



## DETERMINAÇÃO DE RISCOS ENVOLVIDOS NA PRODUÇÃO DE BIODIESEL E COMO MINIMIZÁ-LOS

**Victor Hugo Souza de Abreu, Tássia Faria de Assis, Mariane Gonzalez da Costa, Márcio de Almeida D'Agosto, Rejane Silva Rocha, Luís Otávio Días de Paula, Arsénio Massautso Simoco Laissone**  
Universidade Federal do Rio de Janeiro

### RESUMO

A crescente busca por fontes renováveis e a urgência climática impulsionaram o desenvolvimento dos biocombustíveis como alternativa aos combustíveis fósseis. Entre seus benefícios estão a origem renovável, o reaproveitamento de resíduos e a redução de emissões. No entanto, sua produção envolve riscos complexos que comprometem a sustentabilidade técnica, econômica, ambiental e social. Este artigo tem como objetivo identificar os principais riscos associados à produção de biodiesel e as estratégias de mitigação discutidas na literatura científica. Por meio de uma revisão sistemática, foram analisados estudos sobre viabilidade, impactos e gestão de riscos no setor. Os riscos foram classificados em categorias como suprimento de matéria-prima, tecnologia, meio ambiente, regulação, economia, logística, aspectos sociais e aceitação pública, com respectivas medidas de mitigação. A análise mostrou a importância de abordagens integradas e multicritério desde o planejamento inicial, a fim de promover uma produção de biocombustíveis mais sustentável e resiliente.

### 1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Diante da limitação dos recursos fósseis no planeta, cresce a necessidade de fontes renováveis de energia, o que explica o crescente interesse da comunidade científica, na última década, pelos impactos sociais, econômicos e ambientais associados (MIZIK & GYARMATI, 2021). Uma das principais tendências no desenvolvimento do mercado de combustíveis alternativos para o setor de transporte é a produção e o uso de biocombustíveis, devido à sua origem renovável e ao seu potencial de redução das emissões de gases de efeito estufa (HALYTSKYI *et al.*, 2021), sobretudo de modos de transporte de difícil descarbonização. O biodiesel, um tipo de biocombustível, pode ser obtido a partir de diversas matérias-primas, incluindo óleos vegetais, gorduras animais e óleos residuais, permitindo uma maior diversificação da matriz energética e a valorização de resíduos (DE ABREU *et al.*, 2024; 2025). Além disso, seu uso contribui para a redução da dependência de combustíveis fósseis e para a mitigação dos impactos ambientais associados ao setor de transportes, especialmente no que se refere à poluição atmosférica e ao efeito estufa (DE ABREU *et al.*, 2022).

O avanço das pesquisas e das políticas públicas voltadas à produção sustentável e ao aprimoramento das propriedades físico-químicas tem impulsionado sua competitividade e viabilidade técnica, tornando-o uma alternativa promissora para a transição energética global. A busca por caminhos de síntese sustentáveis para geração de biodiesel ainda está em andamento, embora um extenso trabalho de pesquisa e desenvolvimento sobre esse tópico já tenha levado a uma ampla variedade de alternativas de processo, utilizando diferentes matérias-primas, álcoois, catalisadores e parâmetros de processo. Assim, a escolha da opção mais sustentável pode-se tornar complexa, dependendo dos custos associados e dos impactos ambientais decorrentes dos processos a montante e a jusante, mas também das restrições de segurança (KRALISCH *et al.*, 2013). O desempenho de um sistema de biodiesel pode ser afetado por vários fatores de risco. O número desses fatores de risco é grande e suas interdependências são vagas e complexas (SAJID, KHAN & ZHANG, 2017). Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo investigar, por meio de revisão sistemática, os principais riscos atrelados à produção e viabilização do biodiesel, bem como elencar estratégias relevantes que podem ser adotadas para minimizá-los.

### 2. METODOLOGIA

A presente pesquisa foi conduzida com base em uma revisão sistemática de caráter exploratório, com o objetivo de identificar e sistematizar os principais riscos envolvidos na produção de biocombustíveis, bem como as estratégias de mitigação apontadas na literatura especializada. A abordagem metodológica adotada permitiu a construção de uma base teórica sólida sobre os desafios técnicos, econômicos, ambientais, sociais e regulatórios associados ao setor, com foco específico no biodiesel. A primeira etapa consistiu na seleção das fontes bibliográficas. Foram priorizados artigos científicos, capítulos de livros e relatórios técnicos publicados entre 2010 e 2025 (horizonte temporal de 15 anos), disponíveis em bases de dados acadêmicas de reconhecimento internacional, como *Scopus*, *Web of Science*, *ScienceDirect* e *Google Scholar*. Utilizaram-se combinações dos descritores: "biofuel", "biodiesel", "risk analysis", "sustainability", "economic risk",

"*environmental impact*" e "*risk mitigation strategies*". Os critérios de inclusão contemplaram publicações que abordassem de forma explícita os riscos na cadeia produtiva do biodiesel, suas causas, consequências e possíveis soluções.

Na etapa seguinte, os documentos foram analisados de forma qualitativa, permitindo a classificação dos riscos em categorias temáticas, a saber: risco de suprimento de matéria-prima, risco tecnológico, risco ambiental, risco regulatório e político, risco econômico e de mercado, risco logístico, risco social e risco de aceitação pública. Esses dados foram organizados na Tabela 1, sintetizando as descrições dos riscos e as respectivas medidas de mitigação. Os resultados foram discutidos de forma crítica, à luz de uma perspectiva interdisciplinar, destacando a necessidade de integração entre dimensões técnicas, econômicas, ambientais e sociais para a formulação de políticas públicas e estratégias empresariais mais eficazes. A metodologia adotada, portanto, visa oferecer uma compreensão abrangente e orientada à ação sobre os riscos que permeiam a produção de biodiesel e suas possíveis soluções.

### 3. RESULTADOS

A Tabela 1 apresenta uma síntese dos principais riscos associados à produção de biodiesel, abordando dimensões que vão desde o suprimento de matéria-prima até a aceitação pública. A crescente demanda por fontes energéticas renováveis traz à tona uma série de desafios que, se não forem devidamente gerenciados, podem comprometer a sustentabilidade ambiental, econômica e social do setor. Cada risco é descrito em termos de suas causas e implicações, sendo acompanhadas de estratégias para sua mitigação, com base na literatura técnica especializada. Essa abordagem permite compreender a complexidade do setor de biocombustíveis e reforça a importância de uma gestão integrada e proativa para garantir a viabilidade e a resiliência dessa alternativa energética frente às incertezas globais.

**Tabela 1.** Riscos associados à produção de biodiesel.

| Risco                                | Descrição                                                                                                                                                                                                                                                          | Como minimizar                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Risco de suprimento de matéria-prima | A disponibilidade de biomassa pode ser afetada por variações climáticas, sazonalidade, uso competitivo da terra e mudanças na demanda agrícola (SAJID, KHAN & ZHANG, 2017).                                                                                        | A dependência de fontes agrícolas pode ser reduzida por meio da diversificação das matérias-primas, priorizando resíduos agrícolas, óleos residuais e culturas não comestíveis, além de investir em sistemas agroflorestais sustentáveis (ŽIVKOVIĆ <i>et al.</i> , 2017; DE ABREU <i>et al.</i> , 2025).                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Risco tecnológico                    | Envolve desafios na eficiência dos processos de conversão, estabilidade operacional, degradação de catalisadores e incertezas associadas a novas tecnologias emergentes (SAJID, KHAN & ZHANG, 2017; AMBAYE <i>et al.</i> , 2021).                                  | O desenvolvimento de catalisadores mais eficientes e estáveis, a adoção de reatores avançados e a transição para processos contínuos podem minimizar falhas operacionais e aumentar a eficiência da produção (ŽIVKOVIĆ <i>et al.</i> , 2017). O investimento em pesquisa e desenvolvimento também contribui para a mitigação desse risco (HALYTSKYI <i>et al.</i> , 2021; DE ABREU <i>et al.</i> , 2025).                                                                                                                                                                           |
| Risco ambiental                      | Abrange impactos como desmatamento, perda de biodiversidade, uso excessivo de recursos hídricos, emissões de gases de efeito estufa no ciclo de vida do biocombustível e contaminação do solo e da água por resíduos do processamento (SAJID, KHAN & ZHANG, 2017). | A produção de biodiesel ambientalmente sustentável exige que os padrões de sustentabilidade abranjam impactos diretos e indiretos no meio ambiente, ou seja, solo, água e ar (ŽIVKOVIĆ <i>et al.</i> , 2017). Dessa forma, a adoção de padrões de sustentabilidade rigorosos, a implementação de técnicas para reduzir o consumo de água e a reutilização de subprodutos minimizam os impactos ambientais (DE ABREU <i>et al.</i> , 2025). Além disso, sistemas de monitoramento e certificações ambientais garantem maior controle sobre as emissões e o uso de recursos naturais. |
| Risco regulatório e político         | Mudanças em políticas públicas, subsídios e incentivos fiscais, além de requisitos ambientais cada vez mais rígidos, podem afetar a viabilidade econômica do setor (SAJID, KHAN & ZHANG, 2017; HALYTSKYI <i>et al.</i> , 2021).                                    | As políticas governamentais serão a principal força motriz para novos aumentos na produção de biodiesel (ŽIVKOVIĆ <i>et al.</i> , 2017). A estabilidade regulatória pode ser promovida por meio do fortalecimento de políticas públicas que incentivem a produção sustentável de biocombustíveis, harmonizando legislações nacionais e internacionais e estabelecendo                                                                                                                                                                                                               |



| Risco                        | Descrição                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Como minimizar                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | incentivos para produtores que atendam a padrões ambientais e sociais (HALYTSKYI <i>et al.</i> , 2021; DE ABREU <i>et al.</i> , 2025).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Risco econômico e de mercado | Inclui flutuações no preço do petróleo, variação cambial, competitividade com combustíveis fósseis, demanda por biocombustíveis e custos de produção. O custo superior do biodiesel frente ao diesel mineral, quando em mistura mandatária, implica no aumento dos custos logísticos e dos produtos. | A competitividade do biodiesel pode ser aprimorada com a criação de biorrefinarias integradas, a diversificação dos produtos derivados e o estabelecimento de parcerias estratégicas. Medidas como subsídios e incentivos fiscais também ajudam a reduzir as incertezas econômicas (DE ABREU <i>et al.</i> , 2025).                                                                                                                                                                                                                                 |
| Risco logístico              | Problemas na distribuição, transporte e armazenamento dos biocombustíveis, incluindo compatibilidade com a infraestrutura existente e possíveis dificuldades no escoamento da produção.                                                                                                              | O fortalecimento da infraestrutura de transporte e armazenamento, bem como a adaptação da rede de distribuição para maior compatibilidade com biocombustíveis, pode minimizar desafios logísticos e reduzir perdas no escoamento da produção.                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Risco social                 | Impactos sobre comunidades locais, conflitos de uso da terra, condições de trabalho na produção da biomassa e questões associadas à segurança alimentar quando há competição com culturas alimentares.                                                                                               | Para mitigar impactos sociais, é essencial promover cadeias produtivas sustentáveis, garantindo condições de trabalho dignas, evitando conflitos de uso da terra e assegurando que a produção de biocombustíveis não comprometa a segurança alimentar das comunidades locais. Para isso, faz-se necessária uma maior cooperação entre governos e diversas partes interessadas para desenvolver e aplicar critérios de sustentabilidade correspondentes de forma consistente em todo o mundo o mais rápido possível (ŽIVKOVIĆ <i>et al.</i> , 2017). |
| Risco de aceitação pública   | Resistência da sociedade ao uso de determinadas matérias-primas ou processos produtivos, principalmente se houver impactos ambientais ou sociais negativos percebidos.                                                                                                                               | A transparência no processo produtivo, a certificação da sustentabilidade do biodiesel e campanhas educativas sobre seus benefícios podem aumentar a aceitação da sociedade e reduzir resistências ao seu uso.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

Dando continuidade à análise dos riscos apresentados na Tabela 1, observa-se que a produção de biocombustível, especialmente o biodiesel, demanda soluções integradas que conciliem desempenho técnico, viabilidade econômica, impactos ambientais e aceitação social. A literatura técnica evidencia que esses elementos estão inter-relacionados e que sua abordagem isolada pode comprometer a sustentabilidade do setor. Por isso, diversos estudos vêm propondo metodologias que consideram simultaneamente múltiplos critérios de decisão, inclusive em estágios iniciais de projeto, como forma de orientar escolhas mais robustas e resilientes. Nesse contexto, Kralisch *et al.* (2013) desenvolveram um procedimento de suporte à decisão para seleção do *design* de processo mais apropriado à produção de biodiesel em escala piloto. A pesquisa destacou a importância da integração entre a Gestão do Ciclo de Vida (*Life Cycle Management* – LCM) e a Análise de Risco, duas abordagens complementares que permitem avaliar, desde as fases preliminares do projeto, os potenciais impactos ambientais, econômicos e operacionais. A alternativa considerada mais favorável foi a transesterificação de óleo residual utilizando processamento supercrítico em reatores de fluxo contínuo, com metanol como reagente. Essa rota tecnológica foi selecionada com base em uma combinação de testes experimentais, avaliação de desempenho energético e análise multicritério, indicando elevada eficiência, menores emissões e boas perspectivas de escalonamento. Tal escolha demonstra como a consideração simultânea de múltiplos riscos – tecnológicos, ambientais e econômicos – pode conduzir a soluções mais sustentáveis e tecnicamente viáveis.

Do ponto de vista econômico, Sajid, Zhang e Khan (2016) investigaram o desempenho financeiro de uma planta de biodiesel com capacidade anual de 45.000 toneladas, utilizando óleo de pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.) como matéria-prima – uma cultura não comestível, frequentemente apontada como alternativa promissora por não competir diretamente com a produção de alimentos. A análise contemplou cinco categorias principais de custos: investimento total de capital, custos fixos e variáveis, custo operacional anual e custo



total do projeto. Um dos principais achados foi que o custo da matéria-prima representa o elemento de maior peso na composição dos custos totais, confirmando a relevância do risco de suprimento apontado anteriormente. A aplicação de técnicas de simulação probabilística revelou uma incerteza de aproximadamente 50% no risco total estimado, mesmo com dados amplamente reportados na literatura. Essa alta variabilidade reforça a necessidade de mecanismos de mitigação, como a diversificação de matérias-primas e o uso de coprodutos. Notavelmente, o estudo mostrou que, ao incorporar os benefícios ambientais da substituição de combustíveis fósseis pelo biodiesel (por exemplo, na redução de emissões de CO<sub>2</sub>), a atratividade econômica do projeto aumentou, indicando que políticas de precificação de carbono ou incentivos ambientais poderiam desempenhar papel fundamental na viabilidade do setor.

A integração econômica de cadeias produtivas e a valorização de coprodutos também são centrais na proposta de Mansouri *et al.* (2019), que buscaram desenvolver uma estrutura sistemática para avaliação de risco econômico na produção de biodiesel e seus subprodutos. O estudo considerou a conversão do glicerol – principal subproduto da reação de transesterificação – em compostos de maior valor agregado, como 1,2-propanodiol e 1,3-propanodiol, ambos utilizados na indústria química e farmacêutica. A análise técnico-econômica baseou-se em indicadores como o Valor Presente Líquido (VPL) e o Preço Mínimo de Venda (PMS), e adotou o método de Monte Carlo com Amostragem de Hipercubo Latino (LHS) para incorporar incertezas de mercado e tecnológicas. Os resultados indicaram que a integração de coprodutos não apenas aumenta a eficiência econômica da planta, mas também reduz sua vulnerabilidade frente a oscilações de mercado, conferindo maior resiliência ao sistema produtivo. A estrutura desenvolvida, por ser genérica e adaptável, oferece subsídios metodológicos para avaliação de outras rotas tecnológicas, contribuindo para uma abordagem sistêmica e mais robusta da cadeia de valor do biodiesel.

Mizik e Gyarmati (2021) destacam um aspecto muitas vezes negligenciado nas análises econômicas: a compreensão integrada da sustentabilidade. Os autores observam que, em alguns contextos, a sustentabilidade ainda é tratada de forma limitada, reduzida à eficiência de custos. No entanto, cresce a adoção de uma abordagem mais abrangente (tripés do desenvolvimento sustentável), que reconhece a necessidade de considerar simultaneamente os aspectos ambientais, sociais e econômicos. Esse entendimento é essencial para lidar com riscos como os de aceitação pública, impactos sociais e conflitos de uso da terra, conforme discutido anteriormente. Para que os biocombustíveis desempenhem um papel relevante na transição energética, é necessário que sua cadeia produtiva seja concebida com base em critérios de justiça ambiental, equidade social e estabilidade econômica, considerando um horizonte temporal de curto, médio e longo prazo. Os investimentos públicos na busca da produção de biodiesel avançado, proveniente de óleos residuais, gordura animal e óleo de algas podem aumentar a resiliência do sistema, sobretudo frente às ameaças climáticas que podem impactar na agricultura, acentuando a competitividade entre produção de alimentos *versus* de biocombustíveis.

Com o intuito de enfrentar os obstáculos descritos na Tabela 1, o Centro de Pesquisa e Caracterização de Petróleo Bruto e Combustíveis (Coppecomb) e o Laboratório de Transporte de Cargas (LTC), ambos da COPPE/UFRJ, estão conduzindo um estudo voltado à análise preliminar da viabilidade técnica, econômico-, financeira e ambiental da ampliação da produção de biodiesel a partir do óleo residual gerado no processo de fabricação de etanol de milho, conhecido como *Distillers Corn Oil* (DCO), utilizando a rota enzimática. A iniciativa contempla quatro etapas centrais: a primeira consiste na implementação de uma planta experimental para o aperfeiçoamento da produção de biodiesel a partir do DCO; a segunda refere-se à avaliação da viabilidade de inserção competitiva do DCO no mercado nacional, a terceira envolve análise ambiental; e, por fim, a quarta etapa abrange a sistematização e a divulgação dos resultados junto aos públicos estratégicos e demais partes interessadas (DE ABREU *et al.*, 2024). Essa iniciativa é especialmente relevante diante da crescente demanda por fontes de energia mais limpas e sustentáveis, bem como da necessidade de agregar valor a subprodutos agroindustriais. O aproveitamento do óleo residual proveniente da produção de etanol de milho como matéria-prima para o biodiesel representa uma estratégia promissora de sinergia entre a indústria do etanol e do biodiesel, as maiores em produção de biocombustíveis no Brasil. Isso contribui para a diversificação da matriz energética brasileira, contribuindo para a redução da dependência de combustíveis fósseis, aumento da segurança energética, bem como a redução das emissões de gases de efeito estufa. Além disso, a adoção da rota enzimática pode oferecer vantagens ambientais e operacionais frente a processos convencionais, ao possibilitar reações mais seletivas, menor geração de resíduos e menores custos energéticos,



alinhando-se aos princípios da economia circular e da bioeconomia.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A produção de biodiesel representa uma alternativa estratégica frente à crise climática e à dependência de combustíveis fósseis, sobretudo para os modos de difícil descarbonização, mas está cercada por uma série de riscos que comprometem sua sustentabilidade. Os resultados deste estudo demonstram que os riscos são interdependentes e envolvem desde o suprimento de matéria-prima até a aceitação pública, passando por riscos de tecnologia, meio ambiente, regulação, economia, logística e de aspectos sociais, exigindo soluções integradas. A literatura técnica destaca que ferramentas como a Análise de Risco, a Gestão do Ciclo de Vida e modelos econômicos probabilísticos podem apoiar decisões mais robustas desde a concepção dos projetos. Dessa forma, indica-se que a adaptação eficaz desses riscos depende da articulação entre inovação tecnológica, planejamento estratégico e políticas públicas voltadas à sustentabilidade. A valorização de coprodutos, a diversificação de insumos, a estabilidade regulatória e o fortalecimento de mecanismos de governança são elementos centrais para consolidar cadeias produtivas mais resilientes. Além disso, é fundamental ampliar a visão de sustentabilidade para além da eficiência econômica, incorporando os aspectos sociais e ambientais que garantem justiça socioambiental e viabilidade de longo prazo para o biodiesel.

#### Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq/Brasil) pelo apoio financeiro por meio do processo 405875/2022-3, no projeto intitulado "Estudo da pré-viabilidade econômico-financeira e ambiental do aumento da escala de produção de biodiesel a partir de óleo residual da produção de etanol de milho via rota enzimática, Chamada CNPq/MCTI/FNDCT nº 18/2022".

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMBAYE, Teklit Gebregiorgis et al. Emerging technologies for biofuel production: A critical review on recent progress, challenges and perspectives. *Journal of environmental management*, v. 290, p. 112627, 2021.
- DE ABREU, Victor Hugo Souza et al. The role of the circular economy in road transport to mitigate climate change and reduce resource depletion. *Sustainability*, v. 14, n. 14, p. 8951, 2022.
- DE ABREU, Victor Hugo Souza et al. Perspectivas Críticas Sobre A Produção De Biodiesel A Partir De Distillers Corn Oil No Contexto Brasileiro. ANPET - Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. At: Florianópolis, Santa Catarina, 2024.
- DE ABREU, Victor Hugo Souza et al. Enzymatic Biodiesel Synthesis: Transforming Waste Oil into Renewable Energy. *Recent Advances in Transportation Theory to Practice*, 2025.
- HALYTSKYI, O. et al. Mathematical risk assessment model for biodiesel production projects in Ukraine agriculture. 2021.
- KRALISCH, Dana et al. Process design accompanying life cycle management and risk analysis as a decision support tool for sustainable biodiesel production. *Green Chemistry*, v. 15, n. 2, p. 463-477, 2013.
- MANSOURI, Seyed Soheil et al. Economic risk analysis and critical comparison of biodiesel production systems. *Biodiesel: From production to combustion*, p. 127-148, 2019.
- MIZIK, Tamás; GYARMATI, Gábor. Economic and sustainability of biodiesel production—a systematic literature review. *Clean Technologies*, v. 3, n. 1, p. 19-36, 2021.
- SAJID, Zaman; ZHANG, Yan; KHAN, Faisal. Process design and probabilistic economic risk analysis of bio-diesel production. *Sustainable Production and Consumption*, v. 5, p. 1-15, 2016.
- SAJID, Zaman; KHAN, Faisal; ZHANG, Yan. Integration of interpretive structural modelling with Bayesian network for biodiesel performance analysis. *Renewable Energy*, v. 107, p. 194-203, 2017.
- ŽIVKOVIĆ, Snežana B. et al. Technological, technical, economic, environmental, social, human health risk, toxicological and policy considerations of biodiesel production and use. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 79, p. 222-247, 2017.