

SUBMETIDO 27/08/2021

APROVADO 01/02/2022

PUBLICADO ON-LINE 10/02/2022


PUBLICADO 30/06/2023


EDITORA ASSOCIADA
Gardênia Marinho Cordeiro


DOI: <http://dx.doi.org/10.18265/1517-0306a2021id6316>


ARTIGO ORIGINAL

O biodiesel na matriz energética brasileira: da sua inserção aos dias atuais

 Tassio Lessa do Nascimento ^{[1]*}

 Maria Aparecida Medeiros Maciel ^[2]

 Hellen Elisia de Souza Gurgel ^[3]

 Maria Alexandra de Sousa Rios ^[4]

 Luciana Medeiros Bertini ^[5]

[1] tassio.lessa@ifrn.edu.br

[5] luciana.bertini@ifrn.edu.br

Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia do Rio Grande do
Norte (IFRN), Brasil

[2] mammaciell@hotmail.com

Universidade Federal do Rio Grande do Norte
(UFRN), Brasil

[3] hellen.gurgel@gmail.com

Universidade Federal Rural do Semi-Árido
(UFERSA), Brasil

[4] alexandrarios@ufc.br

Universidade Federal do Ceará (UFC), Brasil

RESUMO: Em uma conjuntura de preocupações crescentes com o aumento dos problemas ambientais, os biocombustíveis, em especial o Biodiesel, representam uma ferramenta significativa para contenção da emissão de poluentes e, ainda, contribuem para o empreendedorismo da economia regional. Nesse sentido, o presente artigo buscou investigar os mais variados aspectos que envolvem a produção e a utilização desse tipo de combustível, tais como: principais matérias-primas, políticas de regulamentação, as formas de sínteses e suas produções, bem como estímulos governamentais e questões socioeconômicas e ambientais. Dessa forma, foram utilizadas pesquisas documentais e revisões bibliográficas sobre biodiesel, desde sua origem, em 1937, até os dias atuais. Nesse cenário, concluiu-se que, mundialmente, o combustível oleaginoso representa uma alternativa promissora para o balanceamento entre desenvolvimento sustentável e redução de gases poluentes, além de fomentar a produção regional e políticas governamentais, por ser tecnologia de inserção ecocompatível.

Palavras-chave: biocombustíveis; biodiesel; incentivos governamentais; sustentabilidade.

Biodiesel in the Brazilian energy matrix: from its implementation to the present day

ABSTRACT: Against a backdrop of growing environmental concerns, biofuels, particularly biodiesel, have proven to be crucial tools for pollutant emission constraint, in addition to promoting regional entrepreneurship. This paper investigated different aspects involving biodiesel production and its applications, such as: main raw materials, regulatory policies, the forms of synthesis and their production, as well as governmental stimuli and socioeconomic and environmental issues. Data was collected using documentary research and literature review concerning biofuel, from its origin in 1937 to the present day. Data collected showed that in all the world oily fuel is seen as a promising alternative for balancing sustainable development and reducing polluting

*Autor para correspondência.

gases, in addition to promoting regional production and government policies, as it is an eco-compatible technology.

.....
Keywords: *biodiesel; biofuels; government incentives; sustainability.*
.....

1 Introdução

Em função do empreendimento do setor industrial automobilístico e da geração de novas tecnologias sustentáveis, os biocombustíveis têm destaque em função da crescente demanda. Nessa perspectiva, ganha destaque o biodiesel, um dos mais importantes e difundidos biocombustíveis da matriz energética brasileira. De acordo com a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), a produção atual de biodiesel atende a 12% do consumo nacional (ANP, 2021). A política nacional dos biocombustíveis está regulamentada na Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017 (BRASIL, 2017).

Com relação à lei de regulamentação do uso de biocombustíveis, Lei nº 11.097/2005 (BRASIL, 2005), encontra-se a recomendação para o uso de biocombustível derivado de biomassa renovável em motores a combustão interna com ignição por compressão ou, conforme regulamento, para geração de outro tipo de energia que possa substituir, parcial ou totalmente, os combustíveis de origem fóssil.

Segundo a ANP, em 2021, a produção brasileira de biodiesel atingiu 6,8 bilhões de litros, com registro de crescimento competitivo em nível globalizado. Nesse cenário, a Associação dos Produtores de Biodiesel do Brasil (APROBIO) estima que o Brasil se torne o maior produtor de biodiesel em escala mundial (BATTISTELLA, 2021).

Nesse contexto, o presente trabalho tem o objetivo de apresentar as principais matérias-primas e tecnologias utilizadas, como também programas e legislações governamentais, no âmbito brasileiro, para a produção de biocombustíveis. A concepção desse estudo, através de uma pesquisa qualitativa, relata todo o processo da inserção do biodiesel na matriz energética do Brasil, considerando as variáveis do processo produtivo até as ações das políticas públicas.

2 Metodologia

Para a realização deste trabalho, foram utilizados artigos científicos nos idiomas português e inglês. As palavras-chave utilizadas foram: biocombustíveis, biodiesel, sustentabilidade, incentivos governamentais, bem como *biofuels*, *biodiesel*, *sustainability* e *government incentives*, estas últimas, palavras da língua inglesa.

O desenvolvimento descritivo do estudo envolveu, ainda, busca em outras fontes e se caracterizou por estar de acordo com a metodologia descrita por Marconi e Lakatos (2003, p. 174), a qual retrata fontes primárias e secundárias que abrangem a bibliografia prévia ao tema do estudo (MARCONI; LAKATOS, 2003, p. 183).

O recorte temporal realizado pelo trabalho visa atribuir o primeiro plano a uma faixa de anos que se estende desde 2005, quando o Brasil passou a assegurar por lei o conhecimento sobre o biodiesel e sua porcentagem de adição ao diesel, até os dias atuais, com sua respectiva importância. Outras épocas também estão contempladas, com

foco especial nas justificativas para a implantação, o consumo e a popularização do uso do biodiesel no Brasil.

3 Resultados

Nesta seção, são apresentadas as definições acerca do biodiesel e os principais processos produtivos utilizados. Também são abordadas as principais matérias-primas empregadas e o histórico dos programas e das legislações relacionadas à inserção desse produto na matriz energética brasileira.

3.1 Definições e contextualizações acerca do biodiesel

Conceitualmente, o biodiesel é um combustível renovável obtido a partir de matéria-prima vegetal ou animal pelo processo de transesterificação (ANP, 2021). A revista digital BiodieselBr¹ mostra, em suas divulgações, a ampla utilização dos biocombustíveis em motores que operam com o ciclo diesel, sem a necessidade de severas adaptações. Como benefício adicional, esses óleos conferem melhoria ambiental pela redução de emissão de gases poluentes na atmosfera, tendo em vista que não consistem em derivados de combustíveis fósseis. Ramos *et al.* (2011, p. 388) descrevem o biodiesel como o substituto natural e renovável do diesel, que pode ser obtido através da alcoólise de óleos vegetais ou gorduras animais ou, ainda, pela esterificação de ácidos graxos, empregando um álcool na presença de um catalisador homogêneo, heterogêneo ou enzimático.

De forma abrangente, para produzir biodiesel, um determinado processo químico assume o protagonismo, com eficácia na transformação de uma determinada matéria-prima oleaginosa em fonte energética ecocompatível. Historicamente, apesar da ampla implementação do setor industrial químico nos séculos XVIII e XIX, somente no século XX o debate sobre a produção de biodiesel teria realmente se instalado. Suarez e Meneghetti (2007, p. 2069) ressaltam noções inerentes ao surgimento do biodiesel, que data de 1937, na Bélgica, quando G. Chavanne patenteou o processo de produção de biodiesel, utilizando, pela primeira vez, o processo de transesterificação de óleos vegetais para fins energéticos. No Brasil, nos anos 1940, surgiu uma das primeiras tentativas de aproveitamento energético de óleos *in natura* em motores de combustão interna. No entanto, apenas em 1980 teria sido proposta a transesterificação como medida tecnológica.

3.2 Processos produtivos para obtenção do biodiesel

Entre os processos que geram biodieseis, os mais utilizados são: reações de transesterificação, hidroesterificação, esterificação e craqueamento térmico, os quais estão detalhados nesta subseção.

3.2.1 Transesterificação

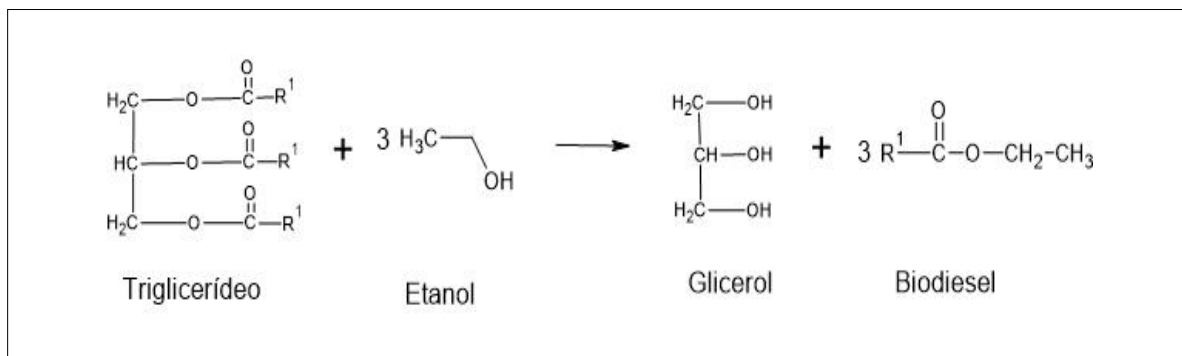
A transesterificação – ou alcoólise – é o principal procedimento para obtenção do biocombustível derivado dos óleos vegetais ou animais. Nesse processo, a matéria-prima

[1] BiodieselBr. Disponível em:
<https://www.biodieselbr.com/revista.htm>.
Acesso em: 10 fev. 2022.

Figura 1 ▼
Representação da reação de transesterificação.

Fonte: elaborada pelos autores

reage com um álcool – frequentemente metanol –, na presença de um catalisador, para produzir alquil ésteres metílico ou etílico, como representado pela Figura 1. Seguindo de tratamento posterior, obtém-se biodiesel, e o produto secundário da síntese é a glicerina ou glicerol, que tem amplo uso industrial nos setores de medicamentos, cosméticos e produtos de higiene bucal (MAIA, 2015, p. 28).



A reação de transesterificação pode ser catalisada por bases, ácidos ou enzimas. No entanto, nas mesmas condições experimentais, o produto é obtido de forma mais rápida pelo uso de um catalisador alcalino, ao invés de um catalisador ácido (BARBOSA, 2021).

3.2.2 Hidroesterificação

Entre as alternativas possíveis para a produção de biodiesel, a hidroesterificação se destaca como inovação, pois permite a utilização de uma gama mais extensa de matérias-primas em relação à usual transesterificação, já que independe do teor de acidez e da umidade presente nos insumos (SANTOS *et al.*, 2015, p. 180).

A hidroesterificação consiste em um processo de duas etapas: hidrólise e esterificação, ilustradas pelas Figuras 2 e 3, respectivamente. Na hidrólise, ocorre a reação entre a gordura – ou óleo – e a água, gerando glicerina e ácidos graxos, os quais sofrem esterificação na presença de metanol ou etanol, produzindo, assim, metil ésteres, com elevada pureza (TAPANES *et al.*, 2013, p. 122-123).

Figura 2 ►
Representação da reação de hidrólise.

Fonte: elaborada pelos autores

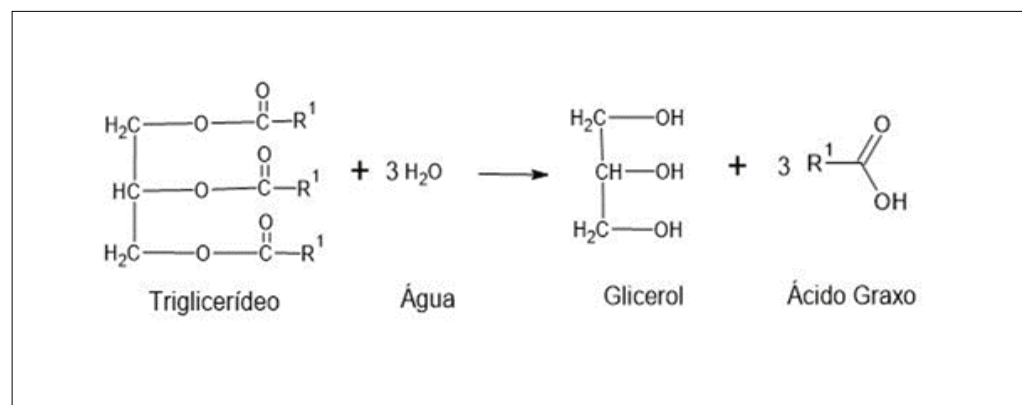
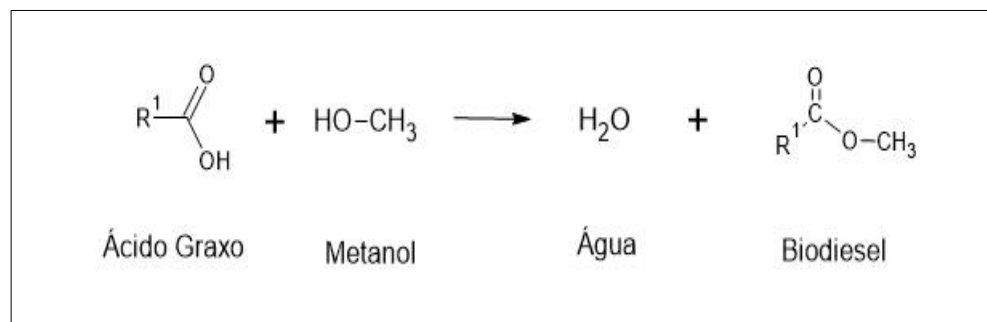


Figura 3 ►

Representação da reação de esterificação.

Fonte: elaborada pelos autores



3.2.3 Esterificação

Dantas *et al.* (2016, p. 1081) descrevem a obtenção de biodiesel por esterificação da seguinte forma: uma reação entre ácidos carboxílicos e um álcool de cadeia curta que, na presença de um catalisador ácido, produz ésteres com eliminação de água. Portanto, a esterificação difere da transesterificação pela escolha da matéria-prima que, ao invés de ser um triglicerídeo, é um ácido graxo, bem como pela etapa da hidroesterificação que não envolve a reação de hidrólise, de acordo com a Figura 3.

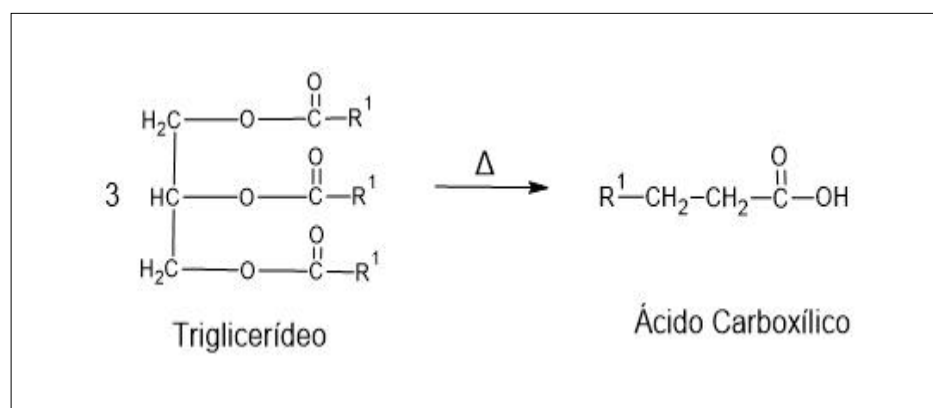
3.2.4 Craqueamento térmico

O craqueamento térmico, também denominado processo de pirólise, é definido por Tapanes *et al.* (2013, p. 122) como a quebra das moléculas presentes no óleo vegetal ou gordura, levando à formação de uma mistura de compostos químicos com propriedades semelhantes às do diesel, dos gases e da gasolina de petróleo, que podem ser usados diretamente em motores convencionais. Nesse processo, ilustrado pela representação da reação na Figura 4, mesmo que o produto tenha propriedades semelhantes às do diesel de petróleo, há a formação de moléculas oxigenadas com um elevado caráter ácido. Portanto, há a necessidade de etapas adicionais para melhoria do produto.

Figura 4 ►

Representação da reação de pirólise.

Fonte: elaborada pelos autores



De acordo com a Agência Embrapa de Informação Tecnológica (Ageitec), o combustível produzido via craqueamento térmico não é considerado biodiesel pela nomenclatura internacional. Assim, a Embrapa adotou o termo ecodiesel para combustíveis obtidos através da pirólise de ácidos graxos, embora o termo mais utilizado seja biodiesel craqueado (JARDINE; BARROS, 2021).

3.3 Principais matérias-primas para obtenção do biodiesel

Dados recentes da ANP (2022) mostram que, em 2021, a matéria-prima majoritariamente utilizada para produção de biodiesel – 72,1% – foi a soja. O elevado consumo da soja se deve ao fato de essa oleaginosa ser resistente a mudanças climáticas em função das suas baixas necessidades hídricas (SANTOS; MACIEL; SILVA, 2015).

A segunda matéria-prima mais utilizada na produção do biodiesel é a gordura bovina, com 7,7%, em função de o Brasil ter o segundo maior rebanho bovino do mundo (COLLARES, 2019).

3.4 Regulamentação do biodiesel no Brasil

A Lei nº 11.097/2005 (BRASIL, 2005) é responsável pela introdução do biodiesel na matriz energética brasileira, na qual estão contidas as diretrizes dos processos produtivos e das questões mercadológicas. Já a Lei nº 13.576/2017 (BRASIL, 2017) regulamenta a Política Nacional de Biocombustíveis, na qual constam os incentivos à produção de combustíveis renováveis como o etanol e o biodiesel. Essa lei também é conhecida como Renovação dos Biocombustíveis (RenovaBio). Por sua vez, o Conselho Nacional de Produção Energética (CNPE) é o órgão que atua na regulamentação do percentual de biodiesel a ser adicionado ao diesel (CNPE, 2018).

3.5 Instauração do biodiesel no Brasil

O Brasil tem um grande destaque na produção do biodiesel no cenário mundial, tanto pelo fato de o primeiro processo industrial ter sido desenvolvido por um brasileiro, como também por suas características sociais, econômicas e ambientais.

3.5.1 A primeira patente

A primeira patente registrada (PI – 8007957) sobre biodiesel no Brasil foi elaborada pelo professor Dr. Expedito José de Sá Parente, na década de 1980 (BERTONI, 2011). Parente, incentivado pelas oscilações econômicas no preço do petróleo e pelas crescentes preocupações ambientais, desenvolveu, a partir do processo de transesterificação dos óleos vegetais, o combustível de natureza renovável denominado biodiesel (HOLANDA, 2004).

3.5.2 O Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB)

O Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) entrou em vigor no ano 2004, com o objetivo de implementar a produção e utilização do biodiesel em todo o território brasileiro. O PNPB busca a criação de incentivos e regras para a produção e comercialização de biocombustíveis, visando à sustentabilidade, à inclusão social e a aspectos econômicos. A importância desse projeto é evidenciada por meio do crescimento da comercialização de biodiesel, da diversidade de oleaginosas utilizadas nos processos

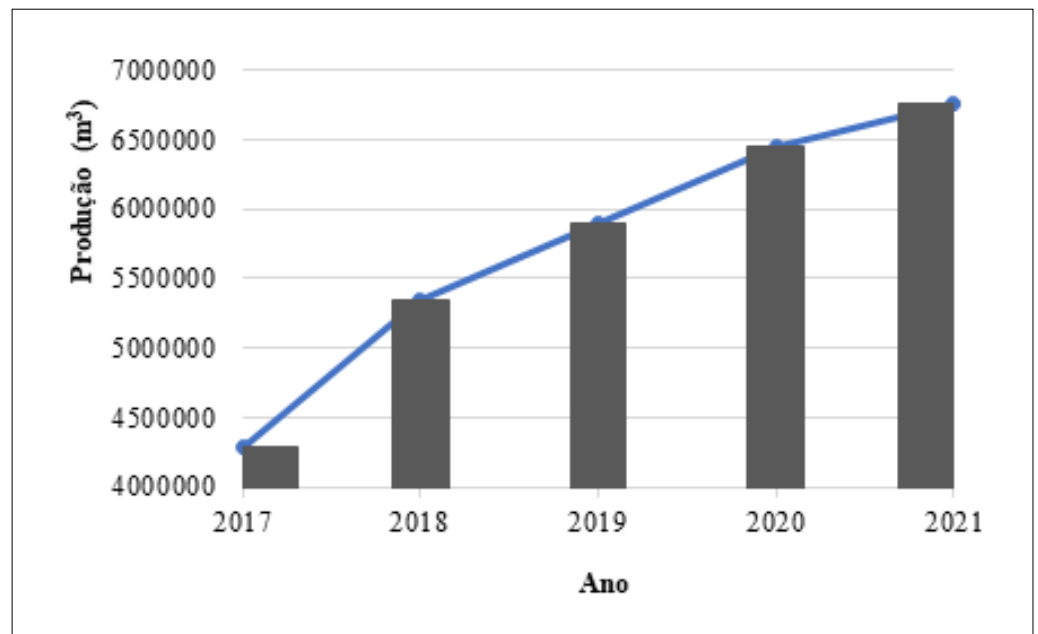
produtivos, bem como do crescimento da agricultura familiar e da preservação do meio ambiente (SAMPAIO; BONACELLI, 2015).

Destacando-se um exemplo, o PNPB fortalece a inclusão social através da agricultura familiar, utilizando o plantio da mamona – *Ricinus communis* – como principal matéria-prima para as usinas produtoras de biodiesel. Essa oleaginosa é de fácil plantio e tem resistência ao estresse hídrico, o que representa uma característica favorável ao sertão nordestino. Dessa forma, a cultura da mamoneira seria uma opção assertiva que poderia propiciar aumento na mão de obra de trabalhadores rurais com consequente geração de emprego e renda familiar (CÉSAR; BATALHA, 2011). No entanto, fatores ligados ao cultivo e a aspectos técnicos do óleo extraído inviabilizaram sua utilização. O fato de o biodiesel de mamona apresentar elevada viscosidade faz com que esta não atenda a um dos requisitos de qualidade estabelecidos pela ANP (MAIA, 2015).

Com relação ao plantio, destacam-se os seguintes entraves: assistência técnica ausente/ineficiente; técnicas inadequadas adotadas; baixa produção; comercialização por meio de atravessadores; escassa condição de investimento por parte do agricultor familiar; rompimento de contrato pelas empresas processadoras; e a falta de organização da cultura cooperativista (BORBA; FERREIRA, 2019).

Segundo Sampaio e Bonacelli (2015), o crescimento da produção do biodiesel no Brasil, ilustrado no Gráfico 1, foi impulsionado por incentivos fiscais e agentes financeiros, tais como: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), Programas de Integração Social (Pis) e de Formação do Patrimônio do Servidor Público (Pasep), e Contribuição para Financiamento da Seguridade Social (Cofins), além do Selo Combustível Social (SCS), ação executada pelo Ministério de Desenvolvimento Agrário (MDA).

Gráfico 1 ▶
Produção do biodiesel no Brasil.
Fonte: ANP (2022)



3.5.2.1 Selo combustível social e incentivos fiscais e financiamentos

O Selo Combustível Social (SCS) se caracteriza por uma certificação governamental instituída e executada pelo MDA. Sua ocorrência se deu com o intuito de fortalecer o

caráter social do programa de geração de energia renovável, buscando fortalecer, também, os pequenos agricultores.

A certificação governamental SCS ocorre para os produtores de biodiesel que adquirem no mínimo 30% da matéria-prima proveniente da agricultura familiar (BORBA; FERREIRA, 2019). De acordo com o Decreto nº 10.527/2020 (BRASIL, 2020), esse percentual poderá ser diferenciado de acordo com a região e deve ser estipulado de acordo com as aquisições anuais de matéria-prima pelas empresas. Os produtores que possuem a certificação SCS gozam da redução da contribuição para o Pis/Pasep e para o Cofins, como também da possibilidade de financiamento através do banco BNDES.

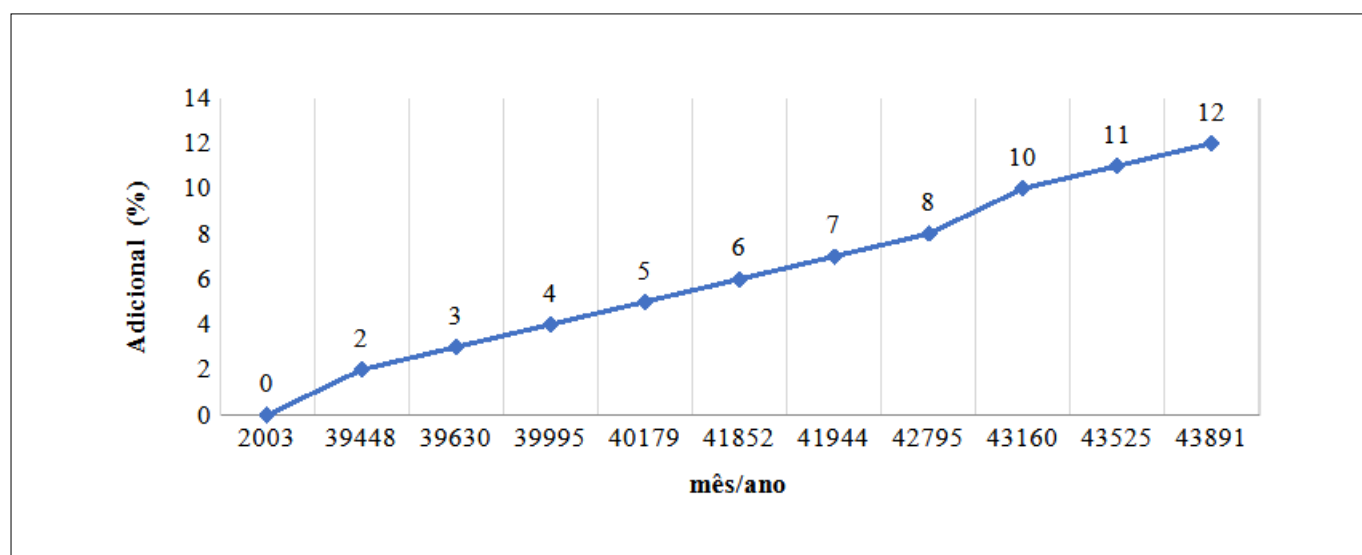
3.5.3 Outras políticas públicas

O desenvolvimento da produção de biodiesel no Brasil ocorre tanto pelos incentivos para a sua produção propriamente dita, como também por políticas públicas para seu uso. Assim, por exemplo, destaca-se a [Lei nº 11.097/2005](#), que regula a obrigatoriedade da adição de biodiesel no diesel veicular comum. Os teores de adição vêm crescendo e, com isso, a popularidade do biocombustível aumenta significativamente. O Gráfico 2 indica a evolução dessa adição.

Gráfico 2 ▼

Percentual adicional de biodiesel no diesel veicular.

Fonte: dados da pesquisa



3.5.4 Programa RenovaBio

Alinhado aos compromissos mundiais em relação à emissão de poluentes e a processos mais limpos, o Brasil implantou a Lei nº 13.576/2017 (BRASIL, 2017), que dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio). Esse programa não é exclusivo para o biodiesel, porém, suas ações aumentaram a produtividade desse combustível, com a ênfase nos aspectos econômicos, ambientais e sociais.

Em 2015, na 21ª Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (COP-21), também conhecida pela sigla em inglês UNFCCC (*United Nations Framework Convention on Climate Change*), efetivou-se o compromisso mundial com a redução da emissão de carbono, principalmente atrelado às preocupações acerca do aumento da temperatura global. Naquela ocasião, objetivou-se manter o aquecimento abaixo de 2° C. Nas COPs realizadas posteriormente à COP-21,

buscou-se definir regras para realizar a implementação dos compromissos assumidos pelo Acordo de Paris (FREITAS; SILVA, 2020).

Nessa esfera, o Brasil criou o RenovaBio, um programa capaz de relacionar a produção dos biocombustíveis e a preocupação com a redução na emissão de carbono. A Lei nº 13.576/2017 é responsável pela regulação desse projeto e tem como primeiro objetivo contribuir para o atendimento dos compromissos do país no âmbito do Acordo de Paris sobre a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Outros propósitos da política governamental estão listados no Quadro 1.

Quadro 1 ▶
Objetivos do RenovaBio.
Fonte: Brasil (2017)

Objetivos da Política Nacional de Biocombustíveis
<p>II – Contribuir com a adequada relação de eficiência energética e de redução de emissões de gases causadores do efeito estufa na produção, na comercialização e no uso de biocombustíveis, inclusive com mecanismos de avaliação de ciclo de vida;</p> <p>III – Promover a adequada expansão da produção e do uso de biocombustíveis na matriz energética nacional, com ênfase na regularidade do abastecimento de combustíveis; e</p> <p>IV – Contribuir com previsibilidade para a participação competitiva dos diversos biocombustíveis no mercado nacional de combustíveis.</p>

O RenovaBio atua em conjunto com as empresas produtoras de combustíveis a fim de estabelecer e supervisionar metas para produção de biocombustíveis. Segundo a ANP (2022), o funcionamento do programa parte das atribuições de notas para cada produtor ou importador, conforme a intensidade de carbono do biocombustível produzido. Essa ação tende a refletir a contribuição de cada participante no processo de mitigação da emissão de gases-estufa. As empresas poderão atestar o êxito nas metas a partir da compra de créditos de descarbonização (CBIO), que podem ser comercializados, após a certificação de cumprimento dos compromissos, ilustrando a criação de um novo meio de lucro à instituição.

Importante destacar que o mercado dos combustíveis é dependente de dois atores: o produtor e o distribuidor. Enquanto o sucesso do primeiro é estabelecido pela compra de CBIO, o segundo somente será atestado como exitoso se, ao final do ano, comprovar a propriedade de CBIO em seus negócios. A intensidade de carbono nos biocombustíveis produzidos é monitorada pela RenovaCalc, ferramenta também elaborada e mantida pela ANP (2022).

Como qualidades do RenovaBio, Jardim (2017) destaca as seguintes: o posicionamento do Brasil como país de economia verde; a revitalização da cadeia produtiva; a reafirmação do país na liderança em fabricação e uso de biocombustíveis. Para ele, o programa promove não somente racionalidade, previsibilidade, eficiência e redução de custos, mas também, principalmente, uma estratégia de desenvolvimento sustentável que gera emprego e renda.

3.5.5 Pesquisa e inovação em biodiesel

Com o passar dos anos, com o aumento da conscientização ambiental e com a política econômica do petróleo e seus derivados, surgiram pesquisas no ramo da bioenergia, em que o biodiesel se destaca nos aspectos social, ambiental e econômico. Nesse contexto, surgem análises inovadoras voltadas para o descobrimento de novas matérias-primas e

para a otimização de produtos e processos, objetivando o desenvolvimento da cadeia produtiva de biodiesel (RODRIGUES, 2016).

Entre as matérias-primas promissoras para a produção de biodiesel, destacam-se as microalgas, que se tornam boas candidatas para a produção desse biocombustível devido à sua maior taxa de crescimento frente a outras culturas energéticas, gerando, conseqüentemente, uma maior produção dessa biomassa e superior disponibilidade de óleo a ser extraído (FAWZY; ALHARTHI, 2021). Desse modo, a produção fica mais barata, acarretando uma redução no preço final do combustível. Entre as espécies produzidas, a ordem Chlorellales possui destaque, sendo a alga *Chlorella* sp. a mais promissora (RIBEIRO *et al.*, 2019).

Ainda na esfera de estudo da produção de biocombustíveis por meio de microalgas, Cornélio (2021) apresenta essa alternativa como uma possibilidade promissora para a produção de energia, pois além de serem renováveis, seus efluentes são menos agressivos se comparados aos dos combustíveis fósseis.

Outras matérias-primas também estão sendo pesquisadas, como no trabalho de Oliveira *et al.* (2022), que avalia os aspectos biotecnológicos do biodiesel oriundo do óleo extraído da pupunheira – *Bactris gasipaes*. Um outro exemplo são o óleo e o azeite do coco babaçu – *Orbignya speciosa* Mart. –, que teve seu potencial energético estudado por Silva Neto *et al.* (2021).

Em adição, temos as pesquisas com pinhão manso – *Jatropha curcas* L. –, que se tem apresentado como uma oleaginosa importante para o desenvolvimento da bioenergia, principalmente para a fabricação de biodiesel, devido à alta percentagem de óleo em suas sementes, que varia de 40% a 60% (GAVILANES *et al.*, 2021).

As tecnologias ligadas à utilização eficiente das matérias-primas são constantemente estudadas, em busca de novas alternativas para os processos catalíticos. Atualmente, a transesterificação alcalina homogênea é a mais utilizada no âmbito industrial. Entretanto, apesar de esse processo alcançar elevados rendimentos reacionais em tempos curtos, apresenta algumas desvantagens, tais como dificuldade de separação do catalisador, grande consumo de água e produção de águas residuais (MELLO; CARDOZO FILHO; SILVA, 2020).

Nesse sentido, surgem estudos que buscam alternativas de processos, como o de Durán, Takahashi e Fortes (2019), que mostra a possibilidade de produção de um biocatalisador de biomassa liofilizada de *Syncephalastrum racemosum*, um fungo que sintetiza a lipase. Essa enzima realiza a quebra de lipídios em ácidos graxos, aumentando, assim, a taxa de transesterificação.

Os pesquisadores Mello, Cardozo Filho e Silva (2020) estudaram a hidroesterificação como uma alternativa de produção para o biodiesel. Esse processo consiste em duas etapas, no qual a primeira se refere à hidrólise de triacilglicéris, a fim de formar os ácidos graxos livres (AGLs) e o glicerol. A segunda etapa acontece com a remoção do glicerol e a esterificação posterior dos AGLs na presença de um álcool, gerando, dessa forma, biodiesel – ésteres de ácidos graxos – e água.

Outra alternativa em potencial para a fabricação do biodiesel é a produção em condições supercríticas. Essa tecnologia permite a transesterificação dos triglicerídeos e a esterificação dos ácidos graxos, não requerendo a utilização de um catalisador. Essa técnica apresenta altos rendimentos reacionais, menos etapas operacionais e é aplicável a diversas matérias-primas (ANDREO-MARTÍNEZ *et al.*, 2020).

3.6 Implicações da produção e utilização do biodiesel

Todo o processo de inserção e de utilização do biodiesel na matriz energética brasileira está alinhado aos aspectos socioeconômicos e ambientais. Com a adição desse novo item, surgem novas demandas nas estruturas produtivas do biodiesel, como destacado nesta subseção.

3.6.1 O viés socioeconômico

As implicações econômicas relacionadas à segurança energética de um país estão voltadas a garantir o abastecimento dos seus produtos energéticos. Porém, esse aporte energético não pode estar atrelado a um bem esgotável ou a conflitos sociais e políticos. Portanto, busca-se desenvolver estratégias em longo prazo para garantir a segurança no abastecimento, certificando-se de que os produtos estejam disponíveis de forma contínua e com preço acessível. O Brasil, por ser um país majoritariamente agrícola, favorece as possibilidades de produção em larga escala, assegurando o crescimento econômico e produtivo (COSTA, 2017).

O PNPB trouxe ações para mitigar os problemas relacionados ao monopólio latifundiário e tecnológico, especialmente os da agricultura familiar nordestina. Nesse aspecto, o foco foi a geração de empregos, o acesso a novas técnicas e a garantia de mercado. A melhoria da condição socioeconômica possibilita aos agricultores autonomia produtiva. Nesse viés, o governo passou a intervir no formato organizacional e na distribuição de incentivos, as empresas passaram a adotar responsabilidade social, e os trabalhadores do campo e os movimentos sociais efetivaram parcerias com as usinas de biodiesel (SILVA, 2016).

Prosseguindo, Silva (2019) explica que a dimensão social defendida pelo programa PNPB pode perder, apenas, para as decisões que valorizam os produtores consolidados e o próprio capital. Sobre isso, a autora menciona a tendência do programa em alcançar melhores resultados em contextos de agricultura empresarial, movida pela lógica de mercado, em contrapartida aos resultados obtidos pelas regiões em que protagoniza a agricultura camponesa.

3.6.2 O viés ambiental

O caráter ambientalista da produção de biodiesel garante a união com os demais combustíveis renováveis e, conseqüentemente, está em consonância com a maioria dos tratados globais para a redução dos poluentes atmosféricos. Segundo o Balanço Energético Nacional de 2020 (EPE, 2020), o Brasil emitiu, no ano de 2019, 1,43 tonelada de dióxido de carbono por tonelada equivalente de petróleo (tCO₂/tep). Comparativamente, em alguns países com forte presença de fontes fósseis, esse indicador passa de 3tCO₂/tep de energia (EPE, 2020). Além de reduzir as emissões diretas do dióxido de carbono, a cadeia produtiva do biodiesel retira esse gás devido à realização da fotossíntese dos insumos agrícolas. Portanto, as principais vantagens de uma matriz energética limpa são: aumento da diversidade de oferta de energia; maior geração de empregos no setor energético e novas oportunidades nas regiões rurais; preservação da biodiversidade; redução da poluição e da emissão de gases de efeito estufa; fornecimento de energia sustentável em longo prazo com redução do risco da falta de energia; impacto ambiental

muito pequeno, sem atingir a composição atmosférica do planeta ou o balanço térmico (SANTANA *et al.*, 2020).

Apesar das vantagens do uso do biodiesel, a forma como ele é produzido pode trazer alguns entraves, como, por exemplo, a utilização de adubos químicos, de agrotóxicos e a produção de sementes transgênicas (SILVA, 2019).

Dessa forma, o processo produtivo de biodiesel se encontra em uma balança. Em um dos lados, reduz as emissões de CO₂ e retira parte dele do ambiente; no outro, também provoca danos ambientais, como a expansão da agricultura e a destruição de biomas (SILVA; POLLI, 2020).

4 Considerações finais

As preocupações cada vez mais acentuadas com as questões sociais, econômicas e ambientais fizeram com que o biodiesel se tornasse uma alternativa energética eficaz. Paralelamente, essa possibilidade acarretou modificações nos meios de produção, nas relações de trabalho e na distribuição de renda para os trabalhadores do campo. No Brasil, ano a ano, a produção de biodiesel ganha força e aumenta sua participação na matriz energética de forma significativa, especialmente por intermédio da produção de biodiesel obtido de óleo de soja e da gordura bovina.

Para a inserção do biodiesel na matriz energética brasileira, foram implementadas diversas políticas governamentais. Entre as mais importantes, estão: i) o PNPB, que fomentou o auxílio do Selo Combustível Social e incentivou a inserção de agricultores familiares na cadeia produtiva de biodiesel; e ii) o RenovaBio, que proporcionou créditos a serem comercializados pelas empresas.

As pesquisas relacionadas ao biodiesel não tendem a se estagnar, devido aos diversos tipos de produção e descobertas de novas matérias-primas. Do ponto de vista tecnológico, vários processos são utilizados na produção de biodiesel, tais como transesterificação, hidroesterificação, esterificação e craqueamento térmico ou pirólise. No Brasil, por exemplo, prevalece a produção realizada por meio da transesterificação.

Com relação às biomassas como matéria-prima, a viabilidade do uso das microalgas é, de certo modo, uma característica inovadora, assim como o surgimento de novos agentes catalisadores.

Por fim, conclui-se que o biodiesel representado em uma balança visa equilibrar o desenvolvimento sustentável, por meio da redução de gases poluentes, com o fomento ao crescimento econômico de empresas assim como da agricultura familiar, sobretudo em áreas predominantemente agrícolas. Portanto, nota-se que o combustível biológico oferece vantagens nos aspectos econômico, social e ambiental.

Financiamento

Esta pesquisa não recebeu financiamento externo.

Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

Referências

ANDREO-MARTÍNEZ, P.; ORTIZ-MARTÍNEZ, V. M.; GARCÍA-MARTÍNEZ, N.; RÍOS, A. P.; HERNÁNDEZ-FERNÁNDEZ, F. J.; QUESADA-MEDINA, J. Production of biodiesel under supercritical conditions: State of the art and bibliometric analysis. **Applied Energy**, v. 264, 114753, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114753>.

ANP – AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. **Produção e fornecimento de biocombustíveis**. Brasília, DF: ANP, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-e-fornecimento-de-biocombustiveis>. Acesso em: 2 fev. 2022.

ANP – AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. **Painel dinâmico de produtores de biodiesel**. Brasília, DF: ANP, 2022. 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: 2 fev. 2022.

BARBOSA, C. M. **Estudo da produção de biodiesel obtido a partir de óleos vegetais utilizando catálise heterogênea**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Química Industrial) – Universidade Federal de São Paulo, Diadema, 2021. Disponível em: <https://repositorio.unifesp.br/handle/11600/60393>. Acesso em: 2 fev. 2022.

BATTISTELLA, E. C. APROBIO completa 10 anos celebrando trajetória de sucesso do setor e mirando consolidação do crescimento do biodiesel no Brasil. **APROBIO – Associação dos Produtores de Biocombustíveis do Brasil**, 17 jun. 2021. Disponível em: <https://aprobio.com.br/ler-conheca-o-biodiesel/partigo-de-erasmo-carlos-battistella-aprobio-completa-10-anos-celebrando-trajetoacuteria-de-sucesso-do-setor-e-mirando-consolidaccedilatildeo-do-crescimento-do-biodiesel-no-brasilp>. Acesso em: 2 fev. 2022.

BERTONI, E. Expedito José de Sá Parente (1940-2011): engenheiro que criou o biodiesel. **Folha de São Paulo**, 19 set. 2011. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/fsp/cotidian/ff1909201116.htm>. Acesso em: 12 maio 2020.

BORBA, M. M.; FERREIRA, M. D. P. Variação da renda dos agricultores familiares e a competição por área agrícola no contexto do PNPB na Bahia e no Ceará. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 50, n. 2, p. 163-181, 2019. Disponível em: <https://g20mais20.bnb.gov.br/revista/index.php/ren/article/view/932>. Acesso em: 4 mar. 2020.

BRASIL. **Decreto nº 10.527, de 22 de outubro de 2020**. Institui o Selo Biocombustível Social e dispõe sobre os coeficientes de redução das alíquotas da Contribuição para o Programa de Integração Social e para o Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público e da Contribuição Social para o Financiamento da Seguridade Social, incidentes na produção e na comercialização de biodiesel, e sobre os termos e as condições para a utilização das alíquotas diferenciadas. Brasília, DF: Presidência da República, 2020. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/d10527.htm. Acesso em: 3 fev. 2022.

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, de 6 de agosto de 1997, 9.847, de 26 de outubro de 1999 e 10.636, de 30 de dezembro de 2002; e dá outras providências.

Brasília, DF: Presidência da República, 2005. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/lei/111097.htm. Acesso em: 7 fev. 2020.

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/_ato2015-2018/2017/lei/113576.htm. Acesso em: 3 abr. 2020.

CÉSAR, A. S.; BATALHA, M. O. Análise dos direcionadores de competitividade sobre a cadeia produtiva de biodiesel: o caso da mamona. **Revista Produção**, v. 21, n. 3, p. 484-497, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-65132011005000039>.

CNPE – CONSELHO NACIONAL DE POLÍTICA ENERGÉTICA. **Resolução nº 16, de 29 de outubro de 2018**. Dispõe sobre a evolução da adição obrigatória de biodiesel ao óleo diesel vendido ao consumidor final, em qualquer parte do território nacional. Brasília, DF: CNPE, 2018. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/conselhos-e-comites/cnpe/resolucoes-do-cnpe/arquivos/2018/resolucao_16_cnpe_29-10-18.pdf/view. Acesso em: 6 fev. 2022.

COLLARES, D. Sebo bovino é segunda matéria-prima na produção de biodiesel. **Embrapa Notícias**, 4 nov. 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/47881589/sebo-bovino-e-segunda-materia-prima-na-producao-de-biodiesel>. Acesso em: 25 fev. 2022.

CORNÉLIO, J. P. S. Microalgas: uma alternativa sustentável para a produção de biodiesel no Brasil. **Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente**, v. 2, n. 3, p. 52, 2021. DOI: <https://doi.org/10.51189/rema/2074>.

COSTA, A. O. **A inserção do biodiesel na matriz energética nacional**: aspectos socioeconômicos, ambientais e institucionais. 2017. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: http://www.ppe.ufrj.br/images/publicações/doutorado/Angela_Oliveira_da_Costa.pdf. Acesso em: 25 fev. 2022.

DANTAS, J.; LEAL, E.; MAPOSSA, A. B.; SILVA, A. S.; COSTA, A. C. F. M. Síntese, caracterização e performance catalítica de nanoferritas mistas submetidas a reação de transesterificação e esterificação via rota metílica e etílica para biodiesel. **Revista Matéria**, v. 21, n. 4, p. 1080-1093, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1517-707620160004.0099>.

DURÁN, N. P.; TAKAHASHI, J. A.; FORTES, I. C. P. Biomassa liofilizada de *Syncephalastrum racemosum* como um biocatalisador inovador para produção de biodiesel. **Revista Virtual de Química**, v. 11, n. 1, p. 35-49, 2019. Disponível em: <http://static.sites.sbq.org.br/rvq.sbq.org.br/pdf/JaquelineNoPrelo.pdf>. Acesso em: 25 fev. 2022.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2020**. 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2020>. Acesso em: 25 fev. 2022.

FAWZY, M. A.; ALHARTHI, S. Use of response surface methodology in optimization of biomass, lipid productivity and fatty acid profiles of marine microalga *Dunaliella parva* for biodiesel production. **Environmental Technology & Innovation**, v. 22, p. 101485, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101485>.

FREITAS, C. V. M.; SILVA, M. L. P. Mudanças do clima: análise das conferências que trataram do mercado de carbono e seus principais resultados. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 10, p. 75332-75342, 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n10-093>.

GAVILANES, F. Z.; ANDRADE, D. S.; SILVA, H. R.; CRUZATTI, L. G.; PALACIOS, C. C. Avaliação do potencial do uso de pinhão manso para a geração de biocombustíveis. **UNESUM – Ciências. Revista Científica Multidisciplinária**, v. 5, n. 3, p. 33-46, 2021. Disponível em: <http://revistas.unesum.edu.ec/index.php/unesumciencias/article/view/113>. Acesso em: 8 mar. 2022.

HOLANDA, A. **Biodiesel e inclusão social**. Brasília, DF: Câmara dos Deputados, 2004. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/a-camara/estruturaadm/altosestudios/pdf/biodiesel-e-inclusao-social/biodiesel-e-inclusao-social>. Acesso em: 23 fev. 2022.

JARDIM, A. Renovabio: revolução econômica e socioambiental. **Agroanalysis**, v. 37, n. 12, p. 48, 2017. Disponível em: <http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/agroanalysis/article/view/76577>. Acesso em: 10 maio 2020.

JARDINE, J. G.; BARROS, T. D. Craqueamento. **Agência Embrapa de Informação Tecnológica**, 8 dez. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agroenergia/biodiesel/tecnologia/craqueamento>. Acesso em: 25 fev. 2022.

MAIA, R. R. S. **Biodiesel no Brasil**: análise de custo-benefício. Curitiba: Appris, 2015.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos da metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MELLO, B. T. F.; CARDOZO FILHO, L.; SILVA, C. Produção de biodiesel a partir da reação de hidroesterificação **Uningá Review Journal**, v. 35, eRUR3522, 2020. Disponível em: <http://revista.uninga.br/index.php/uningareviews/article/view/3522>. Acesso em: 17 fev. 2022.

OLIVEIRA, A. C. D.; GRAZIANI, A. C.; SHULTZ, C.; MARIANO, A. B. Estimativa das propriedades do biodiesel metílico produzido a partir da pupunha e aspectos biotecnológicos. **Revista Principia – Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB**, João Pessoa, v. 59, n. 1, p. 41-51, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.18265/1517-0306a2021id4353>.

RAMOS, L. P.; SILVA, F. R.; MANGRICH, A. S.; CORDEIRO, C. S. Tecnologias de produção de biodiesel. **Revista Virtual de Química**, v. 3, n. 5, p. 385-405, 2011. Disponível em: <https://rvq-sub.sbjq.org.br/index.php/rvq/article/view/190>. Acesso em: 3 mar. 2022.

RIBEIRO, D. M.; GARCIA, L. C.; CANÇADO, L. J.; WILLIAMS, T. C. R.; RONCARATTI, L. F.; BRASIL, B. S. A. F. Potencial para produção de biodiesel de algas verdes da ordem Chlorellales cultivadas em meio de baixo custo Blue Green Nitrogen Mix (BGNIM). *In*: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA E INOVAÇÃO DE BIODIESEL, 7., 2019, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: Rede Brasileira de Tecnologia e Inovação de Biodiesel, 2019. p. 523-525. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1120288/potencial-para>

[producao-de-biodiesel-de-algas-verdes-da-ordem-chlorellales-cultivadas-em-meio-de-baixo-custo-blue-green-nitrogen-mix-bgnim](#). Acesso em: 25 fev. 2022.

RODRIGUES, L. A. **Inovação no setor de biodiesel: o papel da demanda induzida**. 2016. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/9524>. Acesso em: 20 fev. 2022.

SAMPAIO, R. M.; BONACELLI, M. B. M. Energia, tecnologia e instituições: a produção de biodiesel no Brasil. *In: CONGRESSO LATINO-IBEROAMERICANO DE GESTÃO DA TECNOLOGIA*, 16., 2015, Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre: UFRGS, 2015. Disponível em: <http://altec2015.nitec.co/altec/papers/456.pdf>. Acesso em: 25 fev. 2022.

SANTANA, J. C. S.; RIBEIRO, M. E. O.; SOUZA, P. R. A.; SOUZA, J. P. S.; PERES, S. M. O uso e produção da energia limpa como método de preservação ambiental sustentável. **Epitaya E-books**, v. 1, n. 12, p. 99-111, 2020. DOI: <https://doi.org/10.47879/ed.ep.2020144p99>.

SANTOS, J. S.; MACIEL, M. A. M.; SILVA, A. O. Biofuels: general aspects, technological development and economic viability. **International Journal of Latest Research in Science and Technology**, v. 4, n. 4, p. 8-17, 2015. Disponível em: https://www.mnkjournals.com/journal/ijlrst/pdf/temp/Volume_4_4/10534.pdf. Acesso em: 25 fev. 2022.

SANTOS, L. K.; CALERA, G. C.; STRINGACI, J. C. T.; VILAÇA, S. M.; VIVIANI, V. E.; FLUMIGNAN, D. L. Estado da arte da aplicação do processo de hidroesterificação na produção de biodiesel a partir de matérias-primas de baixa qualidade. **Revista Principia**, João Pessoa, v. 28, p. 178-190, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.18265/1517-03062015v1n28p178-190>.

SILVA, C. C.; POLLI, S. A. O programa nacional de produção e uso do biodiesel - PNPB e a atuação da agricultura familiar. **Brazilian Journal of Health Review**, v. 3, n. 2, p. 3542-3555, 2020. DOI: <https://doi.org/10.34119/bjhrv3n2-184o>.

SILVA, E. C. **A análise do PNPB, com foco no Projeto Polos de Produção de Biodiesel: trajetória e transversalidade de gênero**. 2016. Dissertação (Mestrado em Economia Doméstica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/8344>. Acesso em: 25 fev. 2022.

SILVA, M. E. S. **A política pública do biodiesel e os desafios para a inclusão dos diferentes estilos de agricultura familiar no mercado dos biocombustíveis no Brasil**. 2019. Tese (Doutorado em Sociologia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/201530>. Acesso em: 25 fev. 2022.

SILVA NETO, J. F.; MACHADO, J. S.; MENDES, F.; RIOS, M. A. S.; ASSUNÇÃO, J. C. C.; SILVA, F. F. M.; MACÊDO, A. A. M.; SOUZA, C. F. V. Óleo e azeite de coco babaçu (*Orbignya speciosa* Mart.) como matérias-primas para produção de biodiesel. **Revista ION**, v. 34, n. 2, p. 95-104, 2021. DOI: <https://doi.org/10.18273/revion.v34n2-2021009>.

SUAREZ, P. A. Z.; MENEGHETTI, S. M. P. 70º Aniversário do biodiesel em 2007: evolução histórica e situação atual no Brasil. **Revista Química Nova**, v. 30, n. 8, p. 2068-2071, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422007000800046>.

TAPANES, N. C. O.; ARANDA, D. A. G.; PEREZ, R. S.; CRUZ, Y. R. Biodiesel no Brasil: matérias primas e tecnologias de produção. **Acta Scientiae & Technicae**, v. 1, n. 1, p. 119-125, 2013. DOI: <https://doi.org/10.17648/uezo-ast-v1i1.11>.