanos. Além disso, hidrocarbonetos específicos foram identificados, como 4-metil-1-deceno, 1-pentadeceno, 8-heptadeceno, 9-heneicoseno e 2-dodeceno.

Os parâmetros analisados para a análise das propriedades físico-químicas foram a densidade, teor de enxofre total e valor calorífico superior e inferior. A análise foi realizada considerando somente as condições 1 e 2, a condição 3 não foi analisada por conta do seu baixo rendimento. Os

resultados indicaram que o óleo de microalgas apresentou densidade e valores caloríficos compatíveis com os padrões do diesel fóssil, atendendo aos requisitos de qualidade estabelecidos. Entretanto, foi observado que as amostras de óleo destilado apresentaram maior teor de enxofre em comparação com o diesel convencional. Indicando a necessidade de maior refinamento no processo de produção.

Na análise de custo, houve variações dependendo das condições experimentais. Notou-se, que conforme a eficiência na extração de óleo aumenta, a quantidade de biomassa necessária diminui, resultando na diminuição no custo de produção. Logo, a condição 1, que apresenta uma mistura de solvente de 70% hexano e 30% etanol foi o mais economicamente viável, pois extraiu uma maior quantidade de óleo com uma menor necessidade de biomassa inicial.

Por fim, a produção de biocombustíveis de microalgas depende de vários fatores. O processo de diesel verde de microalgas, inclui estágios de cultivo, colheita, secagem, extração e destilação para a conversão final em diesel. Cada um desses estágios apresenta desafios econômicos e de eficiência, para a expansão da produção em escala comercial. A Tabela 1 mostra os principais desafios na produção de diesel verde de microalgas em escala comercial.

Tabela 1. Principais desafios e oportunidades na produção de diesel verde. Extraído da referência 1.

Desafios	Oportunidades
Consumo de energia	Integração de fontes de energia renováveis
Alto custo de capital e operacionais	Investimento em pesquisa e desenvolvimento
Uso e recuperação de solventes	Desenvolvimento de solventes verdes; métodos de extração sem solventes; recuperação de solventes
Integração de processos	Técnicas de integração e otimização de processos; uso de subprodutos para coprodutos
Aumento de escala	Estratégias de expansão bem sucedidas
Concorrência de mercado	Aceitação do mercado; apoio político; competitividade com combustíveis fósseis

Visando superar essas dificuldades é necessário pesquisa e desenvolvimentos contínuos, para otimização das fases do processo; redução de custos e aprimoramento da eficiência energética na produção; além da integração de fontes de energia renováveis e o uso de tecnologias inovadoras que são essenciais para superar essas barreiras e tornar viável a produção em grande escala.

Conclusões

O estudo avaliou a extração de óleo de microalgas utilizando-se diferentes composições de solventes, seguido de destilação fracionada da biomassa produzida com objetivo de avaliar sua viabilidade como fonte de biocombustível.

Os resultados revelaram que a mistura de solventes (50% hexano e 50% de etanol) foi mais eficiente que a extração usando somente hexano puro e o mesmo resultado se deu para a destilação fracionada. A caracterização dos hidrocarbonetos identificou 25 compostos, com predominância de alcanos. Essa distribuição foi fortemente influenciada pela composição do solvente utilizado na extração. Nos parâmetros físico-químicos, o óleo de microalgas se mostrou semelhante com o diesel de fósseis em termos de densidade e valor calorífico, porém o teor de enxofre se mostrou maior, indicando a necessidade de um maior refinamento no processo de produção. Por último, na análise de custo do processo, a mistura (70% hexano e 30% etanol) se mostrou mais econômica, extraindo maior quantidade de óleo.

O estudo também apontou o potencial do uso de óleo de microalgas como uma alternativa sustentável para a produção de diesel verde renovável. O processo de produção é promissor e proporciona vários insights para purificação de compostos, além de abrir possibilidades para futuras aplicações de biocombustíveis. A bioengenharia tem um papel importante na inovação dos biocombustíveis de microalgas, melhorando sua eficiência, viabilidade econômica e impacto ambiental. Com isso, a pesquisa e o desenvolvimento contínuos nessa área podem levar a soluções energéticas mais sustentáveis.

Contribuições por Autor

A escrita do presente artigo e a inclusão de algumas observações são de Sara Karolina dos Santos.

Conflito de interesse

Não há conflito de interesses.

Agradecimentos

À Liga Acadêmica de Bioengenharia (LABIOENG), agradeço pelo incentivo e pelo apoio prestado ao longo de todo processo de escrita deste artigo.

Referências

- 1 G. Costa, J. V. C. Vargas, W. Balmant, L. P. Ramos, A. B. Mariano, A. C. D. Oliveira, T. A. Da Silva, I. A. Severo, J. C. Ordóñez, D. L. Sousa and V. F. Dos Santos, Unlocking pilot-scale green diesel production from microalgae, *Journal of Environmental Management*, 2024, **368**, 122141.
- 2 S. P. D. Silva, A. S. V. D. Costa, S. L. B. D. Santos and M. L. D. Laia, A IMPORTÂNCIA DA BIOMASSA NA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA, *PA*, 2021, **19**, 557.
- 3 G. Costa, J. V. Coelho Vargas, W. Balmant, L. P. Ramos, A. Zandoná Filho, D. M. Taher, A. B. Mariano, C. I. Yamamoto, D. Conceição and V. M. Kava, Microalgae-Derived Green Diesel, *Chemical Engineering & Technology*, 2022, **45**, 890–897.
- 4 N. Asikin-Mijan, J. C. Juan, Y. H. Taufiq-Yap, H. C. Ong, Y.-C. Lin, G. AbdulKareem-Alsultan and H. V. Lee, Towards sustainable green diesel fuel production: Advancements and opportunities in acid-base catalyzed H₂-free deoxygenation process, *Catalysis Communications*, 2023, **182**, 106741.
- 5 H. Nam, J. Choi and S. C. Capareda, Comparative study of vacuum and fractional distillation using pyrolytic microalgae (*Nannochloropsis oculata*) bio-oil, *Algal Research*, 2016, **17**, 87–96.
- 6 B. Guieysse and M. Plouviez, Microalgae cultivation: closing the yield gap from laboratory to field scale, *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 2024, **12**, 1359755.
- 7 G. W. O'Neil, A. R. Culler, J. R. Williams, N. P. Burlow, G. J. Gilbert, C. A. Carmichael, R. K. Nelson, R. F. Swarthout and C. M. Reddy, Production of Jet Fuel Range Hydrocarbons as a Coproduct of Algal Biodiesel by Butenolysis of Long-Chain Alkenones, *Energy Fuels*, 2015, **29**, 922–930.
- 8 J. Zhou, M. Wang, J. A. Saraiva, A. P. Martins, C. A. Pinto, M. A. Prieto, J. Simal-Gandara, H. Cao, J. Xiao and F. J. Barba, Extraction of lipids from microalgae using classical and innovative approaches, *Food Chemistry*, 2022, **384**, 132236.
- 9 S. Vidyashankar, K. S. VenuGopal, G. V. Swarnalatha, M. D. Kavitha, V. S. Chauhan, R. Ravi, A. K. Bansal, R. Singh, A. Pande, G. A. Ravishankar and R. Sarada, Characterization of fatty acids and hydrocarbons of chlorophycean microalgae towards their use as biofuel source, *Biomass and Bioenergy*, 2015, **77**, 75–91.
- 10 R. E. Smith and S. Wehofer, From Measurement Uncertainty to Measurement Communications, Credibility, and Cost Control in Propulsion Ground Test Facilities, *Journal of Fluids Engineering*, 1985, **107**, 165–172.