

Determinação Espectrométrica dos Teores de Sódio, Potássio, Cálcio, Magnésio, Fósforo e Enxofre em Biodiesel de Soja

Spectrometric Determination of Sodium, Potassium, Calcium, Magnesium, Phosphorus and Sulfur in Soy Biodiesel

Determinación Espectrométrica de Sodio, Potasio, Calcio, Magnesio, Fósforo y Azufre en Biodiésel de Soja

Recebido: 04/07/2022 | Revisado: 18/07/2022 | Aceito: 20/07/2022 | Publicado: 27/07/2022

Tassio Lessa do Nascimento

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5250-314X>
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Brasil
Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil
E-mail: tassio.lessa@ifrn.edu.br

Maria Aparecida Medeiros Maciel

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4799-0609>
Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil
Universidade Potiguar, Brasil
E-mail: mammaciell@hotmail.com

Maria Alexsandra Sousa Rios

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3145-0456>
Universidade Federal do Ceará, Brasil
E-mail: alexandrarios@ufc.br

Luciana Medeiros Bertini

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0208-2233>
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Brasil
E-mail: luciana.bertini@ifrn.edu.br

Jonatas Martins Negreiro

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0013-1791>
Universidade Federal do Ceará, Brasil
E-mail: jonatas-martins@hotmail.com.br

Resumo

O biodiesel é considerado um combustível renovável produzido a partir de óleos vegetais ou gorduras animais, sendo empregado em veículos equipados com motores do ciclo diesel. Esse combustível foi inserido na matriz energética brasileira por meio da lei nº 11.097/05, atribuindo à Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e biocombustível (ANP) as especificações do biodiesel, visando garantir sua qualidade em atendimento aos padrões e normas técnicas. A partir desse fato, esse trabalho teve o objetivo de avaliar os teores de sódio (Na), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), fósforo (P) e enxofre (S), em uma amostra de biodiesel produzida em laboratório. Inicialmente o óleo de soja foi transesterificado e na sequência, foi caracterizado por meio dos parâmetros massa específica a 20 °C e viscosidade cinemática a 40 °C. Após essa etapa iniciou-se as determinações dos teores dos elementos propostos. Para Na e K utilizou-se a técnica de absorção atômica, Mg, Ca e P foram determinados por emissão atômica com plasma indutivamente acoplado e o teor de S por fluorescência de ultravioleta. Os valores de 880 kg/m³, 4,8 mm²/s para massa específica e viscosidade, respectivamente, foram os indícios que comprovaram que os ésteres metílicos foram produzidos. O somatório para o sódio e potássio foi de 1,03 mg/kg, para o cálcio e magnésio foi de 0,22 mg/kg, o teor de fósforo foi de 5,00 mg/kg e o de enxofre 1,67 mg/kg. Todos os resultados indicam que o biodiesel produzido está em conformidade com a resolução ANP nº 45/14 para os parâmetros investigados.

Palavras-chave: Biodiesel; Espectrometria; Especificação do biodiesel; Metais; Não-metais.

Abstract

Biodiesel is considered a renewable fuel produced from vegetable oils or animal fats and is used in vehicles equipped with diesel cycle engines. This fuel was introduced in the Brazilian energy matrix through law 11.097/05, assigning to the National Agency of Petroleum, Natural Gas and Biofuel (ANP) the specifications for biodiesel, aiming to ensure its quality in compliance with technical standards and norms. Based on this fact, this work aimed to evaluate the sodium (Na), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), phosphorus (P), and sulfur (S) contents in a biodiesel sample produced in the laboratory. Initially, the soybean oil was transesterified and then characterized by the parameters specific mass at 20 °C and kinematic viscosity at 40 °C. After this step, the determinations of the proposed

elements began. For Na and K the atomic absorption technique was used, Mg, Ca, and P were determined by atomic emission with inductively coupled plasma and the S content by ultraviolet fluorescence. The values of 880 kg/m³, and 4.8 mm²/s for specific mass and viscosity, respectively, were the evidence that methyl esters were produced. The sum for sodium and potassium was 1.03 mg/kg, for calcium and magnesium was 0.22 mg/kg, phosphorus content was 5.00 mg/kg and sulfur content was 1.67 mg/kg. All the results indicate that the biodiesel produced is in accordance with ANP resolution No 45/14 for the investigated parameters.

Keywords: Biodiesel; Spectrometry; Biodiesel Specification; Metals; Ametals.

Resumen

El biodiésel se considera un combustible renovable producido a partir de aceites vegetales o grasas animales, que se utiliza en vehículos equipados con motores de ciclo diésel. Este combustible fue introducido en la matriz energética brasileña a través de la ley N° 11.097/05, que asigna a la Agencia Nacional de Petróleo, Gas Natural y Biocombustible (ANP) las especificaciones para el biodiésel, con el objetivo de garantizar su calidad en cumplimiento de las normas y estándares técnicos. A partir de este hecho, este trabajo tuvo como objetivo evaluar los contenidos de sodio (Na), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), fósforo (P) y azufre (S) en una muestra de biodiésel producida en el laboratorio. Inicialmente se transesterificó el aceite de soja y luego se caracterizó mediante los parámetros masa específica a 20 °C y viscosidad cinemática a 40 °C. Después de este paso, comenzaron las determinaciones de los elementos propuestos. Para el Na y el K se utilizó la técnica de absorción atómica, el Mg, el Ca y el P se determinaron por emisión atómica con plasma acoplado inductivamente y el contenido de S por fluorescencia ultravioleta. Los valores de 880 kg/m³ y 4,8 mm²/s para la masa específica y la viscosidad, respectivamente, fueron las pruebas que demostraron que se producían ésteres metílicos. La suma de sodio y potasio fue de 1,03 mg/kg, la de calcio y magnesio de 0,22 mg/kg, la de fósforo de 5,00 mg/kg y la de azufre de 1,67 mg/kg. Todos los resultados indican que el biodiésel producido cumple con la resolución de la ANP n° 45/14 para los parámetros investigados.

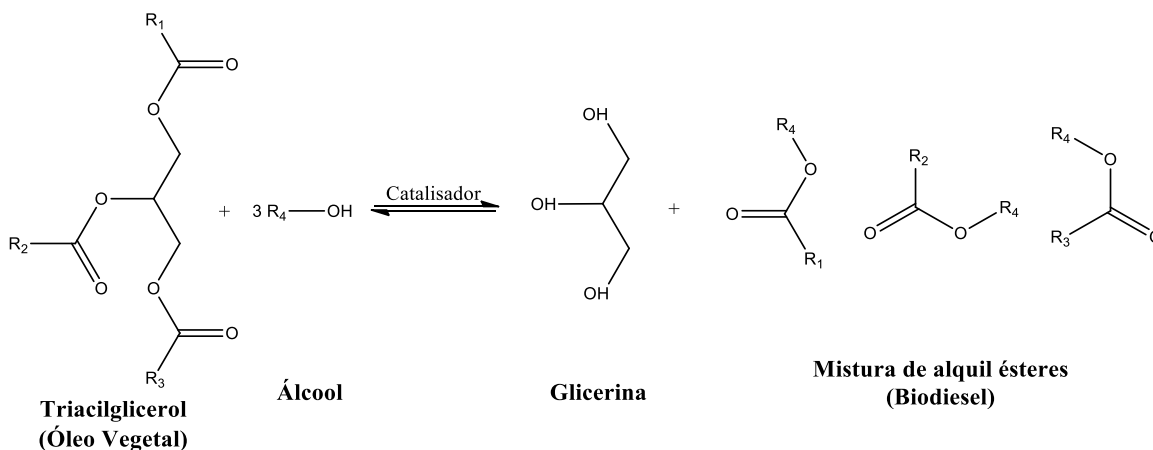
Palabras clave: Biodiésel; Espectrometría; Especificación del biodiesel; Metales; Los no metales.

1. Introdução

A preocupação com o meio ambiente tem-se tornado crescente, principalmente no que diz respeito às fontes de energia, em virtude da exploração dos recursos naturais, a qual vem causando sérios problemas de poluição atmosférica e preservação ambiental. Visando preservar nosso planeta em busca de sustentabilidade, há um interesse sócio governamental para o desenvolvimento de pesquisas que visem a preservação do meio ambiente (Mathew et al., 2021; Queiroz et al., 2021)

Nessa perspectiva surgiu o biodiesel, que se trata de uma mistura de alquil ésteres de cadeia linear proveniente da reação dos triglicerídeos, presentes na composição dos óleos e gorduras, com um álcool de cadeia curta, denominada de reação de transesterificação (Nascimento et al., 2022). Conforme evidenciado na Figura 1, há a geração do biodiesel como produto principal e o glicerol (ou glicerina) como subproduto.

Figura 1. Reação de transesterificação de triglicerídeos.



Fonte: Autores.

Visando garantir a qualidade do biodiesel, faz-se necessário atender aos padrões de qualidade ou normas técnicas, que objetivam fixar valores limites para os parâmetros, os quais foram baseados na normatização do diesel e dos óleos vegetais utilizados na indústria oleoquímica. O primeiro país a propor e aprovar padrões de qualidade para o biodiesel foi a Áustria, a qual estabeleceu parâmetros para os ésteres metílicos de colza. Com a crescente produção desse combustível, outros países estabeleceram padrões de qualidade (Lôbo et al., 2009; Oliveira et al., 2022).

As normas empregadas para padrões de qualidade do biodiesel que servem como referências ou base para estabelecer os padrões de outros países, são as normas elaboradas pela Sociedade Americana de Testes e Materiais (*American Society of Testing and Materials* - ASTM), através da norma americana ASTM D 6751, bem como a norma da União Europeia (EN), através da EN 14214, do Comitê Europeu de Normalização (Comité Européen de Normalisation - CEN) (Cruz et al., 2022).

No Brasil, a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) é o órgão responsável por fiscalizar as atividades relacionadas à produção, controle de qualidade, distribuição, revenda e comercialização do biodiesel e da mistura óleo diesel-biodiesel (BX). Assim, através da Resolução ANP nº 45, de 25 de agosto de 2014 (RANP 45/14), especifica-se os parâmetros de qualidade para o biodiesel (Rodrigues, 2021).

A especificação do biodiesel está diretamente relacionada as estruturas moleculares dos seus ésteres constituintes, da presença de contaminantes oriundo das matérias-primas, do processo produtivo e das condições de estocagem. Assim, informações quanto a matéria-prima, o processo de fabricação e o armazenamento do produto, bem como o desempenho do combustível e da qualidade de suas emissões, podem ser avaliados mediante o atendimento dos parâmetros contidos na Resolução nº45/14 (Lôbo et al., 2009).

Todo controle analítico é realizado através de métodos físico-químicos, cromatográficos e espectrométricos. Nas determinações físico-químicas são quantificadas, por exemplo, os valores para massa específica, viscosidade, ponto de fulgor e entupimento, acidez, umidade e contaminação total. Por cromatografia são determinados os teores de metanol/etanol, ésteres e os mono, di e triglicerídeos. Os metais e não-metais são analisados por espectroscopia.

Nesta perspectiva, a proposta desse trabalho foi quantificar, a partir dos princípios da técnica espectroscópica, os teores de sódio, potássio, cálcio, magnésio, fósforo e enxofre, em amostra de biodiesel de soja produzido em laboratório.

2. Metodologia

2.1 Produção do biodiesel

A produção do biodiesel ocorreu através da reação de transesterificação proposta por Nascimento et al. (2020), em que foi adicionado, em balão de fundo chato, 100 mL do óleo de soja, seguido de sua agitação utilizando-se uma barra magnética sob aquecimento em um banho-maria, até a temperatura de 60 °C. Posteriormente, adicionou-se o catalisador, metóxido de potássio, e esperou-se o tempo de 60 minutos para a ocorrência da reação. O produto reacional foi transferido para um funil de separação, objetivando-se a separação das fases inferior (glicerina) e superior (ésteres metílicos formados - biodiesel). A fase que continha o biodiesel foi lavada com 50 mL de uma solução de ácido clorídrico a 0,5 % (v/v), seguida de uma segunda lavagem com 50 mL de água destilada. Após estes procedimentos, o biodiesel foi seco em estufa à temperatura de 100 °C, por 30 minutos. A caracterização do biodiesel ocorreu por meio da determinação da massa específica a 20 °C e da viscosidade cinemática a 40 °C, realizou-se essas medições tanto para o óleo de soja como para o principal produto reacional, o biodiesel.

2.2 Determinação da massa específica e viscosidade

A massa específica foi determinada utilizando-se um densímetro da Anton Paar, modelo DMA 4500. Foi injetada 2 mL da amostra, com auxílio de uma seringa, no orifício da célula de medição, de tal forma que não houvesse formação de

bolhas no interior do tubo, verificado através do visor na parte frontal. Tal procedimento foi baseado no método da ASTM D 4052- *Standard Test Method for Density, Relative Density, and API Gravity of Liquids by Digital Density Meter*. Já a viscosidade cinemática a 40 °C foi determinada no viscosímetro da Anton Paar, modelo SVM 3000. O procedimento foi baseado no método ASTM D 445- *Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (and Calculation of Dynamic Viscosity)*. Os ensaios foram realizados em triplicata.

2.3 Determinação dos teores de sódio e potássio

Para a determinação dos metais Na e K, usou-se a técnica analítica de Espectrometria de Absorção Atômica (AA), segundo o método ABNT NBR 15556. O equipamento utilizado foi o espectrômetro de AA, da marca Analytik Yena, modelo novAA 300, utilizando a mistura dos gases ar comprimido e acetileno para a queima, com a taxa de aspiração entre 1-2 mL/min. Foi realizada a curva de calibração, a partir de uma solução-padrão em xileno de concentração de 5mg/L para ambos os metais. Foram preparados os seguintes pontos: 0,10, 0,20, 0,30 e 0,40 mg/kg. O branco da análise foi uma solução de concentração 12% m/m de vaselina em xileno. Para cada elemento foi construída uma curva analítica. Para a leitura dos analitos, pesou 1,0 g da amostra e completou até o peso de 10 g com xileno. Os ensaios foram realizados em triplicata.

2.4 Determinação dos teores de cálcio, magnésio e fósforo

Para obtenção dos valores do cálcio, magnésio e fósforo utilizou-se a técnica de espectrometria com emissão ótica com plasma indutivamente acoplado (ICPOES), conforme a norma ABNT NBR 15553. O equipamento utilizado foi um ICP da Perkin Elmer, modelo Optima 2100 DV, com o gás de plasma sendo o argônio de pureza de 99,999%. Foi realizada a curva de calibração a partir da diluição da solução-padrão (10 mg/kg por elemento) nas seguintes concentrações, para o cálcio e magnésio 0,1, 0,5, 1,0 e 5,0 mg/kg, já para o fósforo 0,5, 1,0, 2,0 e 4,0 mg/kg. O branco da análise foi uma solução de concentração 10% m/m de vaselina em xileno. Para a leitura dos analitos, pesou 1,0 g da amostra e completou até o peso de 10 g com xileno. Os ensaios foram realizados em triplicata.

2.5 Determinação do teor de enxofre

O teor de enxofre foi medido através da técnica de fluorescência de ultravioleta, utilizando a norma ASTM D5453 como referência. Foi utilizado um equipamento da Analytik Yena, modelo multi EA3100 e os gases argônio e oxigênio de pureza 99,999%. A curva analítica foi construída a partir de uma solução-padrão de dibenzotiofeno (DBT), de concentração de 1000 mg/kg, utilizando como solvente o tolueno P.A com baixo teor de enxofre. A partir dessa solução foram preparados os seguintes pontos, 100, 10, 5,0, 2,5, 1,0 e 0,5 mg/kg. Para a leitura de cada padrão foram inseridos 20 µL de cada solução. Para a leitura da amostra foi injetada a mesma quantidade, sem nenhum um tipo de diluição.

3. Resultados e Discussão

Na produção do biodiesel, via reação de transesterificação metílica alcalina a 60 °C durante tempo reacional de 30 minutos, foi alcançado elevados rendimentos, conforme quantificação do teor de éster igual a 98,4%. Dentre as análises realizadas para a especificação analítica do biodiesel obtido destacam-se os dados de índice de acidez, teor de sabão, teor de umidade, acidez, ésteres totais, glicerina livre e total que estão em conformidade com a Resolução nº 45/14 da ANP (Nascimento et al., 2020).

A massa específica do biodiesel é definida como a razão entre a massa e o volume desse combustível, em uma determinada temperatura e pressão, e a viscosidade é caracterizada como a resistência ao escoamento. Estas duas grandezas

afetam diretamente o funcionamento do motor do veículo, têm influências no processo de queima, na atomização que ocorre na câmara de combustão e na formação dos sedimentos nas partes internas do equipamento (Hoang, 2021).

O acompanhamento destes parâmetros são indícios que a reação de transesterificação ocorreu, pois, a modificação na estrutura molecular dos componentes do óleo acarreta alterações nessas propriedades (Froehner et al., 2016). Conforme observado na Tabela 01, a massa específica reduziu de 920 para 880 kg/m³, sinalizando que ocorreu um rompimento de algumas ligações que compõem as moléculas dos triglicerídeos, presentes no óleo de soja, originando os ésteres metílicos (biodiesel), que são estruturas menores. Esta modificação molecular também é evidente na diminuição do valor da viscosidade, que reduziu de 53,5 para 4,2 mm²/s. Os valores obtidos para o biodiesel estão em conformidade com a resolução da agência regulamentadora (Tabela 1).

Tabela 1- Valores de massa específica e viscosidade cinemática para o biodiesel de soja.

Parâmetro	Resultados		RANP nº 45/14
	Óleo de Soja	Biodiesel	
Massa específica a 20 °C (kg/m ³)	920	880	850 a 900
Viscosidade cinemática 40 °C (mm ² /s)	53,5	4,2	3,0 a 6,0

Fonte: Autores.

Os teores de sódio (Na), potássio (K), cálcio e magnésio (Mg) são controlados e regulamentados pela ANP, pois são contaminantes provenientes da corrente do processo. O Na e K são, principalmente, oriundos dos catalisadores, enquanto o Ca e Mg podem estar presentes nas águas utilizadas durante o processo, quando essas possuem dureza. Esses metais podem se apresentar no biodiesel como sólidos abrasivos, e acabarem acarretando processos corrosivos nos motores dos veículos, que são abastecidos por esse biocombustível (Gonçalves & Bortoleto, 2021).

Como evidenciado na Tabela 2, os quatros metais analisados ficaram de acordo com a legislação vigente (Resolução ANP nº 45/2014), já que o somatório de Na+K e Ca+Mg apresentaram valores abaixo do máximo permitido, 5 mg/kg. O teor de sódio determinado foi de 1,01 mg/kg, condizente com o processo aplicado para a produção do biodiesel de soja, pois o catalisador foi o metóxido de potássio. Os demais valores para os analitos pesquisados indicaram índices irrelevantes de contaminação.

Tabela 2- Valores de Na, K, Ca e Mg para o biodiesel de soja.

Elemento	Resultados (mg/kg)		RANP nº 45/14 (Somatório, mg/kg)
	Individual	Somatório	
Na	1,01	Na+K 1,03	5 máx.
K	0,02		
Ca	0,03	Ca+Mg 0,22	5 máx.
Mg	0,19		

Fonte: Autores.

O teor de fósforo detectado no biodiesel é originado dos fosfatídeos presentes na matéria-prima utilizada na produção desse combustível. Este elemento químico deve ser removido durante o processo de degomagem do óleo, caso esse tratamento preliminar seja ineficaz, os fosfolipídios participarão da cadeia produtiva do biodiesel, afetando o rendimento da reação e

podendo permanecer no produto acabado. Nessa última condição, proporcionará a formação de gomas, prejudicando o funcionamento do veículo caso venha a ser utilizado como biocombustível (Steinke, 2018).

No presente trabalho, o fósforo quantificado foi 5,0 mg/kg, ficando devidamente enquadrado no nível preconizado pela ANP, que tem o máximo de 10 mg/kg. Isso indica que o insumo utilizado teve um tratamento adequado e não afetou o processo sintético para formação do biodiesel de soja.

O contaminante enxofre é controlado nos combustíveis devido as questões ambientais, e por também afetar o funcionamento dos motores dos veículos. O dióxido de enxofre, que é gerado pela combustão de combustíveis que contém esse elemento, é um dos poluentes responsáveis pela chuva ácida e pode causar algumas doenças respiratórias em humanos. Outro aspecto negativo da presença desse elemento é que, nos motores dos automóveis, pode envenenar os catalisadores, resultando em problemas mecânicos (Silva & Quitella, 2021; Yang et al., 2019).

Apesar da sua origem e composição físico-química, que proporciona baixos valores para o teor enxofre, o biodiesel tem esse parâmetro monitorado pela ANP no valor máximo de 10 mg/kg. O valor encontrado neste estudo foi de 1,0 mg/kg, estando devidamente conforme.

4. Conclusão

A massa específica e a viscosidade foram eficientes para o acompanhamento reacional da produção do biodiesel de soja. Os valores obtidos para esses parâmetros foram determinantes para classificar a mistura de ésteres metílicos como biodiesel.

As determinações dos elementos químicos sódio (Na), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), fósforo (P) e enxofre (S) por métodos espectroscópicos foram satisfatórias. Todos os analitos foram quantificados e seus valores devidamente especificados de acordo com a legislação vigente (RANP nº 45/14).

Referências

- ABNT NBR 15553, Biodiesel - Determinação dos teores de cálcio, magnésio, sódio, fósforo e potássio por espectrometria de emissão ótica com plasma indutivamente acoplado.
- ABNT NBR 15556 Biodiesel - Determinação do teor de sódio, potássio, magnésio e cálcio por espectrometria de absorção atômica
- ASTM D 4052- Standard Test Method for Density, Relative Density, and API Gravity of Liquids by Digital Density Meter
- ASTM D 445- Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (and Calculation of Dynamic Viscosity).
- ASTM D5453-19a, Standard Test Method for Determination of Total Sulfur in Light Hydrocarbons, Spark Ignition Engine Fuel, Diesel Engine Fuel, and Engine Oil by Ultraviolet Fluorescence
- Cruz, D. C. P., Castro, I. F. G., Schwartz, R. L. da C., Campos, A. L. de B. S., Pereira, I. C. C., Vilhena, A. E. G. de., & Martelli, M. C. (2022). Avaliação das propriedades físico-químicas e do desempenho das três gerações de biodiesel através do processo de transesterificação: uma revisão. *Research, Society and Development*, 11(4), e23111427234. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i4.27234>
- Froehner, S., Leithold, J., Fernando, L., & Júnior, L. (2016). Transesterificação De Óleos Vegetais: Caracterização Por Cromatografia Em Camada Delgada E Densidade. In *Quim. Nova* (Vol. 30, Issue 8).
- Gonçalves, V. O., & Bortoleto, G. G. (2021). Determinação de metais em biodiesel: importância e desafios. *Bioenergia Em Revista: Diálogos*, 11(2236–9171), 120–138.
- Hoang, A. T. (2021). Prediction of the density and viscosity of biodiesel and the influence of biodiesel properties on a diesel engine fuel supply system. *Journal of Marine Engineering and Technology*, 20(5), 299–311. <https://doi.org/10.1080/20464177.2018.1532734>
- Lôbo, I. P., Luis, S., Ferreira, C., & Serpa Da Cruz, R. (2009). Biodiesel: Parâmetros De Qualidade E Métodos Analíticos. In *Quim. Nova* (Vol. 32, Issue 6).
- Mathew, G. M., Raina, D., Narisetty, V., Kumar, V., Saran, S., Pugazhendi, A., Sindhu, R., Pandey, A., & Binod, P. (2021). Recent advances in biodiesel production: Challenges and solutions. In *Science of the Total Environment* (Vol. 794). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148751>
- Nascimento, T. L. do, Maciel, M. A. M., Gurgel, H. E. D. S., Rios, M. A. S., & Bertini, L. M. (2022). O biodiesel na matriz energética brasileira: da sua inserção aos dias atuais. *Revista Principia - Divulgação Científica e Tecnológica Do IFPB*. <https://doi.org/10.18265/1517-0306a2021id6316>

Nascimento, T. L., Maciel, M. A. M., Bertini, L. M., & Rios, M. A. de S. (2020). Avaliação do óleo e biodiesel de soja (glycine max) a partir de parâmetros físico-químicos. *Brazilian Journal of Development*, 6(3), 12685–12694. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n3-218>

Oliveira, E. P., Lasmar, D. J., Chaar, J. da S., da Silva, E. L., Lima, E. de Q., de Oliveira, R. P., de Oliveira, E. P., & Polari, L. B. (2022). Impactos da regulamentação da qualidade do Biodiesel para os agentes regulados na Região Norte / Impacts of Biodiesel Quality Regulation for Regulated Agents in the North Region. *Brazilian Journal of Development*, 7(12), 121730–121743. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n12-777>

Queiroz, I. R., Costa, A. S. V. da., Almeida, I. C., Barros, G. F., Alves, W. M., Souza, M. C. de, Franco, M. L., Pompermayer, R. de S., Souza, A. O., & Ferreira, A. C. (2021). O biocombustível no Brasil: potencialidades da cultura do Crambe abyssinica para produção de biodiesel. *Research, Society and Development*, 10(5), e11510514618. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i5.14618>

Resolução ANP Nº 45 DE 25/08/2014 - Dispõe sobre a especificação do biodiesel contida no Regulamento Técnico ANP nº 3 de 2014 e as obrigações quanto ao controle da qualidade a serem atendidas pelos diversos agentes econômicos que comercializam o produto em todo o território nacional. ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.

Rodrigues, A. C. C. (2021). Policy, regulation, development and future of biodiesel industry in Brazil. *Cleaner Engineering and Technology*, 4. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100197>

Silva, H. R. G., & Quitella, C. M. (2021). Estudo Prospectivo das Tecnologias Utilizadas para Redução das Emissões de Poluentes Causadas pelos Veículos a Diesel. *Cadernos De Prospecção*, 14, 1186–1200.

Steinke, G. Síntese Enzimática De Ésteres Metílicos A Partir De Óleo De Soja Bruto. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Fronteira Sul, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos - PPGCTAL, Laranjeiras do Sul, PR, 2018

Yang, Z., Ji, P., Li, Q., Jiang, Y., Zheng, C., Wang, Y., Gao, X., & Lin, R. (2019). Comprehensive understanding of SO₃ effects on synergies among air pollution control devices in ultra-low emission power plants burning high-sulfur coal. *Journal of Cleaner Production*, 239. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118096>