DINÂMICA E PERSPECTIVAS DE PRODUTOS EMERGENTES DO COMPLEXO SOJA

Submetido em: 19/12/2024
Aceito em: 24/6/2025
Publicado em: 10/9/2025

Helena de Moraes Santos[1], Fernanda Cigainski Lisbinski[2]
Rodrigo Peixoto da Silva[3], Nicole Rennó Castro[4]

PRE-PROOF
(as accepted)

Esta é uma versão preliminar e não editada de um manuscrito que foi aceito para publicação na Revista Desenvolvimento em Questão. Como um serviço aos nossos leitores, estamos disponibilizando esta versão inicial do manuscrito, conforme aceita. O manuscrito ainda passará por revisão, formatação e aprovação pelos autores antes de ser publicado em sua forma final.

http://dx.doi.org/10.21527/2237-6453.2025.62.16865

RESUMO

O objetivo deste trabalho é realizar uma análise exploratória da dinâmica recente para o biodiesel e o glicerol – denotados como produtos emergentes do complexo soja –, explorando sobretudo o panorama mundial para esses produtos e traçando perspectivas. Entre os principais resultados, pode-se destacar: i) há tendência de crescimento da

[1] Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - ESALQ/USP. Piracicaba/SP, Brasil.
https://orcid.org/0009-0008-2627-3978

[2] Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - ESALQ/USP, Piracicaba/SP, Brasil.
https://orcid.org/0000-0001-9131-5996

[3] Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - ESALQ/USP, Piracicaba/SP, Brasil.
https://orcid.org/0000-0001-9198-0515

[4] Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - ESALQ/USP, Piracicaba/SP, Brasil.
https://orcid.org/0000-0003-4768-8976

comercialização do biodiesel, amparada pela crescente preocupação com impactos ambientais; ii) o glicerol tem acompanhado esse crescimento, visto ser subproduto da produção, colocando em questão as oportunidades potencialmente auferidas nos sentidos econômico e ambiental a partir do aproveitamento de tal resíduo, em contraponto às dificuldades relacionadas a seus graus de purificação, os quais limitam seus usos – se estabelecendo um cenário complexo; iii) no cenário mundial do biodiesel, os países europeus se destacam tanto como exportadores quanto como importadores, e fortaleceram esse protagonismo no período; iv) no cenário mundial do glicerol, os principais exportadores estão bem distribuídos na Ásia, Europa e América, ao passo que a China se destaca como principal país importador.

Palavras-chave: biodiesel; glicerol; comércio internacional; complexo soja.

DYNAMICS AND PERSPECTIVES OF EMERGING PRODUCTS OF THE SOY COMPLEX

ABSTRACT

The objective of this study is to conduct an exploratory analysis of the recent dynamics of biodiesel and glycerol—referred to as emerging products of the soybean complex—focusing primarily on the global landscape for these products and outlining future perspectives. Key findings include: (i) there is a growing trend in biodiesel commercialization; (ii) glycerol production has followed this growth, as it is a byproduct of biodiesel production, raising questions about the potential economic and environmental opportunities that could be gained from its utilization, in contrast to issues related to purification levels, which limit its applications - creating a complex scenario; (iii) in the global biodiesel market, European countries stand out as major exporters and importers, (iv) finally, in the global glycerol market, key exporters are well-distributed across Asia, Europe, and the Americas, while China emerges as the leading importer.

Keywords: biodiesel; glycerol; international trade; soybean productive chain.

PRE-PROOF

1. Introdução

A cadeia da soja e do biodiesel é a principal geradora de renda do agronegócio, representando 5,9% do PIB nacional em 2023 (Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada - CEPEA, 2024). Também possui grande importância no cenário global, sendo a soja uma das principais fontes de proteína e óleo vegetal, amplamente utilizada na alimentação humana e animal (Souza *et al*., 2010). A ampla utilização reflete a facilidade de transporte, durabilidade e grande variedade de produtos derivados (Souza *et al*., 2019).

Por se tratar da cadeia agropecuária de maior dimensão no Brasil, e que apresentou dinâmica de forte expansão nas últimas décadas, a literatura sobre essa cadeia é vasta no País. Todavia, nota-se que o enfoque é dado sobretudo ao grão, e também aos derivados farelo e óleo – denotados neste presente estudo como produtos consolidados do complexo soja, por serem amplamente estabelecidos. Esse estudo tem como objetivo abordar dois subprodutos que ainda são menos explorados na literatura, o biodiesel e o glicerol – doravante denotados como produtos emergentes do complexo soja, já que estão ganhando maior atenção em um período mais recente.

A soja em grão pode ser destinada ao consumo humano ou animal, ou ao esmagamento (Alves *et al.*, 2022). Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Óleos Vegetais - Abiove (2024), o esmagamento dos grãos gera cerca de 76,5% de farelo e 20% de óleo, considerando as perdas industriais. O farelo de soja tem entre seus principais destinos a utilização como insumo na elaboração da ração animal – vital no suprimento da cadeia produtiva de carnes brasileira e também uma fonte de demanda internacional pela soja e pelo próprio farelo (Alves *et al.*, 2022; Souza *et al.*, 2019). O óleo de soja pode ser classificado como: bruto ou cru, tal como extraído do grão; refinado, quando destinado ao consumo humano após realizado um processo de refinação; ou degomado, quando submetido a um processo de extração de fosfatídeos, proteínas e substâncias coloidais, de modo que pode ser comercializado sem processamentos adicionais e empregado pela indústria alimentícia para a produção de alimentos como a maionese ou a gordura vegetal, e pela indústria de biocombustíveis na produção do biodiesel (Conselho Administrativo de Defesa Econômica - CADE, 2020).

Nesse contexto, o biodiesel surge como um derivado relevante da cadeia da soja:

PRE-PROOF

atualmente, o óleo de soja representa cerca de 72% da matéria-prima usada na produção nacional de biodiesel, conforme dados da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2022). Por ser renovável, biodegradável e ambientalmente amigável, além da possibilidade de ser utilizado diretamente em motores movidos a diesel sem grandes mudanças, a indústria do biodiesel tem se tornado uma das mais ascendentes no mundo, com a produção global atingindo 48,2 bilhões de litros em 2023 e 68,1 bilhões de litros previstos no ano de 2028, segundo dados da *International Energy Agency* (2023).

Este combustível renovável é obrigatoriamente adicionado ao óleo diesel para a venda ao consumidor final no Brasil (Brasil, 2023). Após um período de retrocessos na evolução do percentual mínimo de biodiesel na composição da mistura do óleo diesel, a partir de março de 2023 o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) passou a tomar decisões em sentido a aumentar esse percentual: em março, estabeleceu o percentual em 12% a partir de 1º de abril de 2023 (frente aos 10% vigentes até março) e o cronograma para aumento anual progressivo; em 19 de dezembro de 2023, antecipou esse cronograma estipulando 14% para março de 2024 (Brasil, 2023). Espera-se que a demanda pelo biocombustível seja ainda estimulada diante da nova Lei do Combustível do Futuro (PL 528/202), sancionada pelo presidente Luiz Inácio Lula da Silva no dia 8 de outubro de 2024, e que contempla estímulos aos biocombustíveis. Ressalta-se que, embora o mercado de biodiesel ainda seja menos explorado na literatura frente aos produtos aqui denotados como consolidados, sua produção tem adquirido grande relevância. Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), em 2021, 40% do óleo de soja produzido foi destinado à produção de biodiesel, frente aos menos de 20% observados em 2009.

O óleo bruto também pode originar o glicerol bruto (também conhecido como glicerina), um composto orgânico encontrado na soja e que é subproduto no processo de elaboração do biodiesel, de forma a representar cerca de 10% do volume total de biodiesel produzido (Alves *et al.,* 2022; Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa, 2021). Apesar de inicialmente o glicerol ter sido visto como apenas um resíduo da produção de biodiesel, pode ser um coproduto valioso e versátil, com usos na indústria química, para a produção de cosméticos e farmacêuticos, e na indústria alimentícia, como um umectante em doces, carnes e queijos e um solvente, adoçante e preservador em bebidas e comidas (Monteiro *et al.,* 2018; Pagliaro *et al.,* 2010).

PRE-PROOF

Apesar de o mercado de glicerol ter acompanhado a ascensão do biodiesel e sua produção ser tecnologicamente simples, os processos necessários para sua purificação, e transição entre bruto e puro, têm custo elevado, limitando seu uso. De acordo com Quan *et al.* (2017), o glicerol pode representar um entrave à competitividade do biodiesel, uma vez que ele é gerado em quantidade significativa no processo de produção. Em contraponto, o aproveitamento do resíduo representa um benefício significativo no aumento da sustentabilidade ambiental e econômica da cadeia do biodiesel, visto que o subproduto poderia ser destinado à novos usos, por exemplo como substituto de químicos derivados do petróleo (ALMEIDA *et al.* 2012). Portanto, explorar novos usos ou formas de valorização do glicerol é essencial para o futuro da cadeia.

O presente trabalho se diferencia ao realizar uma análise exploratória da dinâmica recente e das perspectivas destes dois produtos emergentes, o biodiesel e o glicerol, explorando sobretudo o panorama mundial para esses produtos. Como um objetivo secundário, também é feita uma descrição sobre a estrutura da cadeia produtiva da soja e do biodiesel, com foco nas etapas industriais, de forma a embasar as discussões posteriores.

2. Metodologia

Foram coletados dados em diversas fontes, e as informações obtidas foram analisadas por meio de estatística descritiva. Especificamente para alcançar o objetivo secundário, de mapear a estrutura da cadeia produtiva, os resultados são baseados exclusivamente em consultas à literatura.

Nesta pesquisa foram utilizadas informações de comércio exterior do Comexstat do Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC), principal base de dados oficial acerca de comércio exterior no Brasil; informações sobre a cadeia produtiva da soja e do biodiesel da Abiove, fonte com grande robustez e acurácia em dados relevantes à soja; informações sobre o biodiesel da ANP, uma das principais fontes de dados relevantes à produção, distribuição e consumo no mercado de combustíveis brasileiro; e dados para o panorama mundial do *Observatory of Economic Complexity* (OEC), devido à alta granularidade de informações disponíveis quanto à dados de comércio internacional da soja e seus subprodutos - essa última base objetiva a disseminação de dados do comércio

PRE-PROOF

internacional e utiliza fontes oficiais acerca dos fluxos comerciais. Para os dados de comércio exterior, foram adotados os seguintes códigos: 382600 - "*Biodiesel and mixtures thereof*" para o biodiesel; e 152010 - "*Glycerol (glycerine), crude and glycerol waters & lye*" para o glicerol. A seleção dos períodos de análise, por sua vez, está diretamente relacionada à disponibilidade de dados, sendo os anos mais antigos aqueles em que as informações passam a estar disponíveis. Ressalta-se que, devido à divergência na disponibilidade de dados entre os dois produtos, as análises de comércio internacional iniciam-se em 2000 para o glicerol e em 2012 para o biodiesel. Para análise dos dados, foram usados instrumentos de estatística descritiva, como a coleta, apresentação, análise e interpretação de dados utilizando quadros, gráficos e indicadores numéricos e estatísticos (Guimarães, 2008; Reis, 2008).

3. Resultados e Discussões

3.1 Estrutura da cadeia produtiva da soja e do biodiesel no Brasil

Uma cadeia produtiva pode ser definida como o processo por meio do qual a matéria-prima agropecuária é produzida e transformada através da geração e agregação de valor por etapas consecutivas e interligadas (Cepea, 2017). Essas etapas envolvem desde a produção de insumos agropecuários, a produção da matéria-prima no campo, passando por processos industriais de transformação, até a comercialização do produto final ao consumidor (Cepea, 2017). Ademais, conforme Castro *et al.* (2002), o conceito de cadeia produtiva pode ser pensado como ferramenta para uma visão sistêmica, de modo que a produção de bens pode ser representada por uma estrutura onde diversos atores estão interconectados e objetivam suprir um mercado consumidor, assim possibilitando a percepção da mesma como objeto de estratégias e políticas de desenvolvimento de seus processos produtivos.

Após a produção da soja em grão, o processo de comercialização compreende a aquisição da soja *in natura* de inúmeros produtores, o cadastro de produtos e fornecedores com as especificações técnicas, a movimentação interna, a armazenagem e o transporte, para escoamento da produção (Hirakuri e Lazzarotto, 2014). Esse processo é feito por um

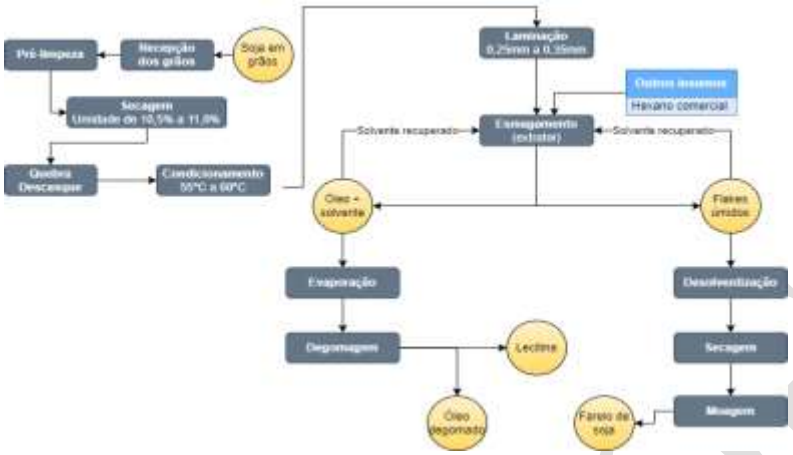
PRE-PROOF

conjunto de entidades que interagem com os produtores, como empresas de armazenamento e estocagem, cooperativas e *trading companies*. As *trading companies* atuam como intermediárias entre produtores e compradores finais, facilitando a negociação, o armazenamento temporário e o transporte; as cooperativas oferecem aos produtores uma variedade de serviços, incluindo assistência técnica, financiamento e, também, a logística para a comercialização; já os armazenadores são responsáveis por receber, armazenar e gerenciar o estoque de soja, até o momento da venda (Hirakuri e Lazzarotto, 2014). Realizada essa etapa do processo de comercialização, o grão pode ser destinado para a exportação, intermediada pelas *trading companies*, para o processamento doméstico, ou, ainda, para o consumidor final no mercado interno, sendo as duas primeiras destinações majoritárias.

No processamento, o esmagamento de soja é a etapa em que são obtidos os dois principais subprodutos em termos de volume: o farelo e o óleo de soja. A Figura 1 detalha a sequência da cadeia produtiva até essa primeira etapa do processamento. O esmagamento começa com a preparação dos grãos (limpeza e purificação), após a qual os grãos são esmagados para extrair o óleo, momento em que a soja é transformada em óleo e farelo. O farelo de soja resultante é desengordurado, utilizando-se de solventes ou prensagem mecânica, e passa por um processo de secagem para redução da umidade; então, é moído para a obtenção de um farelo uniforme e de fácil manuseio (Mandarino *et al.*, 2015). O óleo de soja bruto, obtido na etapa de esmagamento, pode passar por outros processos antes de chegar ao consumidor final. Como mostra a Figura 1, o óleo degomado é obtido por um processo de extração de fosfatídeos (por exemplo, lecitina), proteínas e substâncias coloidais. O óleo de soja degomado tem uma ampla gama de aplicações, como a produção e combustíveis (Zhou *et al*., 2024; CADE, 2020).

PRE-PROOF

Figura 1 - Processo de extração de farelo de soja, óleo de soja degomado e lecitina



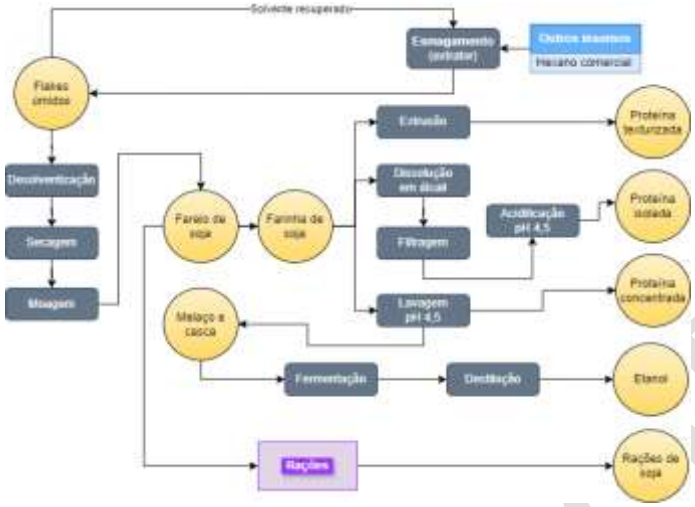
Fonte: elaborado pelos autores com base em Mandarino *et al.*, (2015) e MSJP e CADE (2020).

As Figuras 2 e 3 detalham os processos realizados a partir da obtenção de farelo e de óleo bruto, respectivamente. Antes, vale mencionar que outro produto resultante do esmagamento da soja é a lecitina ou goma de soja, que também pode ser derivada do processamento de sementes de outras oleaginosas. A lecitina possui propriedades emulsificantes e é utilizada em diversas indústrias: na alimentícia, na fabricação de maioneses, chocolates, achocolatados, sorvetes, biscoitos e gomas por desempenhar funções como controle de textura, estabilização de óleo, aeração e intensificação de frescor (Alhajj *et al.*, 2020); nas farmacêuticas, de cosméticos e química, é usada na produção de loções, sabões, sabonetes e tintas, destacando-se como um emulsionante e lubrificante (Alhajj *et al.*, 2020; Castejon, 2010). A literatura aponta que a quantidade de lecitina que pode ser extraída do óleo de soja varia entre 0,5% e 3% do volume de óleo processado. Mas, esse produto não é abordado neste presente estudo.

A Figura 2 ilustra as principais etapas envolvidas na produção dos principais derivados do farelo de soja. Primeiramente, tem-se que é amplamente reconhecido que o uso predominante do farelo de soja está na formulação de rações para a alimentação animal, dada sua alta concentração de proteínas e nutrientes (Mandarino *et al.*, 2015).

PRE-PROOF

Figura 2 - Processo de extração dos principais derivados do farelo de soja



Fonte: elaborado pelos autores com base em Machado (1999) e MSJP e CADE (2020).

Entre os demais derivados, há a proteína de soja, disponível em três formas: texturizada (com cerca de 50% de proteína), concentrada (com aproximadamente 70% de proteína) e isolada (com cerca de 90% de proteína). Ela oferece à indústria alimentícia uma série de benefícios econômicos e nutricionais, além de versatilidade, sendo utilizada em produtos alimentícios processados e bebidas nutricionais (Machado, 1999; Romão, 2011). A possibilidade de substituição de componentes como gordura ou carne por proteínas de soja permite à indústria certa flexibilidade para lidar com mudanças nos custos desses ingredientes. Além disso, as proteínas de soja melhoram a textura, a fatiabilidade e as propriedades emulsificantes dos alimentos (Machado, 1999; Romão, 2011).

A proteína de soja também não será enfatizada neste estudo. Mas, vale mencionar que a sua produção gera diversos subprodutos de relevância industrial. O processo inclui a obtenção de proteínas texturizadas, concentradas e isoladas, com técnicas que utilizam extrusão, lavagem em pH ácido ou dissolução em pH básico. A extração com etanol resulta em concentrados proteicos e no melaço de soja, um xarope marrom e agridoce, rico em nutrientes, com aplicações como adoçante, espessante, substrato para fermentação e ingrediente em cosméticos e produtos farmacêuticos. Durante o processo, as fibras e proteínas insolúveis são removidas, enquanto os açúcares permanecem na fração líquida, concentrada após a recuperação do etanol. O etanol recuperado também é um subproduto,

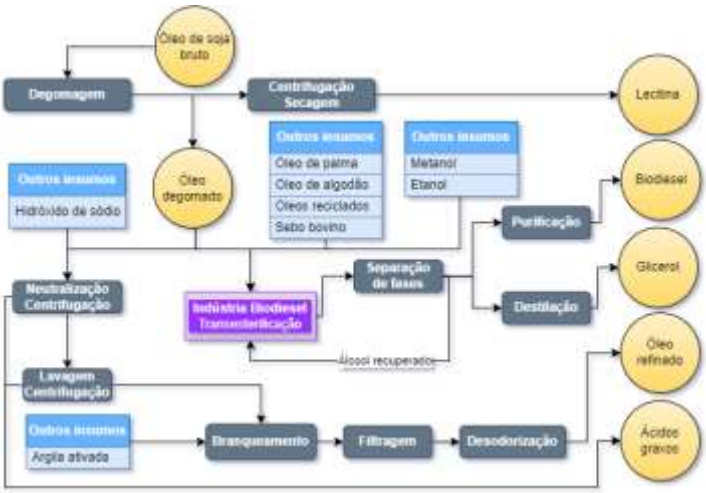
PRE-PROOF

com origem vegetal variada, como soja, milho e celulose, além da predominância da cana-de-açúcar (Gondin, 2019; Romão, 2011; Siqueira *et al.*, 2008; Machado, 1999).

As etapas de processamento do óleo de soja também geram subprodutos distintos, conforme Figura 3. Parte do óleo degomado segue para o refino. A etapa de refino visa melhorar a aparência, o odor e o sabor do óleo, tornando-o comestível (óleo de soja refinado). O óleo é neutralizado para, então, passar por um processo de branqueamento; em seguida, é filtrado para remover partículas sólidas ou impurezas, e desodorizado para remover odores e sabores indesejados (Mandarino *et al.*, 2015). Durante o processo de refino, os ácidos graxos são removidos para evitar a rancidez. Durante a neutralização do óleo bruto, a borra resultante contém uma quantidade significativa desses ácidos e pode ser utilizada na produção de sabões ou acidulada para obtenção do óleo ácido de soja, empregado como suplemento em rações ou no tratamento de minérios. Os ácidos graxos destilados possuem uma série de aplicações em indústrias alimentícias, de tintas e de cosméticos, devido às suas propriedades biodegradáveis, renováveis e vegetais (Fré, 2009). Outra parte do óleo degomado é destinada para a produção de combustíveis, como o biodiesel. O biodiesel é um combustível renovável produzido a partir de gorduras animais e óleos vegetais, destinado principalmente para uso em motores de ignição por compressão (Suhara *et al*, 2024). No Brasil, o biodiesel puro (B100) é adicionado obrigatoriamente ao óleo diesel derivado do petróleo para venda ao consumidor final (Brasil, 2023).

PRE-PROOF

Figura 3 – Processo de refino do óleo de soja, extração dos ácidos graxos, produção do biodiesel e glicerol



Fonte: elaborado pelos autores com base em Fré (2009), Parente (2003) e MSJP e CADE (2020).

A produção de biodiesel a partir de óleos vegetais é predominantemente realizada através da transesterificação. Os triglicerídeos presentes no óleo são separados do glicerol, que é um subproduto. A transesterificação ocorre através da reação dos triglicerídeos com um álcool, geralmente o metanol, na presença de um catalisador, geralmente um ácido ou uma base forte, produzindo uma mistura de ésteres de ácidos graxos (biodiesel) e glicerol (Delatorre *et al.*, 2011; Costa *et al.*, 2013). Portanto, o glicerol é obtido quando os ésteres de ácidos graxos presentes nos óleos vegetais ou gorduras animais reagem com o álcool na presença de um catalisador – durante essa reação, os ésteres de ácidos graxos presentes nos óleos ou gorduras são quebrados em biodiesel e glicerol. O biodiesel é então separado do glicerol, geralmente por decantação ou centrifugação. Após a separação, o glicerol bruto pode passar por um processo de purificação e o glicerol purificado pode ser utilizado em uma variedade de aplicações industriais, como na fabricação de produtos farmacêuticos, cosméticos, alimentos e até mesmo na produção de polímeros e biocombustíveis. A produção de glicerol está relacionado aos princípios da economia circular, pois transforma um subproduto indesejado em uma matéria-prima útil (Delatorre *et al.*, 2011; Costa *et al.*, 2013; Toldrá-Reig, Mora, & Toldrá, 2020; Suhara *et al*, 2024; Geris *et al.*, 2007).

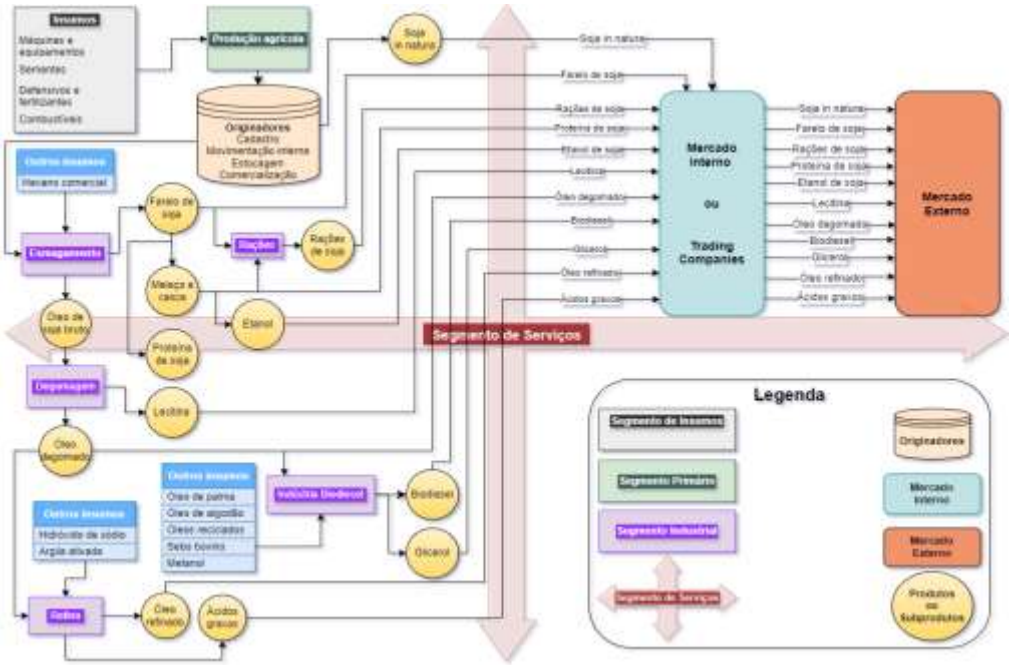
PRE-PROOF

Logo, além do biodiesel, o processo de transesterificação também gera o glicerol, correspondendo a aproximadamente 10% do volume total produzido. Devido à sua quantidade significativa, é essencial buscar alternativas para o seu aproveitamento, visando evitar possíveis problemas de acumulação de resíduos, além de aumentar a competitividade da indústria de biodiesel. A glicerina bruta resultante possui valor comercial, entretanto, sua purificação pode elevar consideravelmente seu valor de mercado. Além disso, a conversão biotecnológica de glicerol em produtos de valor agregado, como biomassa e biomoléculas, representa uma perspectiva promissora para sua utilização futura (Yang, Hanna & Sun, 2012; Rodrigues, Bordado & Galhano dos Santos, 2017; Moklis, Cheng & Cross, 2023). Vale ressaltar que a purificação do glicerol envolve diversas etapas e procedimentos geralmente dispendiosos, o que muitas vezes o torna inviável para pequenos e médios produtores de biodiesel (Embrapa, 2021).

Por fim, a Figura 4 representa esquematicamente a cadeia produtiva da soja e do biodiesel como um todo. Com base em Cepea e Abiove (2022), Hirakuri e Lazzarotto (2014), Santos, Myszczuk e Glitz (2010) e Lazzarini e Nunes (2000), é possível identificar características específicas da cadeia produtiva da soja, que envolve uma ampla gama de agentes e organizações. De um lado, estão os formadores da cadeia, que incluem a indústria de insumos, produtores rurais e organizadores, como armazenadores, corretores, cooperativas agropecuárias e agroindustriais, além de empresas de *trading*. No elo industrial, destacam-se empresas esmagadoras e refinadoras, indústrias de rações, fabricantes de derivados do óleo de soja, e outros setores, como usinas de biodiesel, indústrias alimentícias, farmacêuticas e químicas. Por outro lado, os compradores podem ser tanto do mercado interno quanto do mercado externo.

PRE-PROOF

Figura 4 - Cadeia produtiva da soja e do biodiesel



Fonte: elaborado pelos autores com base em Fré (2009), Parente (2003), Machado (1999), Mandarino *et al.* (2015) e MSJP e CADE (2020)

3.2 Breve caracterização do mercado brasileiro na cadeia produtiva

Na safra 2022/2023, o Brasil foi o maior produtor mundial de soja, com uma produção quantificada em 154,60 milhões de toneladas (Conab, 2022), o equivalente a 41,89% dos 369,03 milhões de toneladas produzidos em todo o mundo na mesma safra (USDA, 2023; Embrapa, 2024). Para alcançar essa posição global, a área plantada com o grão em 2022 foi de 41 milhões de hectares, expressivos 48% da área cultivada de lavouras temporárias no país (PAM-IBGE, 2023; Conab, 2024). Em linha com a expansão de área, dados da Abiove (2023) e da Conab (2024) apontam que a produção de soja no Brasil teve crescimento médio de 6% ao ano de 2010/2011 a 2022/2023, atingindo recorde em 2023, um aumento de mais de 100% frente a 2011.

No que concerne às exportações da cadeia produtiva da soja e do biodiesel – observando nesse momento o grão, farelo, óleo, proteína de soja, glicerol e biodiesel –, os dados sobre a evolução dos valores em dólares exportados constam na Figura 5. No período, houve redução de valores exportados apenas em 2015 e 2016, e em 2019, resultados pontuais de quedas de preços internacionais ou quebras de safra (Cepea, 2019; Brasil, 2016). Observa-

PRE-PRO

se que o maior valor das exportações brasileiras na cadeia concentra-se no grão *in natura*, que segue para processos de industrialização nos países importadores. Em 2023, 66% da produção de soja em grão foi destinada ao mercado externo (Abiove, 2023).

Figura 5 – Exportações da cadeia produtiva da soja entre 2010 e 2022 (USD Milhões)

Fonte: Elaborado pelos autores com base nos dados de (MDIC, 2022).

A Figura também permite notar que, após o grão, o farelo aparece como o segundo produto em valor de exportação. Com valores que oscilam anualmente, sem uma tendência definida, o óleo também se destaca em alguns anos pontualmente. Ao mesmo tempo, fica evidente que os produtos analisados nesse estudo, o biodiesel e o glicerol, não detém dimensão suficiente para aparecerem na Figura – algo esperado, ao contrastar tais produtos com o grão, amplamente exportado e que envolve grandes volumes, e com o farelo e o óleo, que são derivados já consolidados desse complexo. A subseção seguinte explora especificamente a dinâmica do biodiesel e do glicerol na perspectiva do Brasil.

3.2.1 Caracterização dos mercados de biodiesel e glicerol brasileiro

Em dezembro de 2004, foi instituído o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB), resultado de uma colaboração entre um grupo de trabalho interministerial e duas associações empresariais: a Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (Anfavea) e a Abiove. Esse programa faz parte da política governamental brasileira voltada a fomentar a produção de combustíveis alternativos

derivados de óleos vegetais (Embrapa, 2021). Inicialmente, a legislação federal não estabeleceu a obrigatoriedade da adição de biodiesel ao óleo diesel, apenas autorizou as distribuidoras de combustíveis a incluírem 2% do biocombustível em cada litro de diesel comum vendido internamente. Posteriormente, a Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005 estabeleceu a obrigatoriedade da adição, iniciando com um percentual de 2% (B2) a partir de 2008 (Embrapa, 2021). Segundo a EPE (2022), deste momento em diante, houve rápida evolução nos percentuais, inclusive, com antecipação dos cronogramas: o percentual de 5% foi alcançado já em 2010, sendo que a previsão indicava 2013. Nesse contexto, a Resolução CNPE n° 16/2018 propôs um cronograma para o aumento dos percentuais, que seria de 1% ao ano. Esse cronograma de aumento progressivo foi interrompido pela Resolução CNPE 16/2021, que reduziu dos 13% vigentes para 10%, com o intuito de conter a inflação, frente à elevação do preço do óleo de soja no período (Aguiar *et al*., 2023).

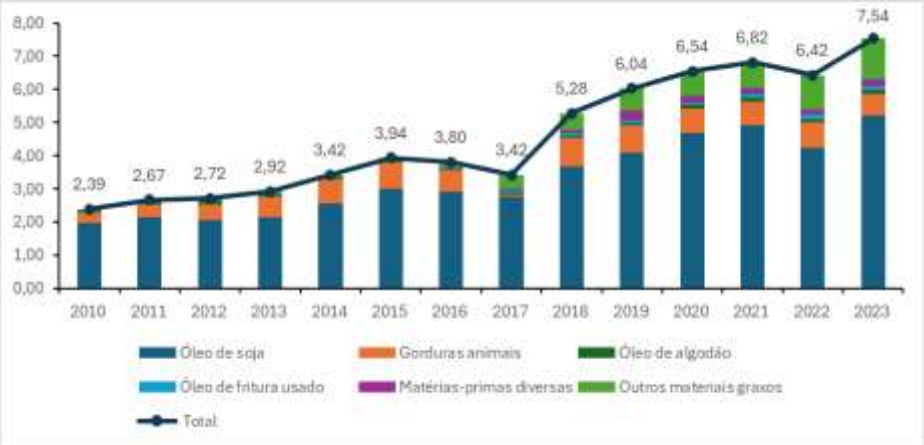
Em março de 2023, o CNPE aumentou a proporção de adição de biodiesel na composição do diesel, de 10% (B10) para 12% (B12), com vigência a partir de abril de 2023, e também estabeleceu um cronograma para aumento anual progressivo. Em 19 de dezembro de 2023, o CNPE antecipou esse cronograma, estipulando o B14 já para março de 2024 (Brasil, 2023). Em termos perspectivos, espera-se que a demanda pelo biocombustível seja ainda estimulada diante da nova Lei do Combustível do Futuro (PL 528/202), sancionada pelo presidente Luiz Inácio Lula da Silva no dia 8 de outubro de 2024, e que contempla diversos estímulos aos biocombustíveis. Esses aumentos refletem o compromisso do país com a expansão do uso de biocombustíveis e a redução da dependência de combustíveis fósseis, assim como de fortalecer a indústria nacional de biocombustíveis. Destarte, essas medidas visam tanto a diversificação da matriz energética quanto o cumprimento de compromissos internacionais relacionados à redução das emissões de gases de efeito estufa (MAPA, 2023).

Diante disso, em 2023 foram produzidos 7,54 milhões de m³ de biodiesel no Brasil, um recorde de produção (ANP, 2024). O óleo de soja foi a principal matéria prima, com participação de 69% (ANP, 2024; Abiove, 2024). A Figura 6 mostra a evolução da produção de biodiesel por matéria-prima no Brasil. As principais matérias-primas utilizadas incluem soja, milho, girassol, amendoim, algodão, canola, mamona, babaçu, palma (dendê) e macaúba. Além disso, o combustível pode também ser produzido a partir

PRE-PROOF

de óleos residuais e gorduras animais (Embrapa, 2021).

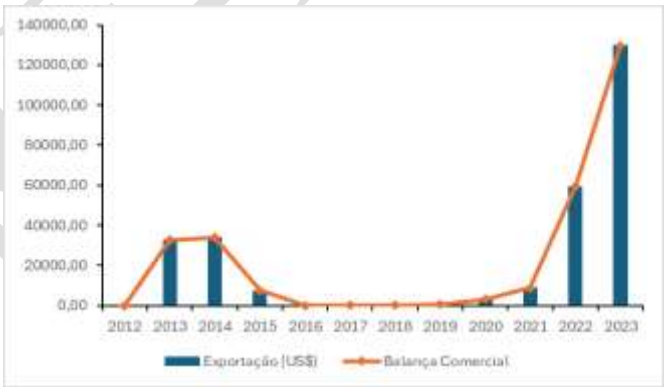
Figura 6 – Produção de biodiesel por matéria-prima (%) – mil



Fonte: Abiove e ANP (2024)

Ressalta-se, ainda, que em 2023 as exportações de biodiesel apresentaram um notável crescimento: foram exportadas 97 mil toneladas, aumento de 157% em relação a 2022 (Figura 7).

Figura 7 – Exportações e balança comercial de Biodiesel de 2012 a 2023 (US$ Mil)



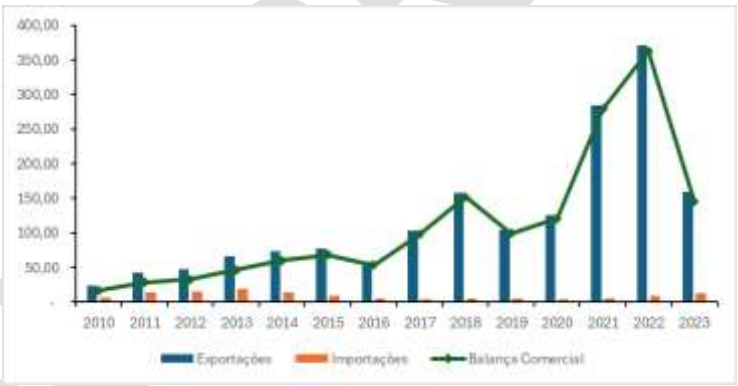
Fonte: Elaborado pelos autores com base nos dados de (MDIC, 2022).

O aumento das exportações de biodiesel é impulsionado por regulamentações nos Estados Unidos e na União Europeia (UE) que exigem a incorporação de biocombustíveis em misturas de combustíveis, visando reduzir as emissões de GEE e promover práticas mais sustentáveis. Além disso, as novas exigências da UE sobre a origem dos produtos

agrícolas utilizados na produção de biocombustíveis, visando evitar desmatamento e degradação florestal, restringem outros produtos da cadeia produtiva. O biodiesel, por sua conformidade com padrões ambientais, se destaca como uma opção viável, criando oportunidades para países produtores que adotam práticas sustentáveis (Environmental Protection Agency - EPA, 2023; European Commission, 2023).

O mercado de glicerol está diretamente ligado à crescente produção de biodiesel, já que ambos são interdependentes em seus processos produtivos. O glicerol tem apresentado melhores preços no mercado internacional e, devido a isso, o número de usinas que estão instalando equipamentos para purificação do glicerol, visando obter melhores receitas, tem aumentado (EPE, 2022). A Figura 8 mostra a exportação, importação e balança comercial de glicerol para o Brasil. A tendência geral foi de crescimento nas exportações desde 2013, apesar da queda pronunciada pontual em 2023.

Figura 8 – Exportações, importações e balança comercial de Glicerol de 2012 a 2023 (US$ Milhões)



Fonte: Elaborado pelos autores com base nos dados de (MDIC, 2022).

3.3 O panorama mundial do biodiesel e do glicerol

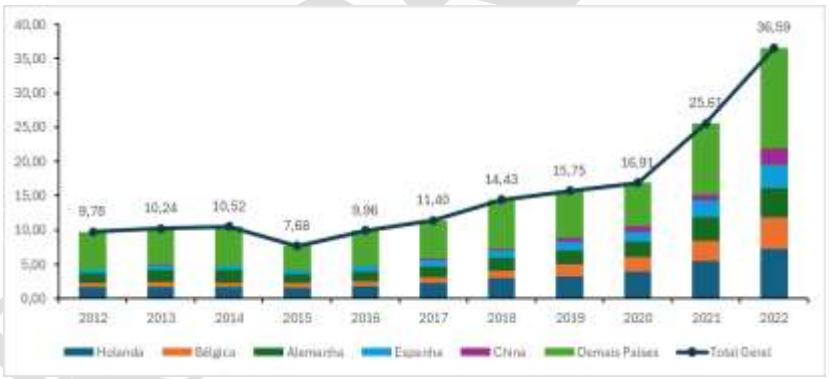
Segundo Quispe *et al.* (2013), a demanda por petróleo teve sua ascensão relacionada à crescente industrialização e modernização, de modo que o combustível passou a ser utilizado em grande escala em meados do século XIX. Porém, segundo os autores, as reservas limitadas e preços voláteis dos combustíveis fósseis, como corroborado pelos choques do petróleo, incitaram a procura por meios alternativos de combustível.

PROOF

Conforme Novi *et al.* (2018), a crescente preocupação com a emissão de GEE e de poluentes criou um cenário propício e condutivo para o investimento no desenvolvimento de biocombustíveis, com subsídios, reduções de impostos e mandatos que visavam a imposição do uso de combustíveis renováveis adotadas por governos mundialmente.

O biodiesel possui características não tóxicas e biodegradáveis, constituindo uma alternativa de queima limpa em comparação ao diesel de petróleo. Posto isso, a indústria global de biodiesel tem apresentado tendência de crescimento ao longo da última década, com instalações de produção espalhadas por economias avançadas em todo o mundo. Em 2009, a produção ultrapassou pela primeira vez os 15 bilhões de litros (Liu *et al*., 2022). A Figura 9 apresenta o valor de comercialização mundial de biodiesel entre 2012 e 2022. Em 2012, o valor foi de US$ 9,78 bilhões e em 2022, de US$ 36,59 bilhões, um aumento de 374% (*The Observatory of Economic Complexity* - OEC, 2024).

Figura 9 – Comercialização mundial de Biodiesel e principais países produtores (2012-2022) – bilhões de US$



Fonte: OEC (2024).

É possível observar que durante toda a série histórica o valor exportado aumentou, com exceção do ano de 2015. Um dos principais motivos para essa redução pontual foi a queda nos preços do petróleo bruto, que afetou negativamente a competitividade do biodiesel em relação aos combustíveis fósseis. Além disso, houve incertezas econômicas e políticas em algumas regiões importantes de produção e consumo de biodiesel, o que pode ter impactado as transações comerciais. Mudanças nas políticas governamentais, como subsídios e tarifas, também podem ter influenciado a demanda e os preços do biodiesel. Por fim, fatores climáticos, como secas ou inundações, que ocorreram em alguns países

produtores como o Brasil, podem ter afetado a produção de matérias-primas para biodiesel (*Food and Agriculture Organization* - FAO, 2016). Em 2022, o biodiesel e suas misturas mantiveram-se como produtos amplamente comercializados internacionalmente, ocupando a 87ª posição entre mais de 5.000 produtos negociados globalmente.

Embora os dados de 2023 ainda não tenham sido contemplados nesse estudo, esse período mais recente foi marcado por eventos importantes para o setor de biodiesel. No Brasil, como já discutido na introdução deste trabalho, desde março de 2023 medidas favoráveis ao biodiesel têm sido implementadas (Brasil, 2023). Nos Estados Unidos, a EPA introduziu novas regulamentações em 21 de junho de 2023, exigindo que os refinadores aumentem a incorporação de biocombustíveis nas misturas de combustíveis nos próximos três anos, incentivando as exportações de biodiesel para o país e investimentos em infraestrutura de biocombustíveis (EPA, 2022; EPA, 2023). Em 22 de março de 2023, o Ministério do Comércio e Indústria da Índia alterou uma política de 2018, permitindo a exportação de biocombustíveis a partir de zonas econômicas especiais/unidades orientadas para exportação, produzidos exclusivamente com matéria-prima importada (*Agricultural Market Information System* - AMIS, 2023). Em 29 de dezembro de 2022, o Ministério da Energia da Indonésia anunciou a elevação da taxa de mistura obrigatória do óleo de palma no diesel, passando de 30% para 35%, a partir de 1º de fevereiro de 2023. A medida, denominada biodiesel B35, busca aumentar o uso de óleo de palma como fonte de combustível. Simultaneamente, o governo indonésio continua testando a viabilidade do diesel renovável (HDRD) e do combustível de aviação sustentável (SAF) (USDA, 2023).

Acredita-se que as tendências apontam para uma expansão significativa do biodiesel como componente essencial na matriz energética mundial, impulsionada por políticas governamentais, avanços tecnológicos e uma crescente conscientização sobre a importância da sustentabilidade ambiental - conforme Kohlhepp (2010), os países industrializados não somente objetivam e devem diminuir a dependência de petróleo, mas especialmente países emergentes e em desenvolvimento podem aproveitar oportunidades na produção própria de energias renováveis à base de matérias-primas vegetais. Essa informação é corroborada por relatório da Agência Internacional de Energia Renovável - IRENA (2023), que aponta que a demanda global por biocombustíveis, incluindo biodiesel, deverá continuar crescendo, impulsionada principalmente pelas políticas de

PRE-PROOF

descarbonização e metas de redução de emissões.

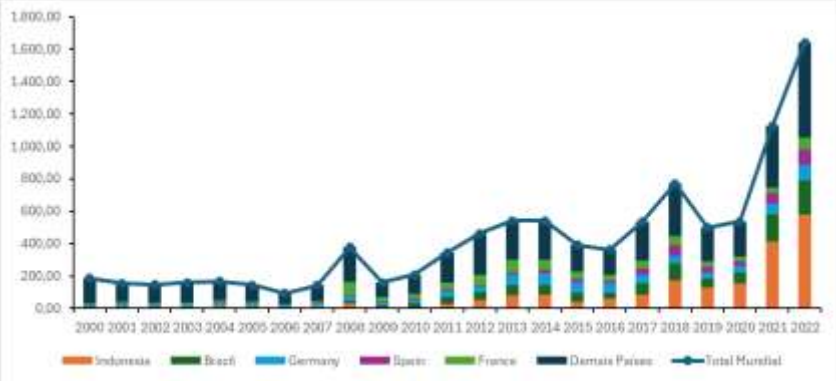
Diante disso, e conforme observado anteriormente no presente trabalho, deverá haver produção crescente de glicerol. Segundo a Revista Pesquisa Fapesp (2012), a partir de meados dos anos 2000, quando o biodiesel começou a ser produzido em grande escala por diversos países, houve uma explosão na produção do glicerol. Portanto, a exploração do potencial do glicerol como substituto de químicos derivados do petróleo revela-se uma oportunidade econômica e ambientalmente benéfica, assim como observado por Almeida *et al.* (2012), que destacam o aproveitamento de glicerol como meio de adicionar valor à cadeia em expansão de biodiesel, assim como fomentar a expansão de biorrefinarias e, consequentemente, tornar o biocombustível ainda mais competitivo.

A utilização de resíduos renováveis como matérias-primas não só cria produtos de maior valor agregado, mas também reduz os custos de tratamento de resíduos e resulta em menor impacto ambiental pelo biodiesel produzido, consequentemente reduzindo emissões de poluentes, promovendo um processo sem resíduos e fomentando a economia circular (ELSAYED *et al.*, 2023). O glicerol, por sua acessibilidade e versatilidade, emerge como uma alternativa atrativa para a produção de precursores industriais (Beatriz, Araújo e Lima, 2011).

Conforme Quispe *et al.* (2013), o mercado mundial de glicerol é conhecido por sua natureza imprevisível e complexa, por conta de ser um subproduto e, consequentemente, sua produção ser diretamente afetada pela demanda global de biodiesel e de seus diversos usos finais. A Figura 10 apresenta a evolução do valor de glicerol comercializado mundialmente, entre os anos de 2000 e 2022.

PRE-PROOF

Figura 10 – Comercialização mundial de glicerol e principais países produtores (2012-2022) – milhões de US$



Fonte: OEC, 2022. Nota: 152010 (Sistema Harmonizado de 1992 para 6 dígitos).

Em 2022, o glicerol ocupou a posição de 1681º produto mais comercializado globalmente, em um universo de 4.648 produtos. Inicialmente, entre os anos de 2000 e 2007, a exportação de glicerol era pouco significativa, por ser um período com pouco desenvolvimento no âmbito das fontes renováveis de energia (Machado *et al.* 2012). Desde então, a tendência foi de crescimento da comercialização mundial, mas com oscilações importantes de crescimento e decréscimo. Alguns fatos relevantes são elencados abaixo.

O aumento significativo do valor comercializado em 2008 deve ter refletido o pico de preços do petróleo naquele ano, que implica incremento na comercialização de biodiesel (Cheilari *et al.*, 2013). Após recuo em 2009, 2010 representou um grande salto na comercialização de glicerol. Conforme Beatriz, Araújo e Lima (2011), tal acréscimo está relacionado ao programa estabelecido pela UE que indicava que até o final de 2010 os combustíveis da frota de veículos deveriam conter, no mínimo, 5,75% de biocomponentes de fontes renováveis. Em paralelo, os Estados Unidos também passaram a investir em incentivos para a produção de biocombustíveis no mesmo período. Os anos entre 2011 e 2014 deram continuidade ao aumento da comercialização de glicerol, em linha com as diversas medidas governamentais supracitadas visando o aumento da produção de biodiesel. A queda nos valores em 2015 e 2016, da mesma forma, é justificada pela redução da comercialização de biodiesel. Segundo a FAO (2016), a redução foi ocasionada primordialmente pela queda nos preços do petróleo e consequente redução de

PRE-PROOF

competitividade do biocombustível, incertezas econômicas e políticas em regiões importantes de produção e consumo e, por fim, fatores climáticos como secas e inundações. Já os decréscimos na comercialização em 2019 e 2020 devem ser explicados pelo advento da pandemia do Covid-19 e consequente retração dos fluxos comerciais globais.

Por fim, os anos de 2021 e 2022 marcaram períodos significativos para o coproduto: o ano de 2021 foi o primeiro período em que o valor comercializado de glicerol atingiu mais de 1 bilhão de dólares, um aumento de mais de 110% em relação ao ano anterior. Em seguida, o ano de 2022 registrou 1,64 bilhões de dólares comercializados mundialmente. Entre os fatores que corroboram o cenário positivo, pode-se destacar a recuperação econômica mundial e consequente incrementos de demandas internas e externas nos países significativos ao mercado do coproduto, além das retomadas das políticas voltadas ao crescimento sustentável das nações.

Nota-se que as flutuações do valor de glicerol comercializado mundialmente têm, em grande medida, acompanhado as oscilações dos valores comercializados de biodiesel, como esperado. Porém, pode-se perceber que a trajetória do valor de glicerol comercializado exibiu oscilações mais bruscas, o que pode representar a excessividade da produção. Segundo Quispe *et al.* (2013), esse mercado e os preços do glicerol foram dramaticamente alterados pelo aumento da produção de biodiesel. Paralelo a isso, há evidências de relutância no mercado mundial em investir na agregação de valor ao glicerol, ocasionada, como já mencionado, pelo alto custo nos processos de purificação.

Em relação a perspectivas futuras para o coproduto, Attarbachi *et al.* (2023) indicam que o mercado de glicerol deverá enfrentar mudanças significativas devido a fatores emergentes. Primeiramente, a crescente adoção de veículos elétricos nas regiões da Europa, Estados Unidos e China está reduzindo a demanda por combustíveis tradicionais, impactando a produção de biodiesel e, consequentemente, a oferta de glicerol. Além disso, há competição intensificada por tecnologias alternativas, como o diesel renovável, que não gera glicerol. Embora haja uma tendência global de substituir os combustíveis fósseis por biocombustíveis, a ascensão do diesel renovável pode retardar esse processo, segundo os autores. Mas, essas mudanças estão impulsionando uma transição para a produção de biodiesel a partir de resíduos, especialmente em países desenvolvidos, aumentando a demanda por glicerol bruto vegetal. Em suma, uma combinação de fatores, desde a

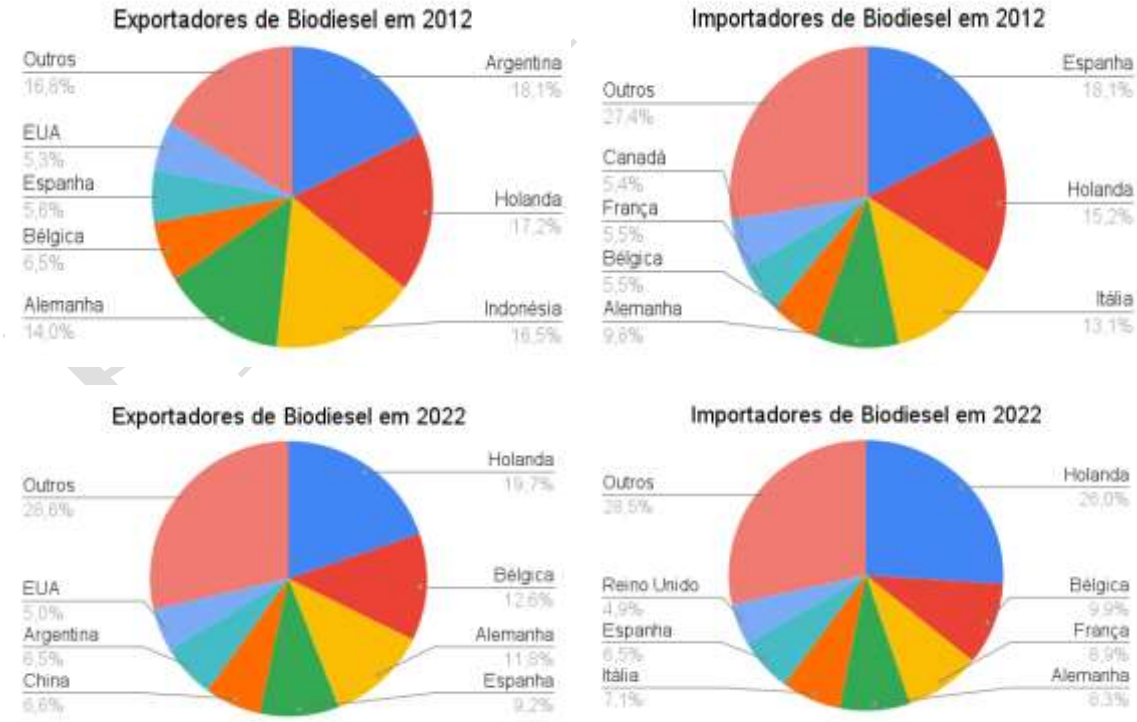
PRE-PROOF

evolução das tecnologias de transporte até as pressões ambientais e a concorrência entre fontes de energia renovável, está moldando um novo cenário para o mercado de glicerol.

3.5 Análise dos principais países no mercado do biodiesel e glicerol

Essa última subseção dedica-se a investigar quem são os principais *players* dos mercados globais de biodiesel e glicerol. A Figura 11 mostra a participação percentual dos países nas exportações e importações de biodiesel em 2012 e 2022. Em 2012, a Argentina foi o principal exportador, seguida de Holanda (atrelada aos demais países da UE), Indonésia e Alemanha. Conforme destacado em Campos e de Sá (2024), parte importante dos valores de exportação e importação da Holanda devem-se ao fato de que o país é um grande corredor e entreposto para produtos que chegam e saem da Europa, devido à presença de Roterdã. Posto isso, entende-se que os fluxos comerciais que passam pelo país não dizem respeito apenas à Holanda, mas à UE de forma geral.

Figura 11 - *Share* de participação percentual entre países nas Exportações e Importações de Biodiesel em 2012 e 2022

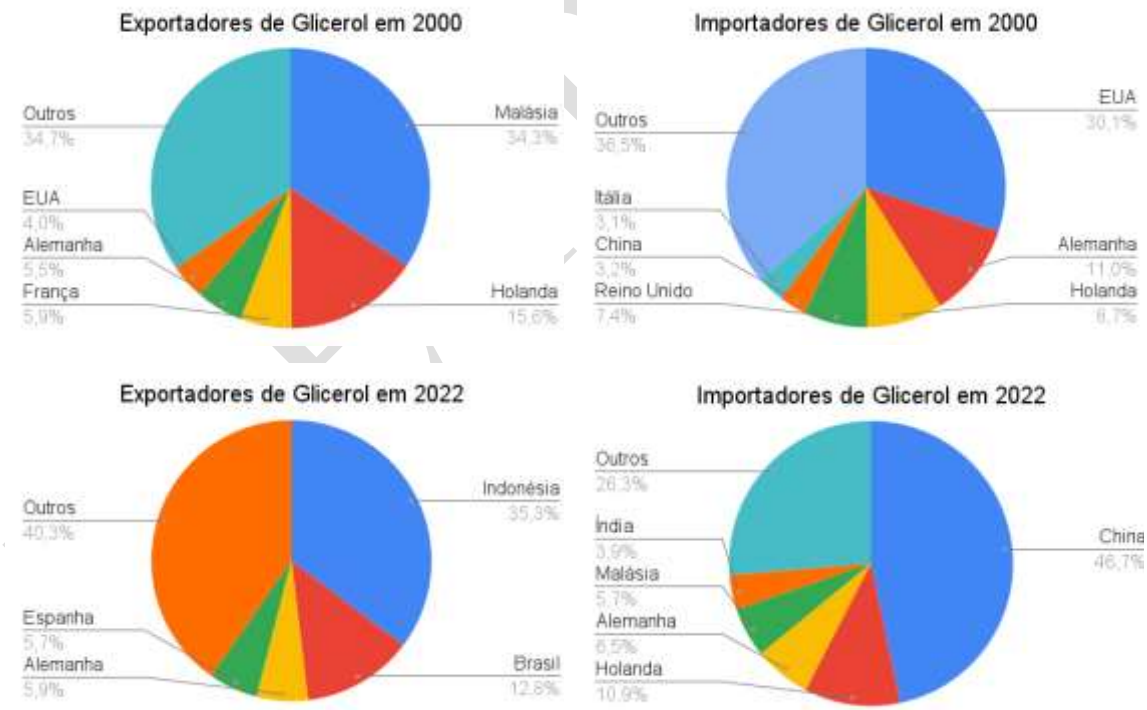


Fonte: OEC, 2024.

Em relação aos fluxos de importação, grande destaque era dado aos países europeus. Ao analisar as configurações de participação dos países no mercado internacional de biodiesel nos anos de 2012 e 2012, nota-se manutenção do protagonismo dos países europeus, com destaque à perda de participação da Argentina e da Indonésia.

A Figura 12 ilustra a evolução da participação percentual dos países nas exportações e importações de glicerol em 2000 e 2022. Em 2000, a Malásia e a Holanda dominavam as exportações, enquanto os principais importadores eram Estados Unidos, Alemanha, Holanda e Reino Unido. Em 2022, houve um crescimento expressivo da participação da Indonésia e do Brasil como exportadores de glicerol, e a China se consolidou como principal importadora global, adquirindo cerca 46,7% do total comercializado globalmente.

Figura 12 - *Share* de participação percentual entre países nas Exportações e Importações de Glicerol em 2000 e 2022.



Fonte: OEC, 2024. Nota: 152010 (Sistema Harmonizado de 1992 para 6 dígitos).

A análise dos mercados globais de biodiesel e glicerol revela mudanças significativas, com fortalecimento do protagonismo europeu no comércio internacional de biodiesel, com o surgimento do Brasil e da Indonésia como exportadores de glicerol e com

a consolidação da China como principal compradora global desse último produto.

4. Considerações Finais

A partir das análises realizadas no presente estudo, três achados principais foram destacados.

Primeiramente, foi possível observar que o mercado de biodiesel brasileiro tem sido significativamente impulsionado por novas diretrizes estabelecidas pelo CNPE. A consolidação do biodiesel como um dos principais destinos do óleo de soja, associada à dinâmica de rápida aceleração da produção do combustível, evidencia uma reconfiguração na lógica da cadeia produtiva, com efeitos a montante, impactando também a demanda por esmagamento da soja. Ainda sobre o biodiesel, ressalta-se também que o crescimento expressivo das exportações brasileiras a partir de 2022, embora potencialmente pontual inicialmente, indica um potencial de demanda externa, que deve ser considerado pela indústria.

Em segundo lugar, verificou-se que o aumento na produção de biodiesel no Brasil tem levado, consequentemente, a um incremento na produção de glicerol, que é um subproduto direto do processo de transesterificação. Esse cenário abriu espaço para debates sobre os possíveis usos e destinos do glicerol. Embora sua produção não exija tecnologias complexas, o alto custo de purificação representa um obstáculo à exploração de seus diversos potenciais. No entanto, como o aproveitamento do glicerol pode melhorar a rentabilidade e a viabilidade econômica das usinas de biodiesel, muitas têm investido na purificação. Portanto, observou-se um processo em que o glicerol tem passado de resíduo industrial a insumo com potencial econômico - processo, este, estimulado pela crescente atenção à sustentabilidade e à bioeconomia. Em uma análise preliminar, os fluxos crescentes das exportações brasileiras e mundiais de glicerol indicam valorização do produto no mercado internacional.

Por fim, o estudo do cenário internacional indicou que os mercados internacionais de biodiesel e glicerol devem passar por importantes transformações, devido a vários fatores emergentes, como a crescente preocupação com a sustentabilidade ambiental. A adoção acelerada de veículos elétricos em regiões como Europa, Estados Unidos e China

PRE-PROOF

impactará diretamente a demanda por biocombustíveis tradicionais. Além disso, a ascensão do diesel renovável, que não gera glicerol como subproduto, poderá modificar a dinâmica desse mercado. No entanto, essas mudanças também estão impulsionando a transição, especialmente em países desenvolvidos, para a produção de biodiesel a partir de resíduos, o que pode aumentar a demanda por glicerol vegetal bruto. Em suma, as evoluções tecnológicas, pressões ambientais e a concorrência entre diferentes fontes energéticas tornam o cenário futuro desses mercados incerto, mas ainda com grande potencial econômico e ambiental. A compreensão das tendências e o desenvolvimento de novos usos para esses produtos serão essenciais para assegurar sua relevância no cenário global.

REFERÊNCIAS

ABIOVE - Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais. Estatísticas 2023. Disponível em: https://biodiesel.abiove.org.br/estatisticas-2023/ . Acesso em 05 de abr. de 2024.

ABIOVE - Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais. Estatísticas 2024. Disponível em: https://biodiesel.abiove.org.br/estatisticas-2024/ . Acesso em 06 de abr. de 2024.

ABIOVE - Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais. Estatísticas 2024. Estatísticas. Disponível em https://abiove.org.br/estatisticas/ Acessado em 07 de mar. de 2024.

AGUIAR, Ana Beatriz; BAPTISTA, Izabela; GUITARRARI, Luiza; CARDOSO, João Victor Marques. Biocombustíveis e Descarbonização: Oportunidades Político-Regulatórias para a Transição Energética Brasileira. Rio de Janeiro: FGV Energia, 2023. Disponível em: https://repositorio.fgv.br. Acesso em: 13 dez. 2024.

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Painel Dinâmico Produtores do Biodiesel, 2024. Disponível em: https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiOTlkODYyODctMGJjNS00MGIyLWJmMWItNGJlNDg0ZTg5NjBlIiwidCI6IjQ0OTlmNGZmLTI0YTYtNGI0Mi1iN2VmLTEyNGFmY2FkYzkxMyJ9&pageName=ReportSection8aa0cee5b2b8a941e5e0%22 acessado em 05 de abr. de 2024.

ALHAJJ, M. J. et al. Lecithins from vegetable, land, and marine animal sources and their potential applications for cosmetic, food, and pharmaceutical sectors. *Cosmetics*, v. 7, n. 4, p. 87, 2020.

ALMEIDA, João R. M.; FÁVARO, Léia C. L.; QUIRINO, Betania F. Biodiesel biorefinery: opportunities and challenges for microbial production of fuels and chemicals

PRE-PROOF

from glycerol waste. Biotechnology for Biofuels, v. 5, art. 48, 2012. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1186/1754-6834-5-48. Acesso em: 10 jun. 2025.

ALVES, L. R. A. et al. Estrutura da cadeia produtiva e transmissão de preços da soja entre o produtor e o mercado varejista no Brasil. Desenvolvimento em Questão, v. 20, n. 58, 3 mar. 2022.

AMIS. AMIS Market Monitor - Issue 107. Rome: AMIS, 2023. Disponível em: https://www.amisoutlook.org/fileadmin/user_upload/amis/docs/Market_monitor/AMIS_ Market_Monitor_Issue _107.pdf . Acessado em: 15 mar. 2024.

ATTARBACHI, T.; KINGSLEY, M. D.; SPALLINA, V. New trends on crude glycerol purification: A review. *Fuel*, v. 340, p. 127485, 2023.

BEATRIZ, A.; ARAÚJO, Y. J.K.; LIMA, D. P. Glicerol: um breve histórico e aplicação em sínteses estereosseletivas. *Química Nova,* v. 34, p. 306-319, 2011. BIODIESELBR. Biodiesel foi o destino do óleo de metade da soja esmagada no Brasil em 2021. Disponível em: https://www.biodieselbr.com/noticias/materia-prima/uso/biodiesel-foi o-destino-do-oleo-de-metade-da-soja-esmagada-no-brasil-em-2021-180222. Acesso em: 6 abr. 2024.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. CNPE aprova aumento para 12% da mistura de biodiesel ao diesel a partir de abril. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/cnpe-aprova-aumento-para-12-da mistura-de-biodiesel-ao-diesel-a-partir-de-abril . Acessado em: 2 abr. 2024. BRASIL.

BRASIL. Senado Federal. Queda nas ‘commodities’ reduz em US$ 25 bi exportações do Brasil. Disponível em https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/513776/noticia.html?sequence=1 Acessado em 07 de mar. de 2023.

CASTRO, Antônio Maria Gomes de; LIMA, Suzana Maria Valle; CRISTO, Carlos Manuel Pedroso Neves. Cadeia Produtiva: Marco Conceitual para Apoiar a Prospecção Tecnológica. In: XXII Simpósio de Gestão da Inovação Tecnológica, Salvador, 2002. In: BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Programa Brasileiro de Prospectiva Tecnológica Industrial. [s.l.]: ONUDI, 2002. Disponível em: < https://fcf.unse.edu.ar/archivos/posgrado/2002.cadeiaprodutiva.marcoconceitual.prospecc aotecnologica.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2025.

CEPEA. CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA Agromensal, novembro de 2013. Disponível em: https://www.cepea.esalq.usp.br/upload/revista/pdf/0036478001466181864.pdf. Acesso em: 2 abr. 2024.

CEPEA. CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA. AGROMENSAL, Outubro, 2019. Disponível em: https://www.cepea.esalq.usp.br/br/categoria/agromensal.aspx?mes=10&ano=2019 Acessado em 07 de mar. de 2022.

PRE-PROOF

CEPEA. CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA. PIB da cadeia de soja e biodiesel. Disponível em: https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-da-cadeia de-soja-e-biodiesel-1.aspx . Acesso em: 2 abr. 2024.

CEPEA. CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA. CEPEA/ABIOVE: Dados do 3° tri apontam crescimento de 21% no PIB da soja e do biodiesel em 2023. Disponível em: https://cepea.esalq.usp.br/br/releases/cepea-abiove-dados-do-3-tri apontam-crescimento-de-21-no-pib-da-soja-e-do-biodiesel-em2023.aspx#:~:text=Ainda%20assim%2C%20o%20PIB%20da,do%20mesmo%20per%C3%A Dodo%20de%202022.. Acesso em: 6 abr. 2024.

CEPEA. CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA. Metodologia - PIB do Agronegócio Brasileiro: Base e Evolução. Piracicaba, 2017. Comissão Europeia. Biofuels. Disponível em: https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable energy/bioenergy/biofuels_en#:~:text=The%20Commission%20adopted%20in%20June,t arge t%20for%20renewables%20in%20transport >. Acesso em: 2 abr. 2024.

CHEILARI, A. et al. Effects of the fuel price crisis on the energy efficiency and the economic performance of the European Union fishing fleets. Marine Policy, v. 40, p. 18–24, jul. 2013. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.marpol.2012.12.006>. Acesso em 05 de abr. de 2024.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Série Histórica das Safras - Soja. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das safras/itemlist/category/911-soja . Acesso em 05 de abr. de 2024.

CADE. CONSELHO ADMINISTRATIVO DE DEFESA ECONÔMICA. Ministério da Justiça e Segurança Pública - MJSP. PARECER No 9/2020/CGAA3/SGA1/SG. , 2020. Acesso em: 2 abr. 2024. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Biodiesel. Disponível em: https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao tecnologica/tematicas/agroenergia/biodiesel . Acesso em 05 de abr. de 2024.

ELSAYED, Mahdy; ERAKY, Mohamed; OSMAN, Ahmed I.; WANG, Jing; FARGHALI, Mohamed; RASHWAN, Ahmed K.; YACOUB, Ibrahim H.; HANELT, Dieter; ABOMOHRA, Abdelfatah. Sustainable valorization of waste glycerol into bioethanol and biodiesel through biocircular approaches: a review. Springer Nature Switzerland, 2023. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s10311-023-01671-6. Acesso em: 10 jun. 2025.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Soja em números (safra 2022/23). Disponível em https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados economicos Acesso em: 15 de mar. de 2024.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Glicerol. Disponível em: https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao tecnologica/tematicas/agroenergia/p-d-e-i/biodiesel/glicerol Acesso em: 07 de mar. de

PRE-PROOF

2024.

EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis Ano 2022. Brasília: EPE, 2023. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dadosabertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-756/NT-EPE-DPG-SDB-2023-01_Analise_de_Conjuntura_dos_Biocombustiveis_Ano2022.pdf . Acessado em: 15 mar. 2024.

EPA. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. EPA Finalizes New Renewable Fuel Standards to Strengthen U.S. Energy Security and Support U.S. Agriculture. Disponível em: https://www.epa.gov/newsreleases/epa-finalizes-new-renewable-fuel-standards-strengthen-us energy-security-support-us Acesso em: 2 abr. 2024.

EPA. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. EPA Takes Next Steps on Renewable Fuel Standard Program for 2023-25. Disponível em: https://www.epa.gov/newsreleases/epa-takes-next steps-renewable-fuel-standard-program-2023-25. Acessado em: 2 abr. 2024.

EUROPEAN COMMISSION. Clean Energy for All Europeans. Bruxelas: Comissão Europeia, 2023. Acesso em: 26 mar. 2023. Disponível em: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy strategy/clean-energy-all-europeans-package_en . Acesso em 05 de abr. de 2024.

FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. "Economic aspects of biofuels: An overview of the biofuel sector and its economic impacts." Disponível em: https://www.fao.org/3/BO103e/BO103e.pdf . Acesso em: 07 de mar. de 2024.

GUIMARÃES, P. R. B. (2008). Métodos quantitativos estatísticos. Curitiba: Iesde Brasil SA, 1, 252.

HIRAKURI, M. H.; LAZZAROTTO, J. J. O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro. Embrapa Soja-Documentos (INFOTECA-E), 2014.

IEA. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Transport biofuels – Renewables 2023 – Analysis. Disponível em: https://www.iea.org/reports/renewables-2023/transport-biofuels. Acesso em: 06 abr. 2024.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. PAM. PRODUÇÃO AGRÍCOLA MUNICIPAL. Disponível em https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pib-munic/figuras Acesso em: 07 de mar. de 2023.

IRENA - International Renewable Energy Agency. Renewables 2023. Disponível em: https://iea.blob.core.windows.net/assets/96d66a8b-d502-476b-ba94-54ffda84cf72/Renewables_2023.pdf . Acesso em: 07 de mar. de 2024.

KOHLHEPP, Gerd. Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil. São Paulo: Estudos Avançados, 2010, v. 24, n. 68, p. 223–253. Disponível em:

PRE-PROOF

https://www.scielo.br/j/ea/a/MNFwMJCCTstYyj3nKRSD5QJ/?format=html. Acesso em: 10 jun. 2025.

LAZZARINI, S. G.; NUNES, R. Competitividade do sistema agroindustrial da soja. São Paulo: Pensa/USP, 2000.

LIU, Y.; ZHONG, B.; LAWAL, A. Recovery and utilization of crude glycerol, a biodiesel byproduct. RSC advances, v. 12, n. 43, p. 27997-28008, 2022.

MACHADO, B. A. S. et al. Mapeamento Tecnológico Do Glicerol/Glicerina Sob O Enfoque Em Documentos De Patentes Depositados No Brasil. Cadernos de Prospecção, v. 5, n. 1, p. 14– 22, 2012.

MAPA. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. CNPE aprova aumento para 12% da mistura de biodiesel ao diesel a partir de abril. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/cnpe-aprova-aumento-para-12-da mistura-de-biodiesel-ao-diesel-a-partir-de-abril . Acesso em: 2 abr. 2024.

MDIC. MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS. Exportação e Importação Geral. Disponível em: http://MIDIC.mdic.gov.br/pt/geral Acesso em: 07 de mar. de 2024.

MOKLIS, M. H.; CHENG, S.; CROSS, J. S. Current and future trends for crude glycerol upgrading to high value-added products. *Sustainability*, v. 15, n. 4, p. 2979, 2023.

MONTEIRO, M. R. et al. Glycerol from biodiesel production: Technological paths for sustainability. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 88, p. 109–122, maio 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.02.019. Acesso em: 06 abr. 2024.

NOVI, J. C. et al. Análise da gestão de glicerol: riscos e oportunidades sobre sua destinação frente à lacuna normativa e aspectos sustentáveis. Revista Eletrônica de Administração, v. 24, n. 3, p. 217–243, 2018.

OEC. OBSERVATORY OF ECONOMIC COMPLEXITY. Perfil de comércio de Glycerol (glycerine), crude and glycerol waters & lye. Disponível em: https://oec.world/en/profile/hs/glycerol-glycerine-crude-and-glycerol-waters-lye. Acesso em: 13 de dez. de 2024.

OEC. OBSERVATORY OF ECONOMIC COMPLEXITY. Biodiesel and Mixtures Thereof. Disponível em: https://oec.world/en/profile/hs/biodiesel-and-mixtures-thereof . Acesso em: 13 de dez. de 2024.

ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT - OECD/ FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION - FAO. “Biofuels”, in OECD-FAO Agricultural Outlook 2016-2025, 2016. OECD Publishing, Paris.

REIS, E. *Estatística Descritiva.* 7. ed. Lisboa: Edições Sílabo, 2008.

PRE-PROOF

SOUZA, M. O. et al. O COMPLEXO DE SOJA: ASPECTOS DESCRITIVOS E PREVISÕES. Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento, v. 2, n. 1, 25 fev. 2010.

SOUZA, M. O.; N R. PIEDADE BACCHI, M.; ROGERIO A. ALVES, L. Análise de fatores que influenciam o processamento de soja no Brasil. Revista de Economia e Agronegócio, v. 17, n. 3, 8 jul. 2019.

SUHARA, A. et al. Biodiesel Sustainability: Review of Progress and Challenges of Biodiesel as Sustainable Biofuel. *Clean Technologies*, v. 6, n. 3, p. 886-906, 2024.

PAGLIARO, M.; ROSSI, M.; SOCIETY, R. The future of glycerol : new uses of a versatile raw material. Cambridge: Royal Society Of Chemistry, 2008.

QUAN, S. H.; MCNUTT, J.; YANG, J. Utilization of the residual glycerol from biodiesel production for renewable energy generation. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 71, p. 63–76, maio 2017. Disponível em <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.110>. Acesso em: 06 abr. 2024.

QUISPE, C. A. G.; J. R. CORONADO, C.; A. CARVALHO JR., J. Glycerol: Production, consumption, prices, characterization and new trends in combustion. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 27, p. 475–493, nov. 2013. Disponível em https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.06.017. Acesso em: 06 abr. 2024.

Revista Pesquisa Fapesp. Resíduos bem-vindos, 2012. Disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/residuos-bem-vindos/. Acesso em: 7 abr. 2024.

RODRIGUES, A.; BORDADO, J. C.; GALHANO DOS SANTOS, R. Upgrading the glycerol from biodiesel production as a source of energy carriers and chemicals—A technological review for three chemical pathways. *Energies*, v. 10, n. 11, p. 1817, 2017.

SANTOS, RR dos; MYSZCZUK, A. P.; GLITZ, F. E. Z. Contract of sale in the soybean agroindustrial chain. Revista de Política Agrícola, 2010, Vol. 19, No. 2, 48-59 ref. 28, 2010.

TOLDRÁ-REIG, F.; MORA, L.; TOLDRÁ, F. Trends in biodiesel production from animal fat waste. *Applied Sciences*, v. 10, n. 10, p. 3644, 2020.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Biofuels Annual - Jakarta - Indonesia. Foreign Agricultural Service - FAS. Washington, D.C.: USDA, 2023. Disponível em: https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Bio fuels%20Annual_Jakarta_Indonesia_ID2023-0018.pdf . Acessado em: 15 mar. 2024.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Indonesia: Indonesia to Implement Biodiesel B35 in February 2023. Foreign Agricultural Service - FAS. Washington, D.C.: USDA, 2023. Disponível em: https://fas.usda.gov/data/indonesia-indonesia implement-biodiesel-b35-february-2023 Acesso em: 15 mar. 2024. UNITED STATES

PRE-PROOF

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. USDA - Brazil: 2011/12 Soybean Production Estimate Reduced to 70 MMT. Disponível em: https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Oil seeds+and+Products+Update_Brasilia_Brazil_2-24-2012.pdf Acesso em: 10 de ago. de 2023.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Foreign Agricultural Service. Disponível em https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/advQuery acessado em 10 de ago. de 2023.

YANG, F.; HANNA, M. A.; SUN, R. Value-added uses for crude glycerol—a byproduct of biodiesel production. *Biotechnology for Biofuels*, v. 5, p. 1-10, 2012.

ZHOU, W. et al. Study on the Frying Performance Evaluation of Refined Soybean Oil after PLC Enzymatic Degumming. *Foods*, v. 13, n. 2, p. 275, 2024.

Autor Correspondente:

Fernanda Cigainski Lisbinski

Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - ESALQ/USP

Av. Pádua Dias, 11 - Agronomia, Piracicaba/SP, Brasil. CEP 13418-900

lisbinskif@gmail.com

Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da licença Creative Commons.

PRE-PROOF