REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 11/09/2026 - **Accepted:** 09/10/2026
Vol: 13.21
DOI: 10.66104/99xd1z37
Pages: 1-19

A VALORIZAÇÃO TECNOLÓGICA DO GLICEROL NO CONCEITO DE BIORREFINARIA: UMA REVISÃO NARRATIVA ESTRUTURADA SOB A PERSPECTIVA DA CADEIA DO BIODIESEL NO BRASIL

TECHNOLOGICAL VALORIZATION OF GLYCEROL WITHIN THE BIOREFINERY CONCEPT: A STRUCTURED NARRATIVE REVIEW FROM THE PERSPECTIVE OF THE BRAZILIAN BIODIESEL SUPPLY CHAIN

VALORIZACIÓN TECNOLÓGICA DEL GLICEROL EN EL MARCO DEL CONCEPTO DE BIORREFINERÍA: UNA REVISIÓN NARRATIVA ESTRUCTURADA DESDE LA PERSPECTIVA DE LA CADENA DE SUMINISTRO DE BIODIÉSEL EN BRASIL.

Sarah Nina de Miranda
Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

Alexandre José Sousa Alves,
Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

Thiago Roberto dos Santos Araújo
Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

Renato David Brito,
Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

Thais Cristina Coutinho Barreto,
Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

Matheus Henrique Vieira De Oliveira,
Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

Myrela Vieira de Araújo
Instituto Federal do Maranhão (IFMA),

Raimundo Nonato Rodrigues de Araújo Netto,
Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

RESUMO

O biodiesel ocupa posição estratégica na transição energética e descarbonização do setor de transportes no Brasil. A consolidação normativa promovida pela Lei nº 14.993/2024 (Lei do Combustível do Futuro) e pelo programa RenovaBio estabeleceu um cronograma progressivo de mistura obrigatória (B15 a B20), estimulando investimentos industriais e o avanço de novas rotas, como o Diesel Verde (HVO). Contudo, a expansão produtiva via reação de transesterificação

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 11/09/2026 - **Accepted:** 09/10/2026
Vol: 13.21
DOI: 10.66104/99xd1z37
Pages: 1-19

acarreta a geração contínua de glicerol, correspondendo a aproximadamente 10% da massa total produzida. Com uma produção nacional de glicerina bruta que atingiu cerca de 922 mil m³ em 2025, o excedente do coproduto gera desafios econômicos e operacionais devido à presenças de impurezas como água, metanol, sais e catalisadores. Diante dessa conjuntura, este artigo analisa de forma integrada a cadeia de valor do biodiesel brasileiro e as rotas de valorização tecnológica do glicerol bruto.

A metodologia baseou-se em uma revisão Narrativa Estruturada com Análise Documental de Dados Secundáriose na análise de dados oficiais da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) e da Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Os resultados apontam que a superação da dependência do mercado externo e da queima energética do glicerol bruto exige a consolidação de rotas catalíticas químicas (esterificação, acetalização, carbonatação e desidratação), termoquímicas e biotecnológicas. Essas vias viabilizam a síntese de compostos de alto valor agregado, tais como triacetina, solketal, carbonato de glicerol, acroleína, ácido acrílico, propanodióis e hidrogênio verde, transformando um subproduto de baixo custo em insumo estratégico para biorrefinarias. Conclui-se que o fortalecimento de aportes em Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) é indispensável para superar gargalos de purificação e catalisadores, garantindo a sustentabilidade e a eficiência da economia circular no setor energético nacional.

Palavras-chave: Biodiesel; Glicerol bruto; Biorrefinaria; RenovaBio; Rotas químicas.

ABSTRACT

Biodiesel occupies a strategic position in the energy transition and decarbonization of the transport sector in Brazil. The regulatory consolidation driven by Law No. 14,993/2024 (Fuel of the Future Law) and the RenovaBio program established a progressive mandatory blend schedule (B15 to B20), stimulating industrial investments and the development of new pathways, such as Renewable Diesel (HVO). However, production expansion via transesterification generates a continuous supply of glycerol, accounting for approximately 10% of the total mass produced. With national crude glycerin production reaching approximately 922,000 m³ in 2025, the surplus of this byproduct presents economic and operational challenges due to impurities such as water, methanol, salts, and catalysts. Given this context, this paper comprehensively analyzes the Brazilian biodiesel value chain and the technological valorization pathways for crude glycerol. The methodology was based on an integrative literature review and data analysis from the National Agency of Petroleum, Natural Gas and Biofuels (ANP) and the Energy Research Office (EPE). The results indicate that overcoming dependence on external markets and energy combustion of crude glycerol requires the consolidation of chemical catalytic (esterification, acetalization, carbonation, and dehydration), thermochemical, and biotechnological

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 11/09/2026 - **Accepted:** 09/10/2026
Vol: 13.21
DOI: 10.66104/99xd1z37
Pages: 1-19

routes. These pathways enable the synthesis of high value-added compounds such as triacetin, solketal, glycerol carbonate, acrolein, acrylic acid, propanediols, and green hydrogen, transforming a low-cost byproduct into a strategic feedstock for biorefineries. It is concluded that strengthening Research, Development, and Innovation (R&D) investments is essential to overcome purification and catalyst bottlenecks, ensuring the sustainability and efficiency of a circular economy in the national energy sector.

Keywords: Biodiesel; Crude glycerol; Biorefinery; RenovaBio; Chemical routes.

RESUMEN
El biodiésel ocupa una posición estratégica en la transición energética y la descarbonización del sector del transporte en Brasil. La consolidación normativa impulsada por la Ley Nº 14.993/2024 (Ley del Combustible del Futuro) y el programa RenovaBio estableció un cronograma progresivo de mezcla obligatoria (B15 a B20), estimulando inversiones industriales y el avance de nuevas rutas como el Diésel Verde (HVO). Sin embargo, la expansión productiva mediante la reacción de transesterificación conlleva la generación continua de glicerol, que corresponde aproximadamente al 10% de la masa total producida. Con una producción nacional de glicerina bruta que alcanzó unos 922 mil m³ en 2025, el excedente del coproducto genera desafíos económicos y operativos debido a impurezas como agua, metanol, sales y catalizadores. Ante este panorama, este artículo analiza de forma integrada la cadena de valor del biodiésel brasileño y las rutas de valorización tecnológica del glicerol bruto. La metodología se basó en una revisión bibliográfica integrativa y en el análisis de datos oficiales de la Agencia Nacional de Petróleo, Gas Natural y Biocombustibles (ANP) y de la Empresa de Investigación Energética (EPE). Los resultados señalan que superar la dependencia del mercado externo y la quema energética del glicerol bruto exige la consolidación de rutas catalíticas químicas (esterificación, acetalización, carbonatación y deshidratación), termoquímicas y biotecnológicas. Estas vías viabilizan la síntesis de compuestos de alto valor agregado como triacetina, solketal, carbonato de glicerol, acroleína, ácido acrílico, propanodioles e hidrógeno verde, transformando un subproducto de bajo costo en un insumo estratégico para biorrefinerías. Se concluye que el fortalecimiento de las inversiones en Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i) es indispensable para superar los obstáculos de purificación y catalizadores, garantizando la sostenibilidad y la eficiencia de la economía circular en el sector energético nacional.
Palabras clave: Biodiésel; Glicerol bruto; Biorrefinería; RenovaBio; Rutas químicas.

1. Introdução

O setor de biodiesel no Brasil vive um período de expansão impulsionado pela sanção da Lei do Combustível do Futuro (Lei nº 14.993/2024). A previsibilidade regulatória com a elevação gradual da mistura obrigatória ao diesel fóssil (atingindo B15 em 2025 e com metas progressivas até B20 até 2030) reativou planos de

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 11/09/2026 - **Accepted:** 09/10/2026
Vol: 13.21
DOI: 10.66104/99xd1z37
Pages: 1-19

expansão industrial, atraiu novos aportes financeiros e acelerou o debate sobre a diversificação de matérias-primas e o surgimento de novas rotas, como o Diesel Verde (HVO). O motor do ciclo de investimentos recente foi a aprovação do arcabouço normativo do setor, em especial a Lei do Combustível do Futuro, alinhada às metas do RenovaBio (Política Nacional de Biocombustíveis). Com a transição do B12 para B14 em 2024 e o B15 em 2025, o consumo nacional ultrapassou a marca de 10,5 a 11 milhões de metros cúbicos. O Ministério de Minas e Energia (MME) e entidades do setor (como APROBIO e UBRAB) projetam que o conjunto de medidas da lei poderá movimentar mais de R$ 20 bilhões a R$ 25 bilhões em investimentos na cadeia até 2030.

A busca por alternativas sustentáveis aos combustíveis fósseis no Brasil possui raízes históricas profundas, motivadas tanto por choques internacionais no preço do petróleo quanto pela necessidade estratégica de desenvolvimento agroindustrial e soberania energética (MENEGHETTI, 2007). Embora o país tenha se tornado referência mundial no uso do etanol carburante na década de 1970 com o Programa Nacional do Álcool (Proálcool), o segmento de combustíveis pesados (ciclo Diesel) permaneceu por décadas dependente da importação do petróleo bruto e de seus derivados refinados (MME, 2024). As primeiras pesquisas estruturadas com óleos vegetais para substituição do diesel datam da década de 1970 e 1980, destacando-se as patentes e testes pioneiros do professor Expedito José de Sá Parente na Universidade Federal do Ceará (UFC), que registrou uma das primeiras patentes mundiais do processo de produção de biodiesel por transesterificação (PARENTE, 2003). Contudo, a estabilização dos preços do petróleo no mercado internacional ao final dos anos 1980 postergou a industrialização em escala comercial.

O marco divisor para o setor ocorreu em dezembro de 2004, com o lançamento formal do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) e a subsequente promulgação da Lei nº 11.097/2005 (MME, 2024). O PNPB foi estruturado sobre três pilares estratégicos: inclusão social, sustentabilidade ambiental e viabilidade econômica via substituição gradual das importações de Óleo Diesel A fóssil (MME, 2024). Nas duas décadas seguintes, a indústria brasileira de

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 11/09/2026 - **Accepted:** 09/10/2026
Vol: 13.21
DOI: 10.66104/99xd1z37
Pages: 1-19

biodiesel evoluiu de uma fase experimental para um parque fabril de alta tecnologia com mais de 50 usinas autorizadas, consolidando o Brasil entre os maiores produtores e consumidores mundiais de biocombustíveis (EPE, 2026).

A produção convencional de biodiesel ocorre principalmente por meio da reação de transesterificação de triglicerídeos com um álcool de cadeia curta, geralmente metanol. Como resultado da reação são formados ésteres de ácidos graxos, que constituem o biodiesel, e glicerol, obtido como principal coproduto. A quantidade de glicerol gerada corresponde aproximadamente a 10% da massa de biodiesel produzida, embora esse valor possa variar em função da matéria-prima e das condições operacionais utilizadas no processo (YADAV; YADAV; AHMARUZZAMAN, 2024). O aumento da produção mundial e nacional de biodiesel tem, consequentemente, ampliado a disponibilidade desse coproduto, com estimativas de produção da ordem de milhões de toneladas por ano (ATTARBACHI; KINGSLEY; SPALLINA, 2023; MONTEIRO et al., 2018).

O problema está relacionado principalmente ao fato de que o glicerol proveniente diretamente da produção de biodiesel não apresenta a mesma qualidade do glicerol comercial de elevada pureza. O chamado glicerol bruto contém diferentes contaminantes, como água, metanol, sais, sabões, catalisadores e matéria orgânica não-glicerol, o que limita sua utilização direta em aplicações convencionais de maior valor agregado (LIU; ZHONG; LAWAL, 2022). Dessa maneira, o aproveitamento do glicerol constitui um importante desafio tecnológico e econômico para a cadeia de produção do biodiesel. A simples purificação do coproduto representa uma alternativa, porém pode aumentar significativamente os custos de processamento. Uma estratégia considerada mais promissora consiste na conversão direta ou após tratamento mínimo do glicerol em produtos de maior valor agregado.

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo analisar o panorama atual do biodiesel e do glicerol proveniente de sua produção no Brasil, integrando o arcabouço regulatório, as rotas tecnológicas de processamento, o volume de geração do coproduto, suas características, as principais rotas químicas de valorização e os destinos tecnológicos identificados no conceito de biorrefinaria.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 11/09/2026 - **Accepted:** 09/10/2026
Vol: 13.21
DOI: 10.66104/99xd1z37
Pages: 1-19

2. Revisão da Literatura

2.1 Trajetória Regulatória e Produção do Biodiesel no Brasil

A consolidação do mercado interno de biodiesel no Brasil apoia-se em mandatos legais de mistura obrigatória ao combustível comercializado nos postos de abastecimento (Diesel B). O cronograma de adição compulsória teve início em 2008 com o teor de 2% (B2) em volume. A partir de deliberações do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) e atualizações legislativas, o percentual foi progressivamente expandido, conforme sintetizado na Tabela 1:

Tabela 1 – Trajetória do Teor de Mistura Obrigatória de Biodiesel no Brasil



A Lei RenovaBio (Lei nº 13.576/2017) atua como o principal indutor de eficiência e descarbonização do mercado (BRASIL, 2017). As usinas certificadas emitem Créditos de Descarbonização (CBIOs) proporcionalmente à sua eficiência energético-ambiental. Esses títulos são negociados na bolsa de valores (B3), criando uma receita complementar para os produtores e penalizando distribuidoras de combustíveis fósseis que não cumprem suas metas individuais de redução de emissões (MME, 2024).

A evolução recente da mistura compulsória de biodiesel foi impulsionada pela aprovação da Lei nº 14.993/2024 (Lei do Combustível do Futuro). Embora o cronograma normativo previsse a elevação para o teor de 15% (B15) a partir de março de 2025, o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) suspendeu temporariamente a transição em fevereiro para avaliações de mercado, ocorrendo a vigência efetiva do B15 em 1º de agosto de 2025. Quanto às projeções para o teor de 20% (B20) até 2030, estas devem ser compreendidas como uma meta legal

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 11/09/2026 - **Accepted:** 09/10/2026
Vol: 13.21
DOI: 10.66104/99xd1z37
Pages: 1-19

progressiva e condicionada à comprovação técnica de viabilidade operacional, oferta de matéria-prima e deliberações regulatórias do CNPE, e não como um resultado garantido de forma automática.

A matriz de matérias-primas para o biodiesel brasileiro apresenta elevada concentração em grãos e resíduos do agronegócio, conforme dados compilados pela ANP (2026a): Óleo de Soja: 70%Gordura Bovina/Suína/Frango: 18%Óleo de Algodão: 7%Óleos Reciclados (UCO) e Outros: 5%A distribuição espacial do parque produtor reflete a proximidade com a produção agrícola de grãos e pecuária: a Região Centro-Oeste lidera a produção (~40–42%), seguida pela Região Sul (~38–40%), e pelas Regiões Sudeste, Nordeste e Norte (~18–20%), focadas no aproveitamento de gorduras animais e algodão (ANP, 2026a).

2.2 Rotas Tecnológicas do Biodiesel: Transesterificação vs. Hidrotratamento (HVO)

A transformação de lipídeos (óleos e gorduras) em biocombustível no Brasil ocorre precipuamente por transesterificação, com investimentos crescentes na rota de hidrotratamento (EPE, 2026a).A transesterificação é a reação química de um triacilglicerol (óleo ou gordura) com um álcool de cadeia curta (metanol ou etanol) na presença de um catalisador básico ou ácido, gerando ésteres de ácidos graxos (FAME/FAEE) e o glicerol como coproduto (KNOTHE et al., 2010). No Brasil, predomina a rota metílica devido ao menor custo reacional e facilidade de separação de fases, embora pesquisas promovam a rota etílica (etanol de cana-de-açúcar) para elevar a renovabilidade do produto (SUAREZ; MENEGHETTI, 2007).

O Óleo Vegetal Hidrotratado (Hydrotreated Vegetable Oil — HVO) caracteriza-se como um combustível parafínico drop-in, de elevada estabilidade oxidativa e total compatibilidade com a infraestrutura logística e motores do ciclo Diesel vigentes, enquadrado nas especificações normativas aplicáveis. Sob a perspectiva da biorrefinaria, contudo, é fundamental ressaltar uma distinção estequiométrica em relação à transesterificação tradicional: a rota de hidrotratamento não produz glicerol como coproduto. Dessa forma, uma eventual expansão futura da participação do HVO na matriz de biocombustíveis alterará o

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 11/09/2026 - **Accepted:** 09/10/2026
Vol: 13.21
DOI: 10.66104/99xd1z37
Pages: 1-19

balanço global de oferta e a disponibilidade de glicerol bruto no mercado nacional.

2.3 Produção, Disponibilidade e Características do Glicerol Bruto

A expansão do biodiesel tem produzido quantidades crescentes de glicerol, estabelecendo uma referência de geração de aproximadamente 10% de glicerol em relação à massa de biodiesel produzido (YADAV; YADAV; AHMARUZZAMAN, 2024). Estimativas indicam uma produção mundial de glicerol bruto na ordem de milhões de toneladas anuais (ATTARBACHI; KINGSLEY; SPALLINA, 2023).No Brasil, segundo a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), a produção nacional de biodiesel (B100) atingiu cerca de 9,84 milhões de em 2025, um aumento de 8,7% em relação a 2024 e de aproximadamente 159% em relação a 2016.

Como subproduto, foram geradas cerca de 922 mil m^3 de glicerina em 2025, o que corresponde a cerca de 9,4% do volume de biodiesel produzido (ANP, 2026). A série histórica mostra que a glicerina gerada no país saltou de 342 mil m^3 em 2016 para 922 mil em 2025 (ANP, 2026).Essa disponibilidade, contudo, enfrenta gargalos de absorção do mercado e de heterogeneidade de qualidade: Capacidade de Absorção: Em 2013, a indústria brasileira gerou cerca de 350 mil toneladas de glicerina bruta, enquanto o mercado interno era capaz de absorver apenas cerca de 40 mil toneladas por ano (PEITER et al., 2016).Limitações e Impurezas: O glicerol bruto obtido diretamente das usinas contém água, metanol, sais, sabões, catalisadores e matéria orgânica não-glicerol (LIU; ZHONG; LAWAL, 2022).

Em levantamento de 41 amostras de 16 usinas brasileiras, Oliveira et al. (2013) verificaram que apenas 4 usinas (36,8% da produção) atendiam aos padrões de umidade e teor de glicerol.Exportação de Baixo Valor: O Brasil passou de importador a exportador de glicerol bruto, enviando cerca de 598 mil toneladas em 2024 (com 90,5% do valor destinado à China) a um preço médio de US$ 248 por tonelada, o que reflete o baixo valor agregado do produto in natura (RUY et al., 2020; WORLD BANK, 2024).

2.4 Rotas Químicas, Termoquímicas e Biotecnológicas de Valorização do Glicerol

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 11/09/2026 - **Accepted:** 09/10/2026
Vol: 13.21
DOI: 10.66104/99xd1z37
Pages: 1-19

A elevada funcionalidade química do glicerol, decorrente de seus três grupos hidroxila, permite sua inserção estratégica no conceito de biorrefinaria (DAMASO, 2014). Conforme mapeado por Yadav, Yadav e Ahmaruzzaman (2024) e Sandid, Spallina e Esteban (2024), as principais rotas de conversão em produtos de maior valor agregado incluem:Esterificação e Acetalização: A reação do glicerol com ácidos orgânicos produz triacetina (aditivo de combustível, plastificante e intermediário químico).

A acetalização com acetona produz o solketal, um promissor aditivo para combustíveis.Carbonatação: Produção de carbonato de glicerol, utilizado na síntese de polímeros, solventes e novos materiais.Desidratação Catalítica: Conversão do glicerol em acroleína, que atua como intermediário para a obtenção de ácido acrílico renovável, oferecendo uma rota alternativa à produção convencional baseada em propileno petroquímico (SANDID et al., 2023).Hidrogenólise e Bioconversão: Obtenção de 1,2-propanodiol e 1,3-propanodiol.

A rota biotecnológica via fermentação com microrganismos modificados permite utilizar o glicerol como fonte de carbono para síntese de 1,3-propanodiol e biopolímeros (KUMAR, 2023). Reforma e Produção de Hidrogênio: A reforma a vapor do glicerol permite a conversão em correntes ricas em hidrogênio verde, um vetor energético estratégico para a transição energética (QURESHI et al., 2022).

Os principais destinos do glicerol organizam-se em quatro eixos: (a) utilização convencional de alta pureza (cosméticos e fármacos); (b) recuperação energética (combustão e reforma); (c) químicos nobres (solketal, triacetina, acroleína, ácido acrílico, propanodióis); e (d) bioconversão (biopolímeros e lipídios microbianos). A consolidação industrial dessas alternativas depende da superação de desafios como o tratamento do glicerol bruto e o desenvolvimento de catalisadores resistentes a impurezas (SPALLINA, 2023)

3. Metodologia

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa de natureza aplicada, com abordagem qualitativo-quantitativa e caráter descritivo-exploratório, conduzida por meio de revisão narrativa estruturada combinada à análise documental de

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 11/09/2026 - **Accepted:** 09/10/2026
Vol: 13.21
DOI: 10.66104/99xd1z37
Pages: 1-19

dados secundários (GIL, 2008; MARCONI; LAKATOS, 2017).

A opção pela revisão narrativa estruturada fundamenta-se na necessidade de integrar, de forma analítica e crítica, a evolução do arcabouço normativo e produtivo da cadeia do biodiesel às rotas de conversão catalítica, termoquímica e biotecnológica do glicerol bruto no conceito de biorrefinaria.A operacionalização da pesquisa estruturou-se em quatro etapas encadeadas:

3.1. Etapa 1: Delimitação dos Eixos Analíticos de Pesquisa

A investigação foi delimitada a partir de quatro eixos centrais inter-relacionados:Trajetória Regulatória e Mercado de Biodiesel:

- A evolução do mandato legal de mistura compulsória no Brasil (do B2 ao B15/B20), examinando os impactos do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), do RenovaBio (Lei nº 13.576/2017) e da Lei do Combustível do Futuro (Lei nº 14.993/2024);
- Rotas Tecnológicas de Processamento Lipídico: As especificidades reacionais, operacionais e estequiométricas entre as rotas de transesterificação (metílica/etílica), hidroesterificação e hidrotratamento (Hydrotreated Vegetable Oil — HVO), avaliando seus respectivos impactos na geração e no balanço global de oferta de glicerol;
- Caracterização e Valorização Tecnológica do Glicerol Bruto: A composição típica e os contaminantes do subproduto (água, metanol, sais e MONG), os requisitos e gargalos de purificação, e a análise comparativa das principais rotas químicas (esterificação, acetalização, carbonatação, desidratação), termoquímicas (reforma) e biotecnológicas (fermentação) no âmbito de biorrefinarias;
- Mecanismos de Fomento e Fluxo Comercial: O mapeamento do direcionamento dos investimentos em Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) impulsionados pela Cláusula de P&D da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) e o fluxo do comércio exterior do glicerol bruto brasileiro.

3.2. Etapa 2: Levantamento de Dados e Fontes de Informação

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 11/09/2026 - **Accepted:** 09/10/2026
Vol: 13.21
DOI: 10.66104/99xd1z37
Pages: 1-19

A coleta de dados secundários abrangeu o período de 2004 a 2026, combinando literatura acadêmica indexada e bases de dados institucionais oficiais:Bases de Dados Acadêmicas: As buscas bibliográficas foram realizadas nas plataformas SciELO, Scopus, ScienceDirect e Google Acadêmico.

Foram empregadas combinações de descritores controlados e operadores booleanos (AND/OR) nos idiomas português e inglês: ("biodiesel" OR "transesterification") AND ("crude glycerol" OR "glycerin") AND ("biorefinery" OR "valorization" OR "catalytic routes") AND ("RenovaBio" OR "Fuel of the Future").

Bases Documentais e Estatísticas Oficiais: Os dados operacionais e de capacidade instalada foram extraídos dos boletins mensais e painéis dinâmicos da ANP, das publicações do Balanço Energético Nacional (BEN) e Planos Decenais de Expansão de Energia (PDE) da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), além de relatórios do Ministério de Minas e Energia (MME).

Os dados sobre o fluxo de exportação e precificação do subproduto foram coletados no sistema Comex Stat do Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC), sob a Nomenclatura Comum do Mercosul NCM 1520.00.00 (Glicerol em bruto; águas e lixívias glicéricas).Base Legislativa e Normativa: Análise das Leis federais nº 11.097/2005, nº 13.576/2017 e nº 14.993/2024, além de resoluções e deliberações do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) e da ANP.

3.3. Etapa 3: Tratamento, Normalização e Sistematização das Informações

Os dados coletados foram tabulados e organizados para fundamentar a análise qualitativo-dedutiva:

Padronização Físico-Química e Terminológica: Estabeleceu-se a distinção conceitual rigorosa entre glicerol e glicerina. Nas conversões de dados para o glicerol bruto, evitando comparações diretas entre métricas em massa e volume sem ressalva técnica.

Matriz Comparativa das Rotas de Valorização: As rotas tecnológicas de conversão do glicerol bruto foram catalogadas e comparadas sob a ótica das seguintes variáveis técnicas: principais produtos obtidos, sistemas

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 11/09/2026 - **Accepted:** 09/10/2026
Vol: 13.21
DOI: 10.66104/99xd1z37
Pages: 1-19

catalíticos/biológicos empregados, condições operacionais típicas (temperatura e pressão), necessidade e nível de purificação do insumo, tolerância aos principais contaminantes (água, metanol, sais e MONG), vantagens, limitações operacionais e nível de maturidade tecnológica indicado pela escala Technology Readiness Level (TRL).

3.4. Etapa 4: Análise e Interpretação dos Resultados

A interpretação dos resultados adotou a análise de conteúdo e a abordagem qualitativa, correlacionando o avanço dos incentivos regulatórios com as barreiras tecnológicas de purificação do glicerol e o desenvolvimento de catalisadores tolerantes a impurezas. A discussão buscou demonstrar a inviabilidade da simples queima energética ou exportação de baixo valor agregado do glicerol bruto, posicionando sua conversão catalítica e biotecnológica como pilar central para a sustentabilidade econômica e circular das biorrefinarias no Brasil.

4. Resultados e Discussão

A análise dos dados consolidados da ANP, EPE e MME, associada ao levantamento da literatura especializada, permitiu mapear os principais resultados referentes à matriz de matérias-primas, ao panorama de investimentos em PD&I, à transição para a mistura B15/B20 e à dinâmica de comercialização no Brasil.

4.1. Panorama da Matriz de Matérias-Primas e Distribuição Geográfica

Os dados de produção nacional demonstram uma elevada concentração na utilização do óleo de soja como principal insumo lipídico (cerca de 70%), seguido pelas gorduras animais de abates bovinos, suínos e de aves (~18%), óleo de algodão (~7%) e óleos residuais/UCO (~5%) (ANP, 2026a).

Essa configuração reflete a sinergia com o complexo agroindustrial brasileiro. No entanto, a discussão acadêmica aponta que a dependência excessiva do grão de soja expõe a cadeia do biodiesel à volatilidade das commodities no mercado internacional (SUAREZ; MENEGHETTI, 2007; EPE, 2026a).

Geograficamente, as regiões Centro-Oeste (~41%) e Sul (~39%) concentram cerca de 80% da capacidade produtiva autorizada (ANP, 2026a), evidenciando o modelo de localização das usinas próximo aos polos de esmagamento de grãos e abate pecuário, o que otimiza a logística de suprimento primário.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 11/09/2026 - **Accepted:** 09/10/2026
Vol: 13.21
DOI: 10.66104/99xd1z37
Pages: 1-19

4.2. Impactos Regulatórios: Do PNPB ao RenovaBio e B15

A elevação progressiva do mandato legal de mistura — que transitou do B2 (2008) ao B15 (2025/2026) — impulsionou o ganho de escala da indústria (MME, 2024; ANP, 2026a).

A implementação do RenovaBio (Lei nº 13.576/2017) alterou a dinâmica de valoração das usinas: a emissão dos Créditos de Descarbonização (CBIOs) passou a remunerar produtores não apenas pelo volume entregue, mas pela eficiência na redução de emissões ao longo do ciclo de vida (Well-to-Wheel) (BRASIL, 2017).

A discussão técnica sobre o B15 indica que os motores modernos (tecnologia Euro 6 / Proconve P8) operam com segurança nessa proporção. Contudo, a projeção do B20 reacende o debate sobre a estabilidade à oxidação e a formação de gomas em armazenamentos prolongados, exigindo avanço nos pacotes de aditivação antioxidante (KNOTHE et al., 2010; ANP, 2024).

4.3. Efetividade dos Investimentos em PD&I via Cláusula da ANP

Os investimentos decorrentes da Cláusula de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) dos contratos de exploração e produção de petróleo e gás natural da ANP mobilizam anualmente recursos superiores a R$ 4,0 bilhões. Cumpre destacar, contudo, que esse montante representa a obrigação total do setor petrolífero, do qual apenas uma fração é canalizada para projetos focados em biocombustíveis e transição energética. Na cadeia do biodiesel, esses aportes específicos têm viabilizado pesquisas voltadas ao desenvolvimento de catalisadores heterogêneos, rotas de purificação e valorização do glicerol, além de estudos aplicados a novas espécies oleaginosas.

4.4. Dinâmica do Fluxo Comercial e Abastecimento Setorial

A substituição dos leilões públicos da ANP pelo modelo de Contratação Direta descentralizou a negociação entre usinas e distribuidoras, resultando em maior dinamismo de preços e formação de contratos de longo prazo (ANP, 2024).

No consumo final, o transporte rodoviário absorve a maior fração do Diesel B comercializado. Paralelamente, o setor agropecuário e o segmento industrial/termogeração consolidam-se como mercados estratégicos para o uso de misturas com alto teor e do B100 em frotas dedicadas (EPE, 2026b).

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 11/09/2026 - **Accepted:** 09/10/2026
Vol: 13.21
DOI: 10.66104/99xd1z37
Pages: 1-19

4.5. Valorização Tecnológica e Desafios de Purificação do Glicerol Bruto no Conceito de Biorrefinaria

A consolidação da cadeia de biodiesel no Brasil, impulsionada pelo avanço do mandato de mistura (B15), gera um volume substancial de coproduto que requer gerenciamento técnico e econômico eficiente. Para fundamentar a análise tecnológica, faz-se necessária a distinção conceitual e terminológica entre glicerina e glicerol: enquanto a glicerina refere-se ao produto comercial ou efluente industrial bruto composto por uma mistura complexa, o glicerol corresponde à molécula pura do triálcool propano-1,2,3-triol. O glicerol bruto efluente da reação de transesterificação possui cor escura e elevada alcalinidade ou acidez (a depender do catalisador empregado), apresentando uma composição altamente heterogênea. A Tabela 2 sintetiza os parâmetros físico-químicos e as faixas de composição típicas da glicerina bruta gerada industrialmente.

Tabela 2

Parâmetro / Componente	Faixa Média de Concentração	Impacto Operacional / Desafio
Teor de Glicerol	40,0% – 80,0% (m/m)	Determina o rendimento de conversão e a necessidade de pré-tratamento.
Umidade	5,0% – 20,0% (m/m)	Causa desativação e hidrólise de catalisadores ácidos/básicos.
Álcool Residual (Metanol/Etanol)	1,0% – 15,0% (m/m)	Riscos de toxicidade em bioprocessos e inflamabilidade; exige recuperação.
Sais e Cinzas	2,0% – 10,0% (m/m)	Envenenamento e incrustação de catalisadores sólidos; bloqueio de sítios ativos.
MONG (Matéria Orgânica Não-Glicerol)	1,0% – 8,0% (m/m)	Presença de sabões e ácidos graxos livres que causam formação de espuma e coqueamento.
pH	3,0 – 11,0	Requer neutralização prévia para evitar corrosão ou inibição enzimática/microbiana.

Fonte: Adaptado de Peiter et al. (2016), Liu, Zhong e Lawal (2022) e Yadav, Yadav e Ahmaruzzaman (2024) .

A elevada funcionalidade da molécula de glicerol, conferida por seus três grupos hidroxila primários e secundários, permite a sua transformação catalítica, termoquímica e microbiológica em uma ampla gama de intermediários químicos de

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 11/09/2026 - **Accepted:** 09/10/2026
Vol: 13.21
DOI: 10.66104/99xd1z37
Pages: 1-19

alto valor agregado. A escolha do destino tecnológico, contudo, é estritamente condicionada à tolerância do processo às impurezas da Tabela 2 e ao grau de purificação exigido.

A Tabela 3 apresenta a matriz comparativa e sistemática das principais rotas tecnológicas de valorização do glicerol integradas ao conceito de biorrefinaria.

Tabela 3

Parâmetro / Componente	Faixa Média de Concentração	Impacto Operacional / Desafio
Teor de Glicerol	40,0% – 80,0% (m/m)	Determina o rendimento de conversão e a necessidade de pré-tratamento.
Umidade	5,0% – 20,0% (m/m)	Causa desativação e hidrólise de catalisadores ácidos/básicos.
Álcool Residual (Metanol/Etanol)	1,0% – 15,0% (m/m)	Riscos de toxicidade em bioprocessos e inflamabilidade; exige recuperação.
Sais e Cinzas	2,0% – 10,0% (m/m)	Envenenamento e incrustação de catalisadores sólidos; bloqueio de sítios ativos.
MONG (Matéria Orgânica Não-Glicerol)	1,0% – 8,0% (m/m)	Presença de sabões e ácidos graxos livres que causam formação de espuma e coqueamento.
pH	3,0 – 11,0	Requer neutralização prévia para evitar corrosão ou inibição enzimática/microbiana.

4.5.1. Análise Crítica das Rotas e Desafios de Integração Industrial

A análise dos dados da Tabela 3 revela que os principais obstáculos para o escalonamento industrial das rotas químicas (esterificação, acetalização, carbonatação e desidratação) não residem no rendimento reacional em escala de laboratório, mas sim na sensibilidade do sistema catalítico às impurezas do glicerol bruto.

A presença de sais inorgânicos ,provenientes da neutralização do catalisador de transesterificação) provoca o bloqueio físico e o envenenamento dos sítios ativos de catalisadores heterogêneos sólidos. Adicionalmente, a água residual desativa por hidrólise os catalisadores ácidos, enquanto a matéria orgânica não-glicerol (MONG) favorece o coqueamento rápido em reatores de fase gasosa, como

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 11/09/2026 - **Accepted:** 09/10/2026
Vol: 13.21
DOI: 10.66104/99xd1z37
Pages: 1-19

observado na desidratação para obtenção de acroleína.

Nesse cenário, a definição do arranjo tecnológico em uma biorrefinaria deve considerar a relação custo-benefício entre o pré-tratamento do subproduto e o valor agregado do produto final:

Rotas de Alta Pureza Exigida: Demandam etapas prévias de acidificação, separação de fases, remoção de metanol por stripping e destilação/evaporação. Embora exijam maior OpEx e CapEx de purificação, entregam compostos de elevado valor de mercado que atuam diretamente como aditivos de octanagem e fluidez para combustíveis, ou como intermediários monoméricos substitutos de petroquímicos.

Rotas de Baixa/Média Exigência (Reforma a Vapor e Bioprocessos): A reforma a vapor do glicerol e a conversão biotecnológica surgem como alternativas vantajosas para integração no próprio sítio fabril. A reforma aproveita a própria água contida na glicerina bruta para a reação de conversão em hidrogênio renovável e gás de síntese. Esse hidrogênio renovável pode ser diretamente redirecionado para abastecer unidades vizinhas de hidrotratamento (HVO e SAF), fechando o ciclo de integração energética e material da biorrefinaria. Por sua vez, a rota biotecnológica para produção de 1,3-propanodiol (1,3-PDO) já se encontra consolidada comercialmente (TRL 8–9), apresentando tolerância moderada a impurezas aquosas.

Portanto, a superação da atual dependência da exportação de glicerina bruta in natura passa pela interiorização de tecnologias de purificação de baixo custo e pelo desenvolvimento de catalisadores robustos e reutilizáveis, aptos a operar em correntes purificadas por métodos primários.

B155. Conclusão

5. CONCLUSÃO

A consolidação da cadeia de biodiesel no Brasil, impulsionada pelo avanço do mandato de mistura para 15% (B15) em agosto de 2025 e pelas diretrizes estipuladas pela Lei nº 14.993/2024 (Lei do Combustível do Futuro), elevou a geração de glicerol bruto a patamares históricos de escala industrial no país. A

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 11/09/2026 - **Accepted:** 09/10/2026
Vol: 13.21
DOI: 10.66104/99xd1z37
Pages: 1-19

análise desenvolvida neste estudo evidencia que a sustentabilidade econômica e ambiental de todo o ecossistema do biodiesel depende diretamente da superação da atual dinâmica de destinação desse subproduto, hoje pautada majoritariamente pela exportação in natura de baixo valor agregado ou pelo aproveitamento energético direto.

A transição efetiva das usinas de biodiesel para o conceito de biorrefinaria integrada encontra seu principal gargalo tecnológico na elevada heterogeneidade e presença de contaminantes na glicerina bruta efluente da transesterificação — destacando-se o elevado teor de água (5% a 20%), sais inorgânicos (2% a 10%), metanol residual (1% a 15%) e matéria orgânica não-glicerol (MONG, 1% a 8%). Esses componentes atuam como agentes inibidores, envenenando sítios ativos e provocando a rápida desativação de sistemas catalíticos heterogêneos sólidos ou a inibição de cepas microbiológicas.

A avaliação comparativa e sistemática das rotas tecnológicas de valorização revela um panorama heterogêneo de viabilidade e integração industrial. Por um lado, as rotas catalíticas para síntese de aditivos de combustíveis e intermediários químicos, como Solketal, Triacetina, Carbonato de Glicerol e Acroleína, entregam produtos de elevado valor de mercado e apresentam nível de maturidade intermediário (TRL 5–7), porém dependem estritamente do custo de implantação de etapas prévias de purificação para evitar a desativação dos catalisadores. Por outro lado, a rota biotecnológica de fermentação microbiológica para obtenção de 1,3-propanodiol destaca-se por ostentar o maior grau de consolidação comercial (TRL 8–9) e operar sob condições brandas, embora enfrente desafios econômicos nas etapas de separação downstream.

Nesse cenário, a reforma a vapor do glicerol bruto surge como a rota de maior valor estratégico para a integração no próprio complexo fabril. Ao converter frações menos purificadas do subproduto em hidrogênio renovável de baixo carbono e gás de síntese (TRL 7–8), possibilita o reaproveitamento desse hidrogênio para abastecer unidades vizinhas de hidrotratamento de biocombustíveis avançados, como HVO e SAF, fechando o ciclo de integração energética da biorrefinaria sem

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 11/09/2026 - **Accepted:** 09/10/2026
Vol: 13.21
DOI: 10.66104/99xd1z37
Pages: 1-19

demandar o grau extremo de purificação exigido na química fina.

Por fim, conclui-se que o redimensionamento dos aportes da Cláusula de PD&I da ANP direcionados aos biocombustíveis deve priorizar a interiorização de tecnologias descentralizadas de purificação de baixo OpEx e o desenvolvimento de catalisadores heterogêneos altamente robustos e tolerantes a impurezas. O reposicionamento do glicerol de um subproduto excedente para um bloco de construção químico (chemical building block) estratégico é a chave para a resiliência econômica, a inovação em química verde e a consolidação da economia circular na matriz energética brasileira.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). **Biodiesel e os Avanços da Lei Combustível do Futuro**. Seminário Combustível do Futuro, Câmara dos Deputados, Brasília, DF, 2024. Disponível em: https://www2.camara.leg.br/atividade-legislativa/comissoes/comissoes-temporarias/especiais/57a-legislatura/transicao-energetica-e-producao-de-hidrogenio-verde/apresentacoes-em-eventos/MendesPietroANPApresentacao_Seminario_Combustivel_do_Futuro_vf.pdf. Acesso em: 3 out. 2026.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). **Boletim Mensal do Biodiesel e Capacidade Produtiva das Usinas**. Brasília, DF: ANP, 2025/2026.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). **Painel Dinâmico de Produtores de Biodiesel**. Brasília, DF: ANP, 2026a. Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/paineis-dinamicos-da-anp/paineis-e-mapa-dinamicos-de-produtores-de-combustiveis-e-derivados/painel-dinamico-de-produtores-de-biodiesel. Acesso em: 3 out. 2026.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). **Relatório de Gestão e Dados Abertos da Cláusula de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I)**. Brasília, DF: ANP, 2026b. Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/pesquisa-desenvolvimento-e-inovacao. Acesso em: 3 out. 2026.

ASSOCIAÇÃO DOS PRODUTORES DE BIOCOMBUSTÍVEIS DO BRASIL (APROBIO). **Relatório de Desempenho do Setor de Biodiesel e Projeções de Investimento**. São Paulo: APROBIO, 2025.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (BNDES). **Biodiesel e Diesel Verde no Brasil: Rotas Tecnológicas, Insumos e Transição Energética**. Rio de Janeiro: BNDES, 2022/2024.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 11/09/2026 - **Accepted:** 09/10/2026
Vol: 13.21
DOI: 10.66104/99xd1z37
Pages: 1-19

BRASIL. **Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005**. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira; altera as Leis nos 9.478/1997, 9.847/1999 e 10.636/2002. Brasília, DF: Presidência da República, 2005. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/lei/l11097.htm. Acesso em: 3 out. 2026.

BRASIL. **Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017**. Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2017. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2017-2020/2017/lei/l13576.htm. Acesso em: 3 out. 2026.

BRASIL. **Lei nº 14.993, de 8 de outubro de 2024**. Dispõe sobre a promoção da mobilidade sustentável de baixo carbono e a consolidação do Programa Combustível do Futuro. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis – Ano Base 2025**. Rio de Janeiro: EPE, 2026a. Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/analise-de-conjuntura-dos-biocombustiveis-2025. Acesso em: 3 out. 2026.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanço Energético Nacional (BEN 2026): Relatório Síntese / Ano Base 2025**. Rio de Janeiro: EPE, 2026b. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-975/topico-847/BEN_S%C3%ADntese_2026_EN.pdf. Acesso em: 3 out. 2026.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE)**. Ministério de Minas e Energia (MME), Brasília, DF: EPE, 2025.

KNOTHE, Gerhard; KRAHL, Jürgen; VAN GERPEN, Jon. **Manual de Biodiesel**. São Paulo: Edgard Blücher, 2010. 352 p. ISBN 9788521205296.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB): Diretrizes e Resultados do Setor**. Brasília, DF: MME, 2024. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/biocombustiveis/pnpb. Acesso em: 3 out. 2026.

PARENTE, Expedito José de Sá. **Biodiesel: uma alternativa de combustível**. Fortaleza: Tecbio, 2003. 68 p.

SUAREZ, Paulo Anselmo Ziani; MENEGHETTI, Simoni Margareti Plentz. 20 Anos de Biodiesel no Brasil: Mitos e Realidades. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 8, p. 2068-2075, 2007. Disponível em: https://www.scielo.br/j/qn/a/8cRNKqK8WyVyg9NqQyXn3rG/. Acesso em: 3 out. 2026.

UNIÃO BRASILEIRA DO BIODIESEL E BIOQUEROSENE (UBRAB). **Panorama dos Biocombustíveis no Brasil e Descarbonização dos Transportes**. Brasília, DF: UBRAB, 2025.

CC BY