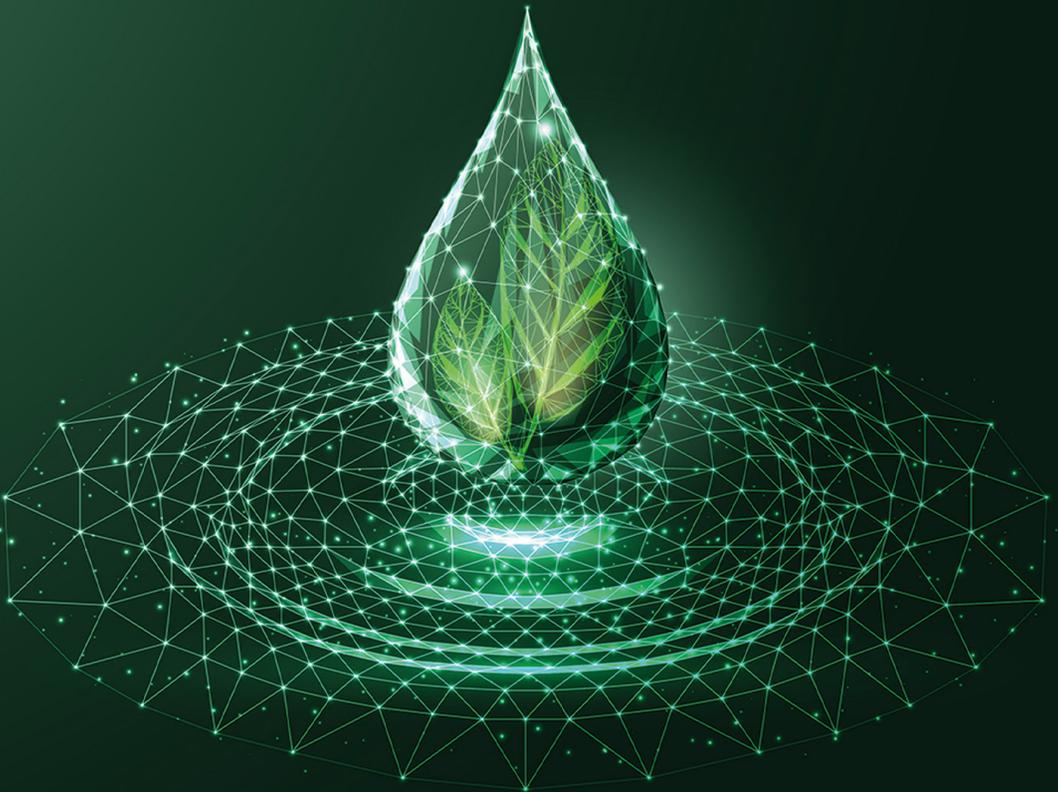


Rafaela Gabriel

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DAS BLENDA DE BIODIESEL DE OURICURI E CHICHÁ E DIESEL DE PETRÓLEO



Rafaela Gabriel

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DAS BLENDDAS DE BIODIESEL DE OURICURI E CHICHÁ E DIESEL DE PETRÓLEO



Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Ellen Andressa Kubisty

Luiza Alves Batista

Nataly Evilin Gayde

Thamires Camili Gayde

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2024 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2024 A autora

Copyright da edição © 2024 Atena

Editora

Direitos para esta edição cedidos à

Atena Editora pela autora.

Open access publication by Atena

Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo do texto e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva da autora, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos a autora, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Colégio Militar Dr. José Aluisio da Silva Luz / Colégio Santa Cruz de Araguaia/TO

Profª Drª Cristina Aledi Felsemburgh – Universidade Federal do Oeste do Pará

Prof. Dr. Diogo Peixoto Cordova – Universidade Federal do Pampa, Campus Caçapava do Sul

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará

Prof. Dr. Fabrício Moraes de Almeida – Universidade Federal de Rondônia

Profª Drª Glécilla Colombelli de Souza Nunes – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Hauster Maximiler Campos de Paula – Universidade Federal de Viçosa

Profª Drª Iara Margolis Ribeiro – Universidade Federal de Pernambuco

Profª Drª Jéssica Barbosa da Silva do Nascimento – Universidade Estadual de Santa Cruz

Profª Drª Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense

Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Leonardo França da Silva – Universidade Federal de Viçosa

Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Marcos Vinicius Winckler Caldeira – Universidade Federal do Espírito Santo

Profª Drª Maria Iaponeide Fernandes Macêdo – Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Profª Drª Maria José de Holanda Leite – Universidade Federal de Alagoas

Profª Drª Mariana Natale Fiorelli Fabiche – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Prof. Dr. Milson dos Santos Barbosa – Universidade Tiradentes

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba

Prof. Dr. Nilzo Ivo Ladwig – Universidade do Extremo Sul Catarinense

Profª Drª Priscila Natasha Kinas – Universidade do Estado de Santa Catarina

Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Rafael Pacheco dos Santos – Universidade do Estado de Santa Catarina

Prof. Dr. Ramiro Picoli Nippes – Universidade Estadual de Maringá

Profª Drª Regina Célia da Silva Barros Allil – Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Avaliação das propriedades físico-químicas das blendas de biodiesel de ouricuri e chichá e diesel de petróleo

Diagramação: Nataly Evilin Gayde
Correção: Jeniffer dos Santos
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: A autora
Autora: Rafaela Gabriel

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)	
G118	<p>Gabriel, Rafaela Avaliação das propriedades físico-químicas das blendas de biodiesel de ouricuri e chichá e diesel de petróleo / Rafaela Gabriel. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2024.</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-258-2832-9 DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.329240609</p> <p>1. Físico-química. 2. Biodiesel. 3. Diesel. I. Gabriel, Rafaela. II. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDD 541</p>
Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DA AUTORA

A autora desta obra: 1. Atesta não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao conteúdo publicado; 2. Declara que participou ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certifica que o texto publicado está completamente isento de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirma a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhece ter informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autoriza a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

Este trabalho oferece uma importante contribuição para o campo dos biocombustíveis, apresentando uma gama de dados essenciais que têm o potencial de influenciar e guiar o desenvolvimento de futuras políticas relacionadas à mistura e uso do biodiesel. Este livro destaca a importância do biodiesel como uma alternativa energética viável e sustentável, sublinhando seus benefícios tanto ambientais quanto econômicos.

Entende-se que as pesquisas desenvolvidas por vários pesquisadores são valiosas para a formulação de regulamentações que assegurem que as misturas de biodiesel e diesel estejam em plena conformidade com os parâmetros rigorosos estabelecidos pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Por isso, esse livro aborda alguns parâmetros necessários para a tomada de decisões, como análise da viscosidade e densidade dos combustíveis. Estes parâmetros são cruciais para garantir a qualidade e a segurança dos combustíveis utilizados em motores de ignição por compressão, especialmente no contexto de uma transição para fontes de energia mais sustentáveis. Os desafios incluem a necessidade de ajustes finos nas propriedades físico-químicas das misturas, que podem variar significativamente dependendo do tipo de biodiesel utilizado e das condições ambientais em que serão aplicados.

Além disso, o livro enfatiza a necessidade de um monitoramento contínuo e detalhado para garantir que as misturas de biodiesel/diesel não só cumpram os requisitos regulatórios, mas também ofereçam um desempenho confiável em uma variedade de cenários operacionais. Dessa forma, este livro não apenas reforça a relevância do biodiesel como uma solução energética do futuro, mas também serve como um alerta para a complexidade dos desafios que ainda precisam ser enfrentados.

A utilização do biodiesel como combustível vem ocorrendo de maneira gradual e progressiva incentivado pelo Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (Lei nº 11.097/05). O biodiesel ou a mistura deste com diesel mineral, podem ser utilizados pois apresentam propriedades físico-químicas muito semelhantes ao óleo diesel e propiciam uma dinâmica aceitável para o processo de combustão. Atualmente, a Lei de Conversão 14/2014 sancionada pela Presidência da República tornou definitivo a adoção do B7 a partir de primeiro de novembro de 2014. A utilização do biodiesel apresenta uma série de vantagens ambientais e econômicas em motores de ignição por compressão (ciclo diesel). Mas, a depender do tipo de biodiesel utilizado, haverá alteração das propriedades físico-química das misturas. Para garantir que as misturas de biodiesel/diesel estejam de acordo com parâmetros físico-químicos citados na Resolução da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), práticas de monitoramento da qualidade vêm sendo adotadas internacionalmente e, através das informações geradas, garantem maior confiabilidade na decisão pela elevação dos teores de biodiesel. Neste estudo, o diesel foi misturado ao biodiesel de ouricuri em diferentes proporções: B0, B20, B40, B60, B80 e B100. Propriedades fundamentais, tais como, a densidade e viscosidade das misturas foram determinadas, com base nas normas ASTM D664 e ASTM D445, respectivamente. Essas propriedades foram determinadas a diferentes temperaturas numa faixa de 10 a 80 °C. Foi observado que a densidade e a viscosidade da mistura aumentam com o aumento do percentual do biodiesel nas misturas. Com relação a influência da temperatura, essas propriedades diminuem com o aumento da temperatura, para todas as misturas de biodieses estudadas. O ponto de névoa e o ponto de fluidez também foram avaliados neste trabalho, uma vez que a cristalização que pode inviabilizar o uso das misturas em temperaturas frias, devido a deposição de ésteres graxos e parafinas no motor, provocando a queda das propriedades de fluxo. As análises estão de acordo com a norma brasileira NBR 11349:1990. Como resultado, obteve-se a não adequação do uso do biodiesel de ouricuri a temperaturas inferiores à 21°C, principalmente nas misturas B60, B80 e B100 as quais contém maior concentração de biodiesel, observando-se a formação de cristais.

PALAVRAS-CHAVE: Blendas biodiesel-diesel, ouricuri, propriedades físico-químicas.

The use of biodiesel as fuel is happening gradually and progressively, encouraged by the National Program of Production and Use of Biodiesel (Law nº 11.097/05). The biodiesel or mixture with mineral diesel can be used because they present physicochemical properties very similar to the oil diesel and they propitiate an acceptable dynamic to the combustion process. Nowadays, the Conversion Law 14/2014 sanctioned by the Presidency of the Republic turned definitive the adoption of B7 from first of november 2014. The use of biodiesel presents a range of economical and environmental advantages in ignition engines by compression (diesel cycle). However, depending of the type of the used biodiesel, it will happen modifications in the physicochemical properties of the mixtures. To ensure that the mixtures of biodiesel/diesel are according to the physicochemical parameters cited in the Resolution of the National Petroleum, Gas Natural and Biofuel Agency, quality monitoring practices are being adopted internationally and, through the generated informations, ensure more strength in the decision by the increase in biodiesel contents. In this study, the diesel was mixed to the ouricuri biodiesel in different proportions: B0, B20, B40, B60, B80 e B100. Fundamental properties, as the density and viscosity of the mixture were determinated, based on the standards ASTM D664 e ASTM D445, respectively. These properties were determinated in different temperatures, to all the biodiesel mixtures studied. The cloud point and pour point were evaluated in this study, once that the crystallization that can derail the use of the mixtures in cold temperatures, due the deposition of paraffins and fatty esters in the engine, causing the fall in the flux properties. The analysis are according to brazilian standard NBR 11349:1990. As result, obtained no adequacy in the use of the ouricuri biodiesel in inferior temperatures to 21°C, especially in the mixtures B60, B80 e B100, that have more biodiesel concentration, observing the crystal formations.

KEYWORDS: Biodiesel – diesel blends, ouricuri, physicochemical properties

ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
ASTM	American Society for Testing and Materials
BHA	AnisoleButilhidroxi
BHT	Butil-hidroxi-tolueno
C	Constante do viscosímetro
LASSOP	Laboratório de Sistemas de Separação e Otimização de Processos
PRG	Propil-galato
PY	Pirogalol
T	Tempo de escoamento (s)
TBHQ	Terc-Butylhydroxyquinone

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS.....	5
2.1 Geral.....	5
2.2 Específicos	5
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
3.1 Biodiesel: conceitos e terminologia.....	6
3.2 Vantagens e desvantagens do biodiesel	7
3.3 Produção de biodiesel	8
3.4 Histórico do biodiesel no Brasil e no mundo.....	10
3.5 Cenário atual do biodiesel (blendas).....	12
4. METODOLOGIA.....	16
4.1 Extração do óleo de chica e de ouricurir	17
4.2 Produção de biodiesel do óleo de ouricuri e de chichá.....	18
4.3 Análise da viscosidade para diferentes misturasde biodiesel – diesel.....	19
4.4 Análise da densidade para diferentes misturas de biodiesel	20
4.5 Análise do ponto de fluidez e do ponto de névoa para diferentes misturas de biodiesel - diesel	21
4.6 Análise do ponto de entupimento a fluxo frio (PEFF) para diferentes blendas de biodiesel/diesel de chichá	21
5. RESULTADOS	23
5.1 Resultados para o biodiesel de ouricuri.....	23
5.1.1Análise da viscosidade.....	24
5.1.2 Analise da densidade	26
5.1.3 Análise do ponto de fluidez e do ponto de névoa.....	28
5.2 Resultados para o biodiesel de chichá	30
5.2.1 Análise da viscosidade	30
5.2.2 Análise da densidade	33
5.2.3 Análise do ponto de entupimento.....	37
CONCLUSÃO	40
REFERÊNCIAS	41
SOBRE A AUTORA	46

INTRODUÇÃO

A crise do petróleo de 1974 impulsionou o mundo a procurar prontamente uma alternativa viável para a substituição total ou parcial do combustível fóssil. Aliados a escassez dos combustíveis de origem fóssil somaram-se os crescentes problemas de poluição e essa preocupação ambiental atingiu diversos setores da sociedade e, inevitavelmente, a indústria. Muitas indústrias tiveram que adaptar suas atividades para o conceito de sustentabilidade. Com esse ajuste da estratégia energética global, a energia renovável verde tornou-se objeto de estudo e desenvolvimento. Foi neste cenário que o biodiesel começou a ser utilizado como um combustível alternativo ao diesel tradicional (DAI; KAO; CHEN, 2017; GABRIEL et al., 2022; HANIS et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2016; VERMA; DWIVEDI; SHARMA, 2017; YELLAPU; KAUR; TYAGI, 2017; ALVES (2019).

A redução de emissões de gases de efeito estufa, a poluição local conjugada a necessidade da diversificação de fontes de energia para o transporte, tem incentivado o uso de combustíveis alternativos limpos para substituir os combustíveis fósseis. Em comparação com o diesel, o biodiesel produz menos emissões de poluentes nocivos. (PEITER *et al.* 2020; JIANG *et al.* 2011; PIDOL *et al.* 2012).

Uma das rotas para produção do biodiesel é a reação de transesterificação, por meio desse processo químico é possível converter os triglicerídeos presentes nos óleos e gorduras em ésteres de biodiesel e glicerina, utilizando um álcool de cadeia curta e um catalisador, sendo este o processo mais utilizado na atualidade (GABRIEL et al., 2020; HANIS et al., 2016; VERMA; DWIVEDI; SHARMA, 2017; VERMA; SHARMA, 2016; ZHOU et al., 2017).

Na matriz energética brasileira a utilização do biodiesel como combustível vem ocorrendo de maneira gradual e progressiva incentivado pelo Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (Lei n° 11.097/05). Em cumprimento da legislação, atualmente vem sendo utilizadas misturas de diesel/biodiesel com o objetivo de diminuir as emissões de dióxido de carbono. O biodiesel pode ser usado em qualquer mistura com gásóleo por ter características físico-químicas semelhantes às do diesel de petróleo, (DEMIBRAS, 2003). A porcentagem de biodiesel presente no diesel é adequadamente designada como “misturas de biodiesel”, atualmente no Brasil o diesel já é comercializado a mistura B7, que está de acordo com Projeto de Lei de Conversão 14/2014, decorrente da Medida Provisória 647/2014 (FERNANDES et al. 2011; SOUZA et al. 2013; GABRIEL et al., 2022).

Esse processo de mistura, em qualquer proporção é possível e recomendado, a fim de melhorar a qualidade do combustível e por isso tem sido amplamente estudado. No entanto, a mistura biodiesel / diesel é uma mistura muito complexa. Estão presentes no biodiesel compostos de ésteres, glicerídeos, pigmentos e antioxidantes. Os compostos no diesel são naftênicos, parafínicos e aromáticos, em diferentes proporções. As misturas desses compostos provocam diferenças nas propriedades físico-químicas e dessa forma

os parâmetros de qualidade do biodiesel são importantes para os usuários finais, pois podem afetar o desempenho do motor e as emissões de poluentes. Devido à mistura, várias alterações podem ser percebidas, tais como: viscosidade, ponto de fluidez, ponto de nevoa, densidade, número de cetano, cor, calor de combustão, teor de enxofre, volatilidade, estabilidade à oxidação, lubrificidade e turbidez (CAIRES *et al.* 2012; KOZAK *et al.* 2013; ZARSKA *et al.* 2014).

No Brasil, a ANP é o órgão responsável pela definição de padrões para a certificação da qualidade do biodiesel, com o objetivo de estabelecer os limites permitidos de contaminantes, que causam danos para o desempenho do processo de combustão em motores e conteúdo de gases tóxicos emitidos (FERNANDES *et al.* 2011; SOUZA *et al.* 2013).

A viscosidade cinemática e densidade são uns dos parâmetros exigidos pelas normas de biodiesel e diesel, por serem propriedades-chave do combustível para motores movidos à diesel. São capazes de afetar o início da injeção, a pressão de injeção, e a característica de pulverização de combustível, de modo que estas propriedades influenciam as emissões de desempenho do motor de combustão e gases de escape. Altas viscosidades e densidades também causam mais problemas em tempo frio, pois elas aumentam com a diminuição da temperatura (HOEKMAN *et al.* 2012).

Em baixas temperaturas, o biodiesel e suas misturas com óleo diesel derivado de petróleo, apresentam a deposição de ésteres graxos e parafinas durante o armazenamento, transporte e sua utilização, ocasionando queda das propriedades de fluxo, um dos problemas graves e conhecidos de longa data na indústria do petróleo. A baixas temperaturas ocorre a formação de núcleos de cristais parafínicos, visíveis a olho nu. A temperatura em que os cristais se tornam visíveis é definida como ponto de névoa. Nas temperaturas abaixo do ponto de névoa, o crescimento cristalino e a aglomeração continuam até que os cristais fiquem grandes o bastante para restringir ou impedir o fluxo livre dos combustíveis nas tubulações e nos filtros. Essa propriedade é conhecida como ponto de fluidez do biodiesel que é definido como a mais baixa temperatura em que o líquido escoar livremente. A tendência à solidificação está relacionada com a matéria-prima que deu origem ao biodiesel, e à sua composição. O ponto de fluidez e o ponto de névoa são usados para caracterizar a operacionalidade do escoamento de combustível em baixas temperaturas, porque afeta o emprego do combustível, especialmente em condições de clima frio. (ZARSKA *et al.* 2014; MENG *et al.* 2014, HOEKMAN *et al.* 2012),

Dessa forma, o controle de qualidade de biodiesel exerce grande importância para a comercialização desse combustível e suas misturas. Neste contexto, é importante conhecer as propriedades físico-químicas das misturas biodiesel/diesel, a fim de verificar se o combustível satisfaz as especificações da norma.

Para contornar os problemas de emissões de gases de efeito estufa e da poluição gerada pela utilização de combustíveis derivados do petróleo, vários países implementaram

a utilização de misturas de diesel / biodiesel. Em comparação com o diesel, o biodiesel produz menos emissões de poluentes nocivos. Além disso, tem lubrificação melhorada, menor toxicidade, maior ponto de fulgor e biodegradabilidade melhorada segundo os autores (NAZARIO, 2014; SOUZA *et al.* 2013; PIDOL *et al.* 2012).

Abreu *et al.* (2010), ao estudar a otimização da reação de síntese biodiesel, por rota etílica, com um planejamento 2³ saturado de Plackett e Burman quantificaram os efeitos das variáveis apontadas pelo planejamento saturado. Os parâmetros adotados foram os seguintes: concentração de catalisador (1% - 2%); tempo de reação (45min – 90min); razão molar álcool- óleo (6:1 – 8:1) e temperatura (27°C – 60°C). Constataram que o melhor rendimento da reação de transesterificação obtido foi de 92,2%.

A literatura aponta que o uso de misturas de biodiesel-diesel pode ocasionar mudanças na propriedades físico-químicas do combustível. Nesta perspectiva, o estudo das propriedades termodinâmicas de biodiesel misturado ao diesel de petróleo torna-se crucial uma vez que fornecem informações estratégicas que permitem estabelecer padrões de qualidade que evitem prejudicar a qualidade das emissões da queima, desempenho e a integridade do motor, assim como a segurança no transporte e manuseio do biodiesel, de modo que suas propriedades estejam em conformidade com as normas regulamentadas pela ANP (SOUZA *et al.* 2013; FERNANDES *et al.* 2011; CAÍRES *et al.* 2014; CHHETTI *et al.* 2012; RAMIREZ *et al.* 2013).

Existe, atualmente, uma série de pesquisas e testes voltados à utilização das blends de biodiesel/diesel no Brasil e no mundo, como Freitas *et al.* (2014); Fernandes *et al.* (2011); Caires *et al.* (2012).

Saxena *et al.* (2013), realizaram uma previsão das propriedades do biodiesel e suas misturas com diesel mineral. Para prever as propriedades de biodiesel, vários modelos foram desenvolvidos utilizando vários óleos e misturas de biodiesel e diesel, foi observado que a qualidade do biodiesel e das suas propriedades físico-químicas dependem do tipo de óleo que origina o biodiesel e da quantidade de biodiesel na mistura de diesel - biodiesel.

Silva *et al.* (2011), realizaram um estudo com as blends de biodiesel e diesel: B2, B5, B10, B20, B50 e B75, que foram preparadas com base no volume. As propriedades fundamentais do combustível, tais como a viscosidade e densidade das misturas foram medidas pelos métodos de teste ASTM D664 e ASTM D445, respectivamente. Equações generalizadas para predição da densidade e viscosidades para as misturas foram dadas e uma equação de mistura, originalmente proposto por Arrhenius e descrito por Grunberg e Nissan, foi utilizado para prever as viscosidades das misturas. Para todas as misturas, verificou-se que há uma excelente concordância entre os valores medidos e estimados da densidade e viscosidades. De acordo com os resultados, a densidade e a viscosidade das misturas aumentaram com o aumento da concentração de biodiesel na mistura combustível.

Pontes *et al.* (2010), estudaram o comportamento do biodiesel de óleo de peixe via rota metílica e suas respectivas blends biodiesel/diesel em temperaturas baixas nas

proporções de 5, 10, 15, 20, 25 e 50 % de biodiesel. Realizaram ensaios de ponto de névoa, fluidez e viscosidade. Observaram que quedas bruscas na temperatura ambiente são responsáveis pelo aumento da viscosidade e pela cristalização de ésteres graxos saturados presentes no biodiesel, que, possivelmente, poderão interferir no funcionamento do moto.

Joshi *et al.* (2014), verificaram que a oxidação dos ésteres durante o armazenamento a longo prazo pode conduzir a problemas de utilização de biodiesel no motor diretamente. Portanto, a adição de aditivos é necessária para proteger a oxidação do biodiesel. Investigaram o efeito dos aditivos antioxidantes sobre a estabilidade de oxidação do biodiesel puro de canola e as suas misturas com diesel. Várias misturas diesel-biodiesel (B5, B10, B15, B20, B25 e B40) foram preparadas. Os aditivos antioxidantes, Anisole Butilhidroxi (BHA), butil-hidroxi-tolueno (BHT), terc-Butylhydroxyquinone (TBHQ), propil-galato (PRG) e Pirogalol (PY) foram selecionados para este estudo. Verificaram que uma melhoria significativa na estabilidade à oxidação, bem como da densidade e viscosidade cinemática das misturas diesel-biodiesel foi observada com todos os antioxidantes estudados.

Dantas (2010), analisou as blends de biodiesel etílico de soja e de mamona *in natura* e em diferentes condições de armazenamento, e verificaram que as misturas apresentam-se promissoras quanto à correção das propriedades de fluxo e estabilidade oxidativa. Blendas com proporções de até 30 e 57% mostraram-se dentro do limite estabelecido pela ANP para viscosidade cinemática e densidade, respectivamente. As condições e o tempo de armazenamento de 120 dias provocaram variações decrescentes no período de indução e crescentes no índice de acidez, teor de água e viscosidade cinemática, sendo mais evidenciado para as amostras armazenadas na presença de luz. Durante o armazenamento de 120 dias, a densidade, o ponto de entupimento de filtro a frio, ponto de névoa e fluidez praticamente não foram afetados, havendo apenas um leve aumento mais acentuado para as amostras armazenadas na presença de luz.

Diante disto, neste trabalho foram preparadas misturas de biodiesel adicionado ao diesel de petróleo. Avaliou-se a viscosidade e a densidade, pelas normas ASTM D445 e ASTM D664, respectivamente, ponto de fluidez e do ponto de névoa pela norma brasileira NBR 11349:1990 das misturas diesel/biodiesel: B0, B20, B40, B60, B80 e B100 para o biodiesel produzido a partir do óleo de ouricuri caracterizados a partir da determinação dos parâmetros físico-químicos citados na Resolução da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), visando avaliar se as misturas estão em conformidade com esta norma.

OBJETIVOS

2.1 GERAL

Determinação da viscosidade, densidade, ponto de fluidez e ponto de névoa para biodieseis etílico de ouricuri e de chichá e das misturas do biodiesel com diesel mineral a diferentes temperaturas.

2.2 ESPECÍFICOS

1. Produção do biodiesel etílico do óleo de ouricuri e de chichá através da reação de transesterificação alcalina;
2. Preparação das misturas biodiesel-diesel (B0, B20, B40, B60 e B100);
3. Estudo de diferentes misturas (*blendas*) de biodiesel e diesel mineral;
4. Determinação de viscosidade, densidade, ponto de fluidez e do ponto de névoa das misturas de biodiesel-diesel;
5. Avaliação do efeito da temperatura com relação a viscosidade e densidade para diferentes misturas de biodiesel e diesel;
6. Obtenção das curvas de viscosidade e densidade para os biodieseis de Ouricuri e de chichá.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 BIODIESEL: CONCEITOS E TERMINOLOGIA

O esgotamento dos recursos de combustíveis fósseis, as alterações causadas pela degradação ambiental local, associada à produção e o alto consumo de combustíveis fósseis estão entre os mais significativos desafios que o mundo enfrenta. Na expectativa de diminuir o impacto ambiental causado pela emissão de poluentes gasosos dos combustíveis fósseis, pesquisas têm sido estimuladas para viabilização de fontes de energia alternativas e economicamente viáveis. O biodiesel é a alternativa mais promissora para a substituição total ou parcial do diesel a base de petróleo, devido aos seus benefícios ambientais (LEI et al., 2016).

Expedito José de Sá Parente, o pioneiro na produção de biodiesel no Brasil, em seu livro definiu biodiesel como sendo:

Um combustível renovável, biodegradável e ambientalmente correto, sucedâneo ao óleo diesel mineral, constituído de uma mistura de ésteres metílicos ou etílicos de ácidos graxos, obtidos da reação de transesterificação de qualquer triglicerídeo com um álcool de cadeia curta, metanol ou etanol, respectivamente (PARENTE, 2003, p. 13).

Ramos et. al. (2011), definem o biodiesel como “um substituto natural do diesel de petróleo que pode ser produzido pela alcoólise de óleos vegetais e/ou gorduras animais ou pela esterificação de ácidos graxos”.

A Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) define o biodiesel como “combustível para motores a combustão interna com ignição por compressão, renovável e biodegradável, derivado de óleos vegetais ou de gorduras animais, que possa substituir parcial ou totalmente o óleo diesel de origem fóssil.”

É oportuno salientar que não há uma grande diferenciação conceitual entre os autores para o biodiesel, mesmo em citações mais antigas. Sendo, portanto, o biodiesel um termo genérico que se refere aos vários mono-ésteres de ácidos graxos que podem ser usados como combustível diesel. Quimicamente, é um éster monoalquílico de ácidos graxos derivados de óleos ou gorduras, de ocorrência natural, produzido através da reação de transesterificação de triacilgliceróis com etanol ou metanol, na presença de um catalisador ácido ou básico (SCHUCHARDT; SERCHELI; VARGAS, 2004; JUNG; KITTELSON; ZACHARIAH, 2006).

3.2 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO BIODIESEL

O biodiesel tornou-se um substituto atraente ao combustível diesel, devido às suas vantagens ambientais e por isso muitas pesquisas direcionadas ao estudo da emissão de poluentes atmosféricos a partir do biodiesel. A Agência de Proteção Ambiental dos EUA (EPA) fez uma análise abrangente dos impactos do biodiesel sobre as emissões de gases de escape e constatou que o biodiesel puro pode reduzir significativamente 70% de hidrocarbonetos (HC), e cerca de 50% das emissões de materiais particulados e de monóxido de carbono (CO) (ROY et al., 2016).

Gonca; Dobrucali, (2016) listaram uma série de vantagens do biodiesel sobre o combustível diesel, e afirmaram que além da sua renovabilidade, os biodieseis possuem baixos níveis de enxofre e conteúdo aromático, maior ponto de fulgor, maior número de cetano e maior biodegradabilidade e não toxicidade.

Outras vantagens para a utilização do biodiesel devem-se a maior segurança de transporte e armazenamento devido a sua maior temperatura de ponto de inflamação, sendo, portanto, menos volátil; diminui a dependência de fornecimento de combustíveis estrangeiros uma vez que pode ser produzido com matérias-primas renováveis nacionais e melhora a lubrificidade o que resulta em maior vida útil do componente do motor. Logo, o conjunto destas propriedades do biodiesel tornam-no um combustível aceitável para motores movidos à diesel (GÜLÜM; BILGIN, 2016).

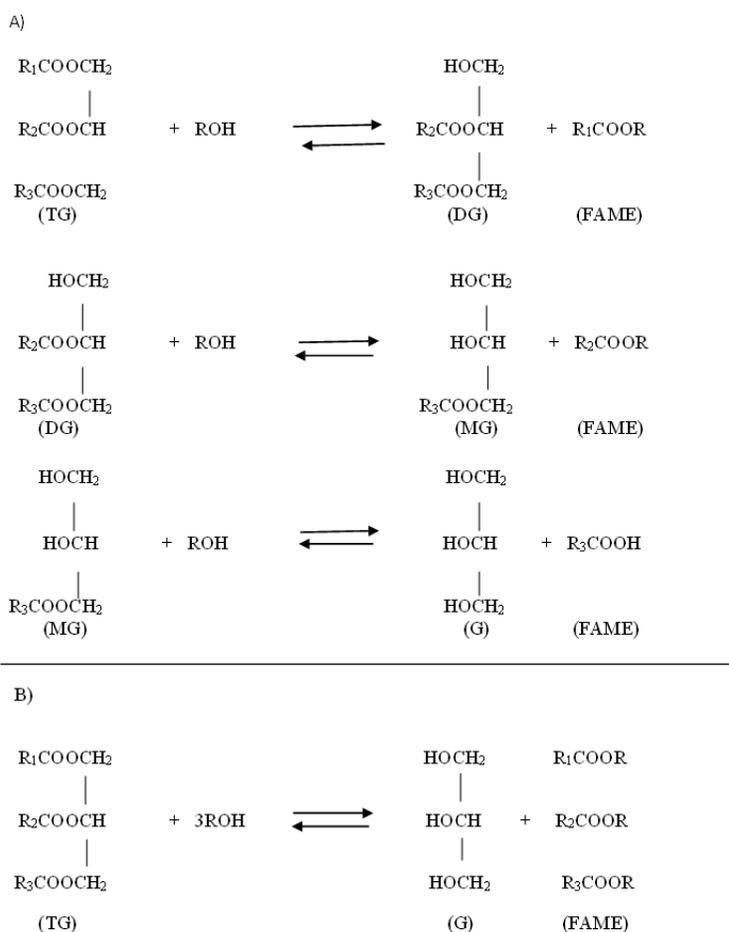
Por outro lado Gonca; Dobrucali, (2016) e Gülüm; bilgin, (2015) destacam que as desvantagens incluem maior viscosidade cinemática, maior ponto de fluidez, menor poder calorífico, menor volatilidade e maiores emissões de óxidos de nitrogênio. Além disso, podem causar a corrosão de componentes, atacando alguns materiais plásticos utilizados para vedações, mangueiras, tintas e revestimento. Eles mostram maior diluição e polimerização do óleo do cárter do motor, exigindo, assim, mudanças de óleo mais frequentes.

O fator econômico é outra barreira para a utilização do biodiesel que é geralmente mais caro que o combustível diesel em cerca de 10 a 50 %, principalmente devido ao custo do esmagamento das sementes para obtenção de óleos vegetais virgens. Portanto, o alto custo do biodiesel ainda é um dos principais obstáculos para a sua comercialização. No Brasil há uma tendência que o biodiesel se torne competitivo com óleo diesel em virtude da sua grande vocação agrícola e das suas vantagens naturais que são favoráveis a produção de biodiesel a partir da biomassa (ALPTEKIN; CANAKCI, 2008; GÜLÜM; BILGIN, 2016).

3.3 PRODUÇÃO DE BIODIESEL

Convencionalmente, o biodiesel é produzido por uma reação química denominada transesterificação, que envolve uma fonte de triacilglicerídeos que varia amplamente, incluindo: gorduras animais, óleos vegetais, resíduos de óleo de cozinha, óleo de microalgas e óleo fúngico; um álcool de cadeia curta e um catalisador, produzindo uma mistura de ésteres alquílicos de ácidos graxos de cadeia longa (biodiesel) e como glicerol, como subproduto. Há outros métodos disponíveis para a produção de biodiesel fortemente consolidados e difundidos pela literatura que utilizam processos não-catalíticos e catalíticos, com catalisadores básicos ou ácidos (ácido sulfúrico, fosfórico e ácidos sulfônicos orgânicos) e/ou enzimáticos (lipases), homogêneos ou heterogêneos, com biocatalisadores e com líquidos iônicos. A Figura 1 representa a reação de transesterificação geral e as etapas para a formação do biodiesel (PATEL; SANKHAVARA, 2016; TANG et al., 2016; VERMA; DWIVEDI; SHARMA, 2017).

Figura 2 - Esquema geral da reação de transesterificação.



A transesterificação compreende três reações reversíveis e consecutivas que são, cada uma com um ácido graxo ligado na esterificação do glicerol. No primeiro passo o triglicerídeo (TG) reage com uma molécula de álcool formando o diglicerídeo (DG) e a primeira molécula de éster, que são liberados na mistura reacional. Na segunda etapa há a conversão de DG, formado na primeira etapa, para monoglicerídeos (MG) e a formação de uma segunda molécula de éster. E por último, na terceira etapa, o monoglicerídeo formado na segunda etapa reage com mais uma molécula de álcool, e esta última reação produz uma molécula de éster e uma molécula de glicerol. Os produtos principais e em maior quantidade são ésteres de ácidos graxos (biodiesel) e glicerol, sendo os diglicerídeos e os monoaglicerídeos produtos intermediários. Depois da transesterificação dos triglicerídeos, os produtos podem ser uma mistura de ésteres, glicerol, álcool, catalisador, triglicerídeos, diglicerídeos e monoglicerídeos (MENDONÇA, 2008). A estequiometria da reação requer três mols de mono-álcool para cada mol de triglicerídeo. Contudo, a reversibilidade das reações da seção A exige um excesso de álcool no meio reacional para promover um aumento no rendimento dos produtos. Esta reação é reversível e necessita de um álcool para que haja o equilíbrio da produção de produtos, ésteres metílicos ou etílicos (TRAN; CHANG; LEE, 2017).

Segundo Ferella et al. (2010), a conversão de óleo bruto para a forma de éster é normalmente realizada para reduzir a viscosidade cinemática do óleo e eliminar problemas que surgem durante seu uso em motores a diesel. A transesterificação de óleos vegetais assume importância estratégica para o setor energético, uma vez que os ésteres produzidos a partir de óleos vegetais e alcoóis modificam as propriedades originais do óleo adequando-o ao uso em motores diesel e tornando-os potenciais substitutos do óleo diesel mineral.

A literatura aponta que a reação de transesterificação sofre os efeitos das variações químicas: tipo de álcool, proporções necessárias de álcool, tipo de catalisadores, quantidade de catalisador, temperatura e tempo da reação. A otimização desses fatores é importante durante o processo de produção de biodiesel, a fim de maximizar o rendimento de biodiesel, e, portanto, minimizar os custos operacionais da produção. O processo de otimização, pode ser aliado ao planejamento experimental e metodologia de superfície de resposta para determinar as condições favoráveis de operação, visando uma maior conversão de ésteres de forma a favorecer uma elevada taxa em rendimento da reação (BARRETO, 2010).

Reyna-Villanueva et al., (2019) realizaram o estudo da produção de biodiesel a partir do óleo de girassol, empregando planejamento experimental com os parâmetros: concentração do catalisador (1,0, 2,5 e 4,0%) e razão óleo/metanol (1:4, 1:14 e 1:24), tendo como variável de resposta o conteúdo de FAME, considerando o tempo de 60 min. Foi gerado um modelo de segunda ordem que considerou os efeitos lineares, quadráticos e de interação das variáveis. Os parâmetros otimizados para a reação química foram: proporção molar 1: 23 de óleo/metanol; 3,5 % em peso de catalisado; temperatura de 65 ° C por 1 h, resultando em uma conversão máxima de éster de 98,59 % em peso.

3.4 HISTÓRICO DO BODIESEL NO BRASIL E NO MUNDO

Mesmo com advento dos motores movidos a ciclo diesel, já existia na época a previsão de que o futuro para sua continuidade se daria por meio da utilização de combustíveis provenientes da biomassa. Seu próprio criador Rudolf Diesel durante a Exposição Mundial ocorrida em Paris, em 1900 demonstrou seu invento utilizando óleo de amendoim *in natura*. No entanto o óleo vegetal utilizado *in natura* em motores deixa depósitos de carbono nos cilindros e nos injetores, requerendo uma manutenção intensiva e comprometendo a durabilidade do motor. Só houve avanços na perspectiva do uso de combustíveis derivados da biomassa quando se percebeu que “a remoção” da glicerina da molécula original de óleo vegetal gerava um combustível muito mais apropriado para os motores do tipo diesel e tornava o combustível com características físico-químicas semelhantes ao diesel de origem fóssil (NOGUEIRA, 2010; CAVALCANTE, 2010).

Em 1853, muitos anos antes do primeiro motor a diesel se tornar funcional, os cientistas E. Duffy e Patrick já conduziam estudos de transesterificação de óleos vegetais. Mas efetivamente, o processo de transesterificação foi realmente descoberto pelo belga George de Chavanne ao realizar a conversão do óleo bruto em biodiesel num laboratório na Universidade de Bruxelas. A descoberta foi patenteada na Bélgica em 1937, e logo ganhou aplicação prática, sendo em 1938 empregado para movimentar os ônibus de uma linha entre as cidades de Bruxelas e Louvain (NOGUEIRA, 2010).

Quando eclodiu a Segunda Guerra Mundial, o uso do biodiesel ganhou destaque frente aos combustíveis de origem fóssil e passou a ser utilizado como combustível de emergência, as indústrias de produção de óleo no entanto, não conseguiram acompanhar a crescente demanda e também não possuíam base tecnológica adequada para a produção, com isso, ao final da Guerra houve descontinuidade do uso de óleo vegetais provocada, principalmente, pelo baixo custo do óleo diesel de fonte mineral, por alterações políticas no governo francês, incentivador inicial, e por razões técnicas e econômicas, as pesquisas para o uso do biodiesel foram temporariamente abandonadas. Contudo, a utilização do óleo vegetal como combustível deixou um importante legado no meio científico abrindo caminhos para muitas pesquisas sobre a temática. Países como os EUA, a Alemanha e a Índia deram sequência a pesquisas com óleos vegetais e atualmente desfrutam de importantes posições mundiais como referência no uso de óleos vegetais como combustíveis (VULTOS, 2012; NOGUEIRA, 2010).

Os investimentos em desenvolvimento de tecnologias alternativas de energia foram retomados em 1973 com a crise do petróleo forçando os cientistas e o governo a procurar uma alternativa viável para a escassez dos combustíveis derivados do combustível fóssil. A política dos maiores produtores mundiais de petróleo unidos, a Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP), reduziu a produção mundial e aumentou freneticamente os preços do diesel, fazendo com que os países dessem incentivo as pesquisas de

combustíveis renováveis. Aumentaram nessa época e nos anos seguintes, as pesquisas sobre combustíveis alternativos e programas para a sua produção. Em 1980, justamente quando essa busca se intensificava, foi registrado o primeiro uso na história da palavra “biodiesel”. O termo teria aparecido num trabalho chinês de 1988, sendo citado novamente em 1991 e a partir daí se disseminado pelo mundo (VULTOS, 2014; PINHO; SUAREZ, 2017).

Foi nesse contexto que a trajetória do biodiesel no Brasil começou a ser delineada e o Brasil também começou a investir em pesquisas com combustíveis de origem renovável. O primeiro grande produto dessa busca seria o etanol, tema de estudo do Pró-Álcool e o segundo, o biodiesel tema de estudos do Instituto Nacional de Tecnologia que ganhou destaque em meados de 1970, com a criação do Pró-óleo – Plano de Produção de Óleos Vegetais para Fins Energéticos. Dez anos mais tarde, em 1980 o programa agora intitulado como Programa Nacional de Óleos Vegetais para Fins Energéticos, pela Resolução nº 7 do Conselho Nacional de Energia, buscava promover a substituição de até 30% de óleo diesel apoiado na produção de soja, amendoim, colza e girassol. Nesta época também, começaram a aparecer os primeiros trabalhos científicos, a Universidade Federal do Ceará lançou uma patente para fabricação de biodiesel, pelo pesquisador e engenheiro químico Expedito José de Sá Parente, o que foi denominado na época de “prodiesel”. Nos anos seguintes, com a estabilização dos preços do petróleo e com a entrada do Proálcool, juntamente com o alto custo da produção e esmagamento das oleaginosas, as pesquisas foram descontinuadas no Brasil (SALLETE; ALVIM, 2011; CAVALCANTE, 2010).

Em 2002, surgiram novamente às discussões para se implantar a produção de um substituto para o petróleo, mas foi só em de 24 de novembro de 2004 que foi criada a primeira regulamentação do biodiesel puro (B100) pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), a Resolução ANP 42. Esta resolução reconhece o biodiesel como uma mistura de ésteres alquílicos de ácidos graxos de óleos ou gordura animal, com 27 parâmetros de qualidade e permitiu o uso de qualquer tecnologia para a produção de biodiesel e qualquer matéria-prima. Mas o biodiesel só foi inserido no mercado brasileiro anos mais tarde através do Programa Brasileiro de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB), regulamentado pela lei 11.097 de 13 de janeiro, 2005. De acordo com a lei, o uso de diesel/biodiesel inicialmente era opcional até 2% v/v (B2). e posteriormente aumentou e tornou a utilização obrigatória de 5% v/v (B5) (PINHO et al., 2014).

3.5 CENÁRIO ATUAL DO BIODIESEL (BLENDAS)

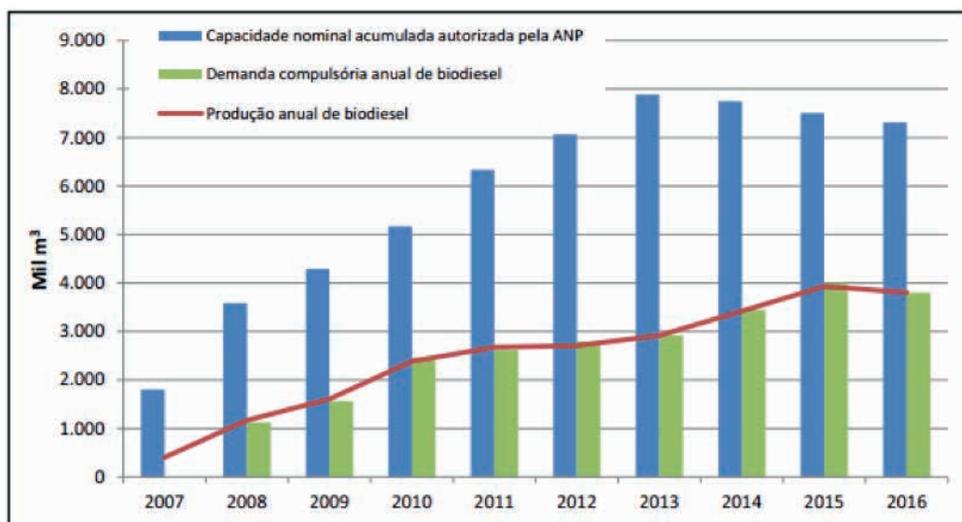
A introdução do biodiesel na matriz energética brasileira, vem ocorrendo de maneira gradual e progressiva incentivado pelo Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel de acordo com a Lei nº 11.097/2005. A primeira fase dessa utilização se deu em caráter experimental no teor de 2 % (v/v) adicionado ao diesel de petróleo e a comercialização da mistura de biodiesel/diesel era facultativa. A obrigatoriedade veio com a aplicação da Lei nº 11.097/2005 que estipulava a mistura legalmente obrigatória de 2% (B2), em todo o território nacional a partir de janeiro de 2008 (ANP, 2017; SOUZA et al. 2013; FERNANDES et al. 2011).

Com o amadurecimento do mercado brasileiro e grande aceitação do novo combustível, esse percentual foi sucessivamente aumentado e em cumprimento da legislação vigente (Lei nº 13.033/2014), atualmente o biodiesel vem sendo comercializado em misturas de diesel/biodiesel a 8 % (v/v) deste de março de 2017 que representa uma produção anual média de cerca de 3.720.272 m³/ano de acordo de acordo com dados fornecidos pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Combustível (ANP).

A Lei nº 13.033/2014 foi alterada pela Lei nº 13.263/2016 que traçou um novo cronograma de aumento do teor de biodiesel no combustível a partir de 2017, estipulando o percentual de 8 % em 2017, 9 % em 2018 e 10 % em 2019.

Existe, atualmente, uma série de pesquisas e testes voltados à utilização das *blendas* de biodiesel/diesel no Brasil e no mundo (FERNANDES et al. 2011; CAIRES; LIMA; OLIVEIRA, 2012). A Figura 2 fornece dados da produção, demanda e capacidade ano a ano do biodiesel deste a implantação da Lei nº 11.097/2005.

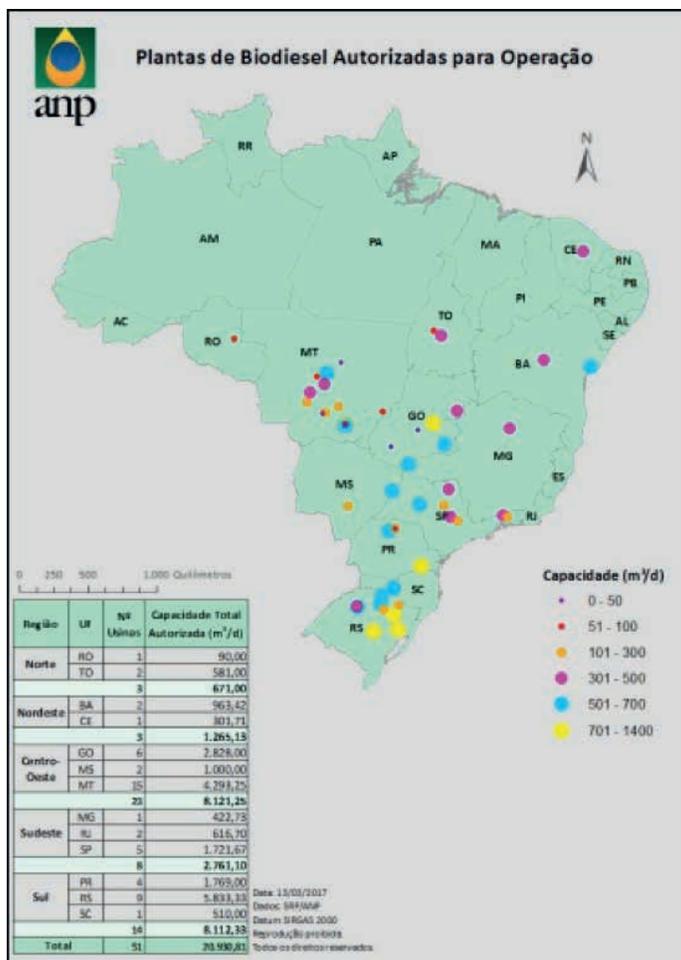
Figura 2 – Produção, demanda e capacidade de produção de biodiesel.



Fonte: ANP (2017).

Com a obrigatoriedade da adoção das misturas de biodiesel/diesel, a produção e a necessidade da utilização do biocombustível teve um aumento progressivo, alcançando em 2015 a produção máxima até agora de 4.000.00 m³. A expectativa é que essa produção anual cresça ainda mais com o aumento do teor do biodiesel no diesel. Segundo os dados na ANP, atualmente existem 51 plantas produtoras de biodiesel em operação no País com capacidade total autorizada de 20.930,81 m³ /dia. A capacidade total de produção de biodiesel autorizada poderá ser aumentada em 2.947 m³/dia, que representa um acréscimo de 14,08 % na capacidade atual, com a construção de 3 novas plantas e mais 3 plantas que já solicitaram aumento na capacidade de produção do biodiesel, confirmando que a produção de biodiesel está constante ascensão. A figura 3 mostra a distribuição das plantas de produção de biodiesel pelo território brasileiro (ANP, 2017).

Figura 3 - Distribuição das plantas de biodiesel autorizadas para operação.



Fonte: ANP, 2017.

O processo de mistura de biodiesel/diesel é possível e recomendado, a fim de melhorar a qualidade do combustível e por isso tem sido amplamente estudado pois os ésteres de óleos vegetais, comumente chamados de biodiesel, apresentam propriedades físico-químicas muito semelhantes ao óleo diesel e propiciam uma dinâmica aceitável para o processo de combustão. Mas, a depender do tipo de biodiesel utilizado, haverá alteração das propriedades físico-química das misturas, pois a mistura biodiesel / diesel é uma mistura muito complexa. Estão presentes no biodiesel compostos de ésteres, glicerídeos, pigmentos e antioxidantes. Os compostos no diesel são naftênicos, parafínicos e aromáticos, em diferentes proporções. As misturas desses compostos provocam diferenças nas propriedades físico-químicas e dessa forma os parâmetros de qualidade do biodiesel são importantes para os usuários finais, pois podem afetar o desempenho do motor e as emissões de poluentes (BENJUMEA; AGUDELO, 2008).

Devido à mistura, várias alterações podem ser percebidas, tais como: viscosidade cinemática, ponto de fluidez, ponto de nevoa, massa específica, número de cetano, cor, calor de combustão, teor de enxofre, volatilidade, estabilidade à oxidação, lubrificidade e turbidez (KOZAK et al. 2013). No Brasil, a ANP é responsável pela definição de padrões para a certificação da qualidade do biodiesel, com o objetivo de estabelecer os limites permitidos de contaminantes, que causam danos para o desempenho do processo de combustão em motores e conteúdo de gases tóxicos emitidos (FERNANDES et al. 2011; SOUZA et al. 2013).

Para garantir que as misturas de biodiesel/diesel estejam de acordo com parâmetros físico-químicos citados na Resolução da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), práticas de monitoramento da qualidade e pesquisas técnico-científicas consideráveis, vêm sendo adotadas internacionalmente para o desenvolvimento de novos métodos para garantir a confiabilidade resultados, através das informações geradas, é possível garantir maior robustez na decisão pela elevação dos teores de biodiesel. A qualidade do biodiesel é verificada através da determinação de vários parâmetros e para garantir essa qualidade, o biodiesel deve estar de acordo com as especificações impostas pelas normas, como American Society for Testing and Materials (ASTM) e Comité Européen de Normalisation (CEN) conhecida como EN 14214 (SILVA et al., 2015).

Saxena; Jawaleb; Joshipurac (2013), realizaram uma previsão das propriedades do biodiesel e suas misturas com diesel mineral. Para prever as propriedades de biodiesel, vários modelos foram desenvolvidos utilizando vários óleos e misturas de biodiesel e diesel, foi observado que a qualidade do biodiesel e das suas propriedades físicos-químicas dependem do tipo de óleo que origina o biodiesel e da quantidade de biodiesel na mistura de diesel - biodiesel.

Silva et al., (2015) realizaram o estudo com as blendas de biodiesel e diesel: B2, B5, B10, B20, B50 e B75, que foram preparadas com base no volume. As propriedades fundamentais do combustível, tais como a massa específica e viscosidade cinemática

das misturas foram medidas pelos métodos de teste ASTM. A equação de mistura, originalmente proposta por Arrhenius e descrito por Grunberg e Nissan, foi utilizada para prever as viscosidades cinemáticas das misturas de biodiesel e diesel. Para todas as misturas, verificou-se que há uma excelente concordância entre os valores medidos e estimados da massa específica e viscosidade cinemáticas. De acordo com os resultados, a massa específica e a viscosidade cinemática das misturas aumentaram com o aumento da concentração de biodiesel nas misturas combustível.

Apesar dos resultados promissores, o custo da produção do biodiesel ainda é superior ao custo de produção do diesel fóssil, o que diminui sua competitividade. Por outro lado, os custos de processamento podem ser minimizados através das simplificações das operações unitárias de neutralização e contenção dos fluxos de água alcalinas geradas na etapa de purificação da reação homogênea do biodiesel (BÁLSAMO et al., 2019; DI SERIO et al., 2008; SINGH et al., 2019).

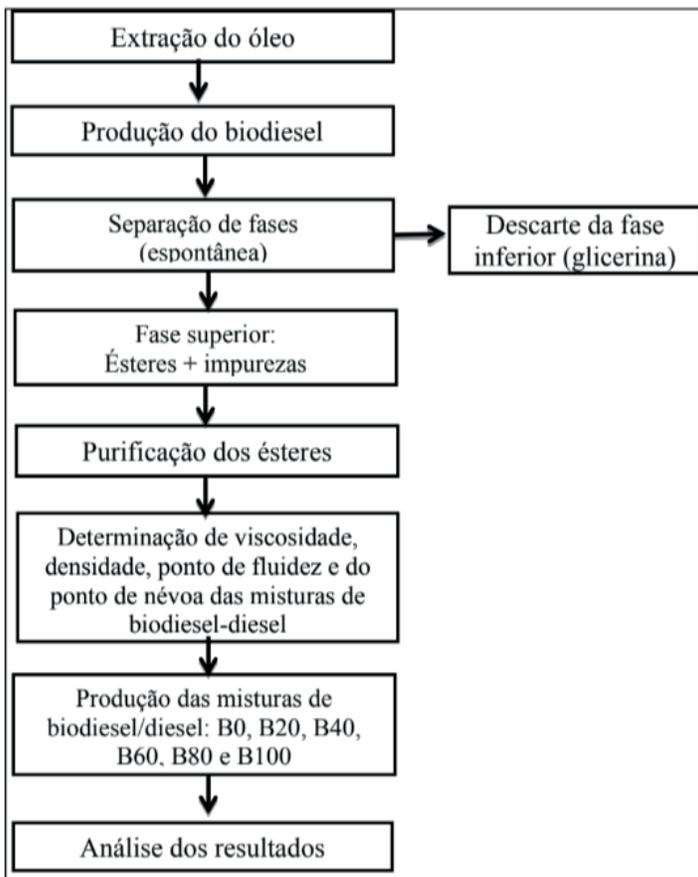
A etapa de purificação tem por objetivo a obtenção de produtos de alta pureza (biodiesel e glicerina) e a remoção de compostos indesejáveis (catalisador, glicerina residual, sabão e triglicerídeos não reagidos) por meio de sucessivos ciclos de lavagens e separações que leva a formação de alta quantidade de sais e água. Muitas vezes, estas etapas demandam muito mais tempo do que a reação propriamente dita (BÁLSAMO et al., 2019; MAHLIA; SYAZMI, 2020).

Esse processamento a jusante na separação do produto impacta, portanto, no tempo final de produção, na geração de resíduos e também no rendimento final dos ésteres de biodiesel, uma vez que grande parte do biodiesel formado é perdido devido a formação da emulsão resultante da saponificação da reação (hidrólise dos ésteres e formação dos correspondentes carboxilatos metálicos) (DI SERIO et al., 2008; SHUMAKER et al., 2007; YAN; SALLEY; NG, 2009).

METODOLOGIA

Foi realizado um estudo das propriedades físico-químicas (viscosidade cinemática, densidade, ponto de fluidez e ponto de névoa) do biodiesel de ouricuri e das suas misturas com diesel de petróleo, a fim de avaliar a qualidade do biodiesel produzido e sua operacionalidade em motores movidos a diesel. As misturas estudadas de diesel/biodiesel foram: B0, B20, B40, B60, B80 e B100 para o biodiesel produzido a partir do óleo de ouricuri com diesel comercial que já contém 5% de biodiesel de acordo com o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (Lei nº 11.097/05). A metodologia do trabalho é representada conforme o fluxograma abaixo (Figura 4).

Figura 4 - Fluxograma da metodologia aplicada.



Fonte: Autor (2024).

4.1 EXTRAÇÃO DO ÓLEO DE CHICHÁ E DE OURICURIR

As sementes de chichá foram coletadas de frutos completamente maduros, na cidade de Maceió- AL em março de 2017. As sementes foram manualmente extraídas do fruto (cápsula lenhosa) e selecionadas. As sementes foram secadas em estufa por um período de 48 horas a uma temperatura compreendida entre 60 e 70 °C. Decorrido esse período, foram descascadas até a obtenção da amêndoa. As sementes são compostas por três revestimentos: um revestimento de casca pardo acinzentada e fina, uma casca marrom-avermelhada e por uma casca de cor preta dura, conforme Figura 5.

Figura 5 - Amêndoa de chichá.



Fonte: Autor (2024).

As sementes de chichá foram extraídas por prensagem mecânica (prensa modelo P15 ST BOVENAU) com pressão máxima de 15 Toneladas, cada torta foi deixada na prensa por um período de 8 horas. Foram extraídos cerca de 2 L de óleo de chichá. Após a extração o óleo seguiu para as etapas de tratamento. O tratamento para o refino do óleo de chichá foi realizado através dos processos de peneiração para a separação de sedimentos grossos e partículas, filtração a vácuo utilizando papel quantitativo da Nalgon com porosidade de 2,0 micras, degomagem e secagem em estufa a 70 °C por 48 horas para retirada de umidade.

O processo de degomagem que tem a finalidade de remover do óleo bruto os fosfatídeos, consistiu na adição de 3% (v/v) de água purificada ao óleo bruto aquecido a 70 °C, sob agitação constante, durante 30 minutos. O precipitado formado, foi removido do óleo por centrifugação em uma centrífuga da marca PetroCEN em uma rotação de 1500 rpm durante 10 minutos. A goma formada e óleo foram separados; e o óleo obtido seguiu para etapa de secagem.

Para a extração do óleo de ouricuri passou previamente por um processo dedespolpagem, em equipamento adaptado no próprio laboratório (LASSOP), e sua semente foi seca na estufa por um período de 72 horas a uma temperatura de cerca de 70°C. Após esse período a semente foi quebrada para a obtenção da amêndoa para posterior extração de óleo realizada na prensa modelo TE-098, TECNAL (Figura 6).

Figura 6 - Prensa Hidráulica.

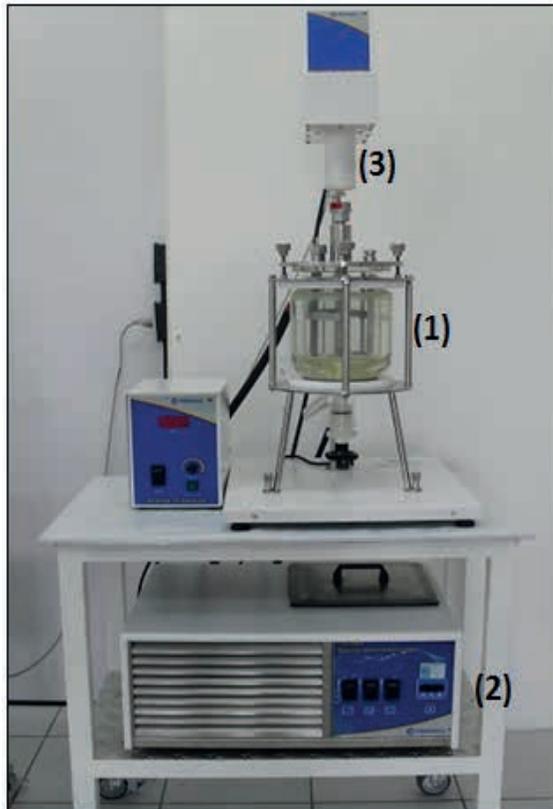


Fonte: Adaptação de Bispo et al. (2012).

4.2 PRODUÇÃO DE BIODIESEL DO ÓLEO DE OURICURI E DE CHICHÁ

Para a produção de biodiesel de ouricuri foram utilizados os reagentes: álcool etílico absoluto P.A., hidróxido de sódio P.A. e óleo de ouricuri. A reação foi realizada com os seguintes parâmetros: razão molar óleo/álcool de 1:10, quantidade de catalisador de 1,5% referente a massa de óleo, tempo de reação de 30 minutos e temperatura de 70°C. Para a produção de biodiesel de chichá foram utilizados os reagentes: álcool etílico absoluto P.A. ou álcool metílico P.A., hidróxido de sódio P.A. e óleo de chichá. A reação foi realizada com os seguintes parâmetros: razão molar óleo/álcool de 1:10, quantidade de catalisador de 1,0 % referente a massa de óleo, tempo de reação de 30 minutos e temperatura de 70 °C. A unidade piloto utilizada para produção do biodiesel, é composta por um agitador mecânico, um reator encamisado, onde o fluido de circulação é a água, sendo temperatura do sistema mantida através de um banho termostático (Modelo TE – 184, TECNAL), conforme Figura 7.

Figura 7 - Unidade piloto de produção de biodiesel composto por: (1) reator; (2) banho termostático e (3) agitador mecânico.



Fonte: Autor (2024).

4.3 ANÁLISE DA VISCOSIDADE PARA DIFERENTES MISTURAS DE BIODIESEL – DIESEL

A viscosidade foi determinada de acordo com a NORMA ASTM D445, utilizando um viscosímetro de Ostwald da marca SCHOTT. Foi utilizado um capilar com constante de 150 cSt/s sendo empregados 8 mL de amostra contendo misturas de biodiesel/diesel e foi determinado seu tempo de escoamento a uma temperatura de 40°C. Para a construção das curvas de viscosidade foi utilizado capilar com constante de 100 cSt/s para as temperaturas: 20, 25, 30, 40, 60 e 80°C. O sistema montado está de acordo com a Figura 8.

Figura 8 - Viscosímetro de Ostwald.



Fonte: Autor (2024).

A viscosidade foi obtida pela Equação 1:

$$\text{Viscosidade} = T \cdot C \quad (1)$$

Onde, T corresponde ao tempo de escoamento (segundos) e C corresponde à constante do viscosímetro (cSt/s). O valor da constante utilizada, fornecido pelo fabricante, é 0,0411 cSt/seg. A viscosidade então será obtida em cSt que é numericamente igual a mm^2s^{-1} .

4.4 ANÁLISE DA DENSIDADE PARA DIFERENTES MISTURAS DE BIODIESEL

A densidade foi determinada de acordo com a norma ASTM D664, utilizando um densímetro digital (modelo DMA 35N, ANTAN PAAR). A amostra das misturas de biodiesel foi resfriada até 20°C e feita à leitura diretamente no densímetro digital. Para a construção das curvas de densidade foram utilizadas as temperaturas de 10, 15, 20, 30 e 40 °C. O sistema montado está de acordo com a Figura 9.

Figura 9- Densímetro digital.



Fonte: Autor (2024).

4.5 ANÁLISE DO PONTO DE FLUIDEZ E DO PONTO DE NÉVOA PARA DIFERENTES MISTURAS DE BIODIESEL - DIESEL

O método para determinação do ponto de fluidez consiste em resfriar uma amostra num ritmo pré-determinado, observando-se a sua fluidez a cada queda de temperatura de 3°C, até que visualmente a superfície da amostra permaneça imóvel (ponto de congelamento) por 5 segundos, ao se colocar o tubo de ensaio com a amostra, na posição horizontal. A temperatura 3°C acima desta, é o ponto de fluidez da amostra. A verificação do ponto de fluidez foi feita de acordo com o emprego da norma brasileira NBR 11349:1990.

O método para determinação do ponto de névoa foi obtido pela norma ASTM D2500, onde foi observado a temperatura do combustível, durante um processo de resfriamento, onde ocorreu a formação dos primeiros cristais parafínicos.

4.6 ANÁLISE DO PONTO DE ENTUPIMENTO A FLUXO FRIO (PEFF) PARA DIFERENTES BLENDA DE BIODIESEL/DIESEL DE CHICHÁ

A ponto de entupimento foi medido no equipamento FCC 5Gs, como mostra a Figura 10. O método de análise segue a norma ASTM 6371 que mede PEFF de combustíveis. A determinação do parâmetro foi realizada visualmente. O sistema é composto refrigeração interna e um vácuo embutido e ainda dois termômetros que medem para medir a temperatura a amostra e do banho. A blenda foi preparada para um volume de 45 mL e colocada num tubo do próprio do equipamento à temperatura ambiente. Após o início do teste, no intervalo

de 1 °C é aplicado um vácuo de 200 mm H₂O para extrair o combustível. A amostra foi succionada pela bomba de vácuo através da pipeta. A medida que a blenda esfriava, as quantidades de cristais de parafina começavam a aparecer. A temperatura do ponto de entupimento de filtro a fluxo frio das amostras ocorre quando a bomba a vácuo não permite fluxo através do filtro durante 60 s. Os testes foram realizados para o biodiesel, o diesel e para as blendas de biodiesel de chichá/ nas concentrações de B0, B20, B40, B60, B80 e B100. Os ensaios foram realizados no Núcleo de Engenharia de Petróleo (NUPEG) situado na Universidade Federal de Sergipe. Todos os ensaios foram realizados em duplicata.

Figura 10 - Equipamento para medição do Ponto de Entupimento de Filtro à Frio modelo FCC 5Gs.



Fonte: Autor (2024).

RESULTADOS

5.1 RESULTADOS PARA O BODIESEL DE OURICURI

Os resultados obtidos por meio dos parâmetros físico-químicos para o biodiesel de ouricuri puro (B100) e suas misturas com diesel de petróleo (B0, B20, B40, B60 e B80) serão subdivididos em três seções que descrevem o comportamento da viscosidade, da densidade e por fim do ponto de névoa e do ponto de fluidez das misturas frente à variação de temperatura do meio (sistema). Para avaliar os efeitos da temperatura sobre as blendas de biodiesel etílico provenientes das palmáceas de ouricuri, serão apresentadas representações gráficas da composição versus viscosidades. O mesmo procedimento será empregado para a análise da densidade das misturas.

Os resultados aqui apresentados foram realizados para misturas de biodiesel produzido a partir do óleo de ouricuri com diesel comercial que já contém 5% de biodiesel, logo os resultados das análises físico-químicas aqui descritas apresentam uma diferença causada pelo uso do diesel comercial ao invés do diesel puro, conforme verificamos na Tabela 1:

Tabela 1 - Análises das propriedades físico-químicas do diesel puro e do diesel comercial.

Análises	Viscosidade (mm ² /s)	Densidade (Kg/m ³)
Diesel puro (0% de biodiesel)	2,4955	828,0
Diesel comercial (5 % de biodiesel)	2,7692	840,5
Mistura B5 (5 % de biodiesel de ouricuri mais 95 % de diesel comercial)	2,840	841,2
Diferença entre o B5 com diesel puro e do B5 com diesel comercial	0,007	0,7

Conforme vemos na Tabela 1, a diferença nas propriedades físico-químicas entre o B5, produzido com diesel puro e o B5, produzido com diesel comercial não foram tão expressivas. Para a viscosidade apresentaram uma diferença de 0,007 e para a densidade uma diferença de 0,7. Essa diferença pode variar em função do biodiesel que foi adicionado ao diesel, uma vez que o tipo de óleo adicionado ao diesel comercial é desconhecido. Logo, biodieseis produzidos com óleo mais “pesados” resultarão em diesel com valores de viscosidade e densidade mais elevados.

5.1.1 Análise da viscosidade

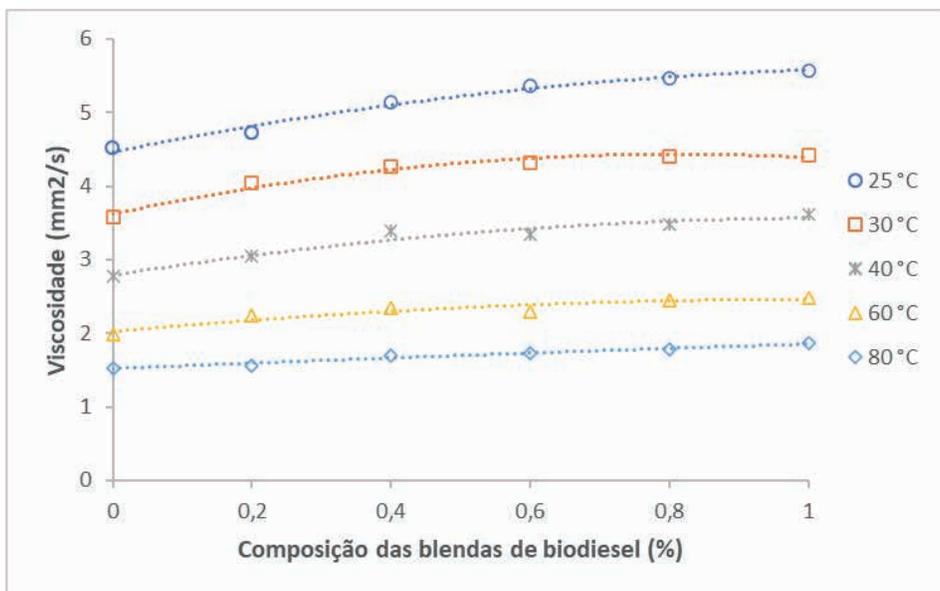
A viscosidade cinemática é uma propriedade fluidodinâmica que expressa a resistência oferecida pela substância ao escoamento sob gravidade. Devido à viscosidade indicar a resistência do fluido ao escoamento, o controle dessa propriedade para o biodiesel é importante para garantir funcionamento adequado dos sistemas de injeção e bombas de combustível. A viscosidade também influencia a etapa de combustão, cuja eficiência dependerá da potência máxima desenvolvida pelo motor. As análises foram realizadas segundo a norma ASTM D445 que fornece um método para obtenção da viscosidade cinemática para o biodiesel (B100) e para mistura de biodiesel em diesel de petróleo. Os dados obtidos são encontrados na Tabela 2:

Tabela 2 - Viscosidade (mm²/s) obtida para os blends biodiesel/diesel de ouricuri.

	B0	B20	B40	B60	B80	B100
25 °C	4,508	4,7173	5,1359	5,3613	5,474	5,5706
30 °C	3,5742	4,0411	4,2665	4,3148	4,3953	4,4275
40 °C	2,7692	3,0429	3,38905	3,34075	3,4776	3,6064
60 °C	1,9803	2,2379	2,34255	2,29425	2,45203	2,4794
80 °C	1,5295	1,5617	1,69855	1,73075	1,77905	1,85955

Segundo RESOLUÇÃO ANP Nº 14, DE 11.5.2012 - DOU 18.5.2012, a viscosidade cinemática dos biodieséis (a 40°C) deve estar entre 3,0 e 6,0mm².s⁻¹. Obteve-se a viscosidade de 3,6064 mm².s⁻¹ para os biodieséis de ouricuri puro. Portanto, a viscosidade do biodiesel está de acordo com as normas. A Figura 11 apresenta os resultados obtidos a partir do estudo das viscosidades das misturas de diesel/ biodiesel etílico de ouricuri conforme as concentrações pré-estabelecidas: B20, B40, B60, B80, B100 e diesel.

Figura 11 - Curva de viscosidade das blendas de diesel/ biodiesel de ouricuri.



Observou-se a partir da Figura 11, que a viscosidade para as diferentes blendas aumenta em razão do aumento de biodiesel na composição da mistura. Este era um comportamento esperado uma vez que um líquido mais viscoso tem sua concentração aumentada em uma dada mistura. Observou-se também que as viscosidades das misturas são afetadas diretamente pela temperatura, a viscosidade diminui a medida que a temperatura aumenta. De um modo geral, a viscosidade diminui com o aumento da temperatura e aumenta com a fração de biodiesel na mistura biodiesel/diesel, o que pode prejudicar aos motores a diesel. Assim sendo, o aumento do percentual do diesel na mistura diesel/biodiesel deve ser estudado detalhadamente, a fim de assegurar um funcionamento adequado do motor. Outros parâmetros também podem influenciar na viscosidade das misturas tais como massa molecular, forças intermoleculares e polaridade. A Tabela 3 apresenta as equações das curvas que podem prever os valores das viscosidades no intervalo estudado.

Tabela 3 – Equações polinomiais das curvas de viscosidades.

	Equação polinomial	Valor de R ²
25 °C	$V = -0,7978B^2 + 1,9133B + 4,4637$	0,9847
30 °C	$V = -1,2291B^2 + 1,997B + 3,6219$	0,9699
40 °C	$V = -0,6972B^2 + 1,4746B + 2,7893$	0,9461
60 °C	$V = -0,4190B^2 + 1,8604B + 2,0212$	0,9000
80 °C	$V = -0,0503B^2 + 0,3838B + 1,5197$	0,9682

5.1.2 Analise da densidade

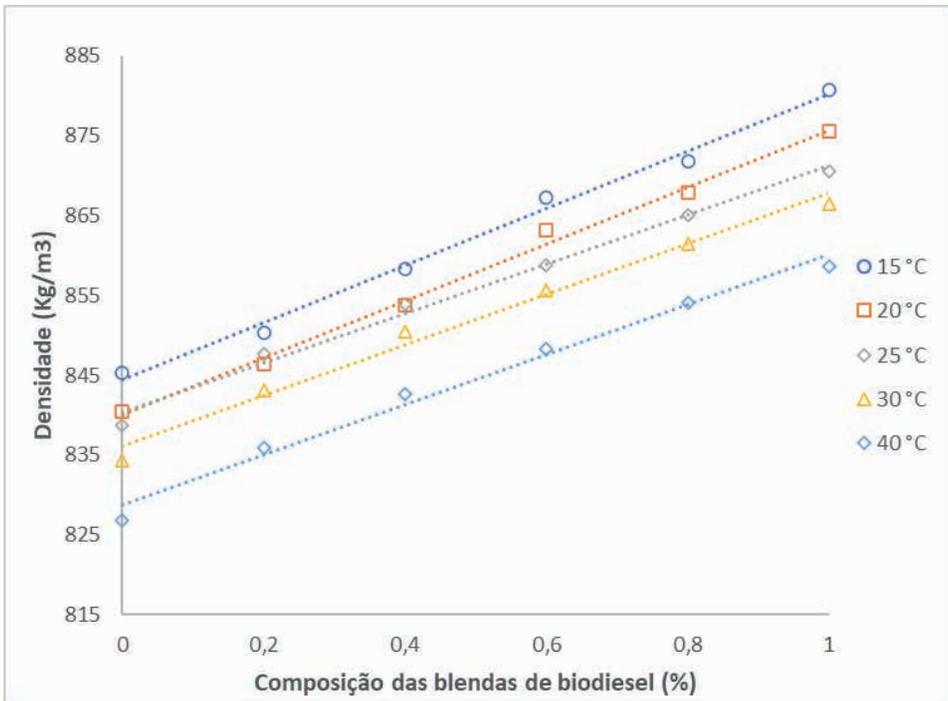
A densidade do combustível é uma característica importante, pois de uma maneira geral, influencia a partida e pressão da injeção, além da pulverização do combustível, de modo a interferir no desempenho do motor de combustão e na emissão de gases, pois altas densidades podem gerar fumaça negra e emissão excessiva de material particulado. As análises foram realizadas segundo a norma ASTM D664 que fornece um método para obtenção da densidade para o biodiesel (B100) e para mistura de biodiesel em diesel de petróleo. Os dados obtidos são encontrados na Tabela 4:

Tabela 4 - Densidade (Kg/m³) obtida para os blends biodiesel/diesel de ouricuri.

	B0	B20	B40	B60	B80	B100
15 °C	845,3	850,3	858,3	867,3	871,75	880,7
20 °C	840,5	846,4	853,75	863,2	867,9	875,55
25 °C	838,8	847,7	854,0	858,8	865,1	870,5
30 °C	834,3	843,2	850,5	855,7	861,5	866,5
40 °C	826,9	835,9	842,7	848,3	854,1	858,7

A RESOLUÇÃO ANP N° 14, DE 11.5.2012 - DOU 18.5.2012, também estabelece as especificações padrões para a densidade do biodiesel (B100) e para mistura de biodiesel com diesel de petróleo, cuja densidade deve estar entre 850-900 kg/m³ à 20 °C, nota-se que o B100, que é o biodiesel puro, encontra-se dentro do valor exigido, onde foi obtido um valor de 875,55 Kg/m³ para os biodiesel de ouricuri. A Figura 12 apresenta os resultados obtidos a partir do estudo das densidades das misturas de diesel/ biodiesel etílico de ouricuri conforme as concentrações pré-estabelecidas: B10, B20, B40, B60, B80, B100 (biodiesel) e diesel.

Figura 12 - Curva de densidade das blends de diesel/ biodiesel de ouricuri.



Neste caso, diferentemente da variação de viscosidade, os valores das densidades do biodiesel e diesel puros estão muito próximos, assim como em todas as misturas biodiesel/diesel etílicos analisadas, havendo uma variação apenas na segunda casa decimal entre as *blendas*. Portanto, aumentando o percentual de biodiesel nas misturas haverá um conseqüente aumento da densidade da mistura biodiesel/diesel. Em geral, a densidade de biodiesel é também afetada pelo aumento da temperatura: quanto maior a temperatura menor será sua densidade. Este estudo é importante, pois a relação ar/combustível e conseqüentemente a quantidade de energia produzida na câmara de combustão são influenciados diretamente pela densidade, o que pode afetar o desempenho do motor. A Tabela 5 apresenta as equações das curvas que podem prever os valores das viscosidades no intervalo estudado.

Tabela 5 – Equações lineares para predição das densidades.

	Equação polinomial	Valor de R ²
15 °C	$V = 35,764B + 844,39$	0,9928
20 °C	$V = 35,6B + 840,08$	0,9947
25 °C	$V = 30,786B + 840,42$	0,9991
30 °C	$V = 31,586B + 836,16$	0,9876
40 °C	$V = 31,314B + 828,78$	0,9874

5.1.3 Análise do ponto de fluidez e do ponto de névoa

De uma forma geral o biodiesel a baixas temperaturas, tende a solidificar-se parcialmente ou a perder sua fluidez, levando à interrupção do fluxo, ocasionando problemas na partida do motor. Os valores para o ponto de fluidez e ponto de névoa devem ser estabelecidos por cada país em função do seu clima. No Brasil, é estabelecida a determinação do ponto de entupimento de filtro a frio para o biodiesel, conforme os métodos NBR 11349:1990. O valor máximo de 19 °C está estabelecido na Resolução brasileira é aplicável para as regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e para o estado da Bahia, devendo ser anotado para as demais regiões. A Tabela 6 indica o comportamento físico do biodiesel de ouricuri e das suas misturas com diesel mineral com o aumento da temperatura. Destes ensaios, pode-se analisar o ponto de fluidez e o ponto de névoa das misturas.

Tabela 6 - Congelamento da mistura de diesel /biodiesel etílico de ouricuri.

BLENDEAS DE BIODIESEL/DIESEL DE OURICURI						
Temperatura 0°C			Temperatura 3°C		Temperatura 6°C	
Blendas	Congelamento	Observação	Congelamento	Observação	Congelamento	Observação
B0	NC	TL	NC	TL	NC	TL
B20	C	AM	NC	TL	NC	FC
B40	C	AM	C	E	NC	FC
B60	C	AM	C	E	C	E
B80	C	AM	C	E	C	E
B100	C	AM	C	E	C	E
Temperatura 9°C			Temperatura 12°C		Temperatura 15°C	
Blendas	Congelamento	Observação	Congelamento	Observação	Congelamento	Observação
B0	NC	TL	NC	TL	NC	TL
B20	NC	TL	NC	TL	NC	TL
B40	NC	FC	NC	FC	NC	TL
B60	NC	FC	NC	FC	NC	FC
B80	C	E	C	E	NC	FC
B100	C	E	C	E	NC	FC
Temperatura 18°C			Temperatura 21°C		Temperatura 24°C	
Blendas	Congelamento	Observação	Congelamento	Observação	Congelamento	Observação
B0	NC	TL	NC	TL	NC	TL
B20	NC	TL	NC	TL	NC	TL
B40	NC	TL	NC	TL	NC	TL
B60	NC	FC	NC	FC	NC	TL
B80	NC	FC	NC	FC	NC	TL
B100	NC	FC	NC	FC	NC	TL

*C= congelou, NC= não congelou, AM= ausência de movimento, E= escorreu, FC= formação de cristais e TL= totalmente líquido..

Com a redução da temperatura ocorre a formação de núcleos de cristais parafínicos invisíveis a olho nu. O crescimento desses cristais aumenta com a redução da temperatura. Os cristais tornam-se visíveis numa temperatura definida como o ponto de névoa, porque os cristais formam uma suspensão enevoada, ou seja, o ponto de névoa pode ser entendido como a temperatura de um combustível em um processo de resfriamento, onde se observa a formação dos primeiros cristais. Conforme dados experimentais da Tabela 3, o ponto de névoa da mistura B20 foi alcançado na temperatura de 6 °C, o da mistura B40 foi à 12 °C e das misturas B60, B80 E B100 foi de 21°C onde observou-se a formação dos primeiros cristais no tubo de ensaio.

Em temperaturas abaixo do ponto de névoa, cristais maiores fundem-se uns aos outros e formam grandes aglomerados que podem restringir ou impedir o escoamento do combustível em tubulações e filtros. Podemos então estabelecer o ponto de fluidez que é a menor temperatura em que o combustível ainda escoar. Este ponto é uma medida importante para a determinação das características de armazenagem e de transporte do combustível na instalação. Conforme a Tabela 3, vemos que todas as blends de biodiesel/diesel e o biodiesel de ouricuri congelaram à 0°C. Com isso para as misturas B20, B40, B60, B80 e B100 obtemos o ponto de fluidez igual a 3°C, pois o ponto de fluidez corresponde a temperatura do ponto de congelamento mais 3°C. No entanto à 3°C, as misturas B20, B40, B60, B80 e B100 não se mantiveram estáticas, por um período de 5 segundos, ao colocar o tubo de ensaio contendo a amostra na posição horizontal. Seguimos observando-se o comportamento das misturas, aumentando-se gradativamente a temperatura até 24°C, com uma variação de 3°C à cada nova temperatura. Neste ponto, foi possível perceber que todas as misturas estavam totalmente no seu estado líquido.

Estas informações são de grande importância para avaliar a aplicabilidade do combustível em regiões de clima frio. Quanto maior for o tamanho da cadeia e/ou o caráter saturado das moléculas do biodiesel, mais altos serão os valores destes parâmetros. É de se esperar, portanto, que o biodiesel originário de gordura animal apresente valores mais elevados que o biodiesel proveniente de gordura vegetal, devido ao seu alto teor de ácidos graxos saturados. Essas propriedades desfavorecem o uso de óleos vegetais *in natura* em motores do ciclo diesel, particularmente em regiões de clima temperado, pois os óleos vegetais normalmente apresentam ponto de fluidez superior ao do diesel mineral convencional. Alternativamente, podem ser utilizados inibidores de cristalização, de forma a permitir o uso e estocagem destes combustíveis em regiões mais frias e a utilização de aditivos apropriados no óleo vegetal pode conferir-lhe maior fluidez, diminuindo seu ponto de fluidez. Vale ressaltar que este problema não é exclusivo do biodiesel, pois o diesel de petróleo contém parafinas que apresentam tipicamente o mesmo comportamento.

5.2 RESULTADOS PARA O BODIESEL DE CHICHÁ

5.2.1 Análise da viscosidade

A viscosidade cinemática é uma propriedade fluidodinâmica que expressa a resistência oferecida pela substância ao escoamento sob gravidade. Devido a viscosidade cinemática indicar a resistência do fluido ao escoamento, o controle dessa propriedade para o biodiesel é importante para garantir o funcionamento adequado dos sistemas de injeção e bombas de combustível. Buscando entender esse comportamento, diferentes misturas de biodiesel e diesel mineral foram analisadas com variações quanto a temperatura do sistema. Os dados obtidos são encontrados nas Tabela 7 e 8:

Tabela 7 - Viscosidade (mm^2/s) obtida para os blends biodiesel/diesel de chichá metílico.

	B0	B20	B40	B60	B80	B100
25 °C	3,402	3,8151	3,9852	4,1796	5,0868	6,1641
30 °C	3,159	3,4141	3,5194	3,7341	4,4955	5,3743
40 °C	2,592	2,7904	2,8876	3,0415	3,6166	4,4145
60 °C	1,8711	1,9966	2,0574	2,1505	2,5353	2,9484
80 °C	1,4256	1,5228	1,5754	1,624	1,8873	2,1708

Tabela 8 - Viscosidade (mm^2/s) obtida para os blends biodiesel/diesel de chichá etílico.

	B0	B20	B40	B60	B80	B100
25 °C	3,4020	3,7996	3,9928	4,2302	4,9507	6,0616
30 °C	3,1590	3,2401	3,3528	3,5661	4,3671	5,3492
40 °C	2,5920	2,6645	2,7531	2,9100	3,5178	4,2987
60 °C	1,8711	1,8998	1,9521	2,0608	2,4472	2,9221
80 °C	1,4256	1,4490	1,4852	1,5576	1,8072	2,1453

As Figuras 13 e 14 apresenta o perfil da viscosidade cinemática em função da temperatura e da concentração de biodiesel das diferentes misturas estudadas de diesel / biodiesel de chichá metílico e etílico, respectivamente. Todas as medidas de viscosidade cinemática foram obtidas para uma faixa de temperatura de 25 a 80 °C, em intervalos não regulares.

Figura 13 - Curva de viscosidade das blendas de diesel/ biodiesel de chichá metílico.

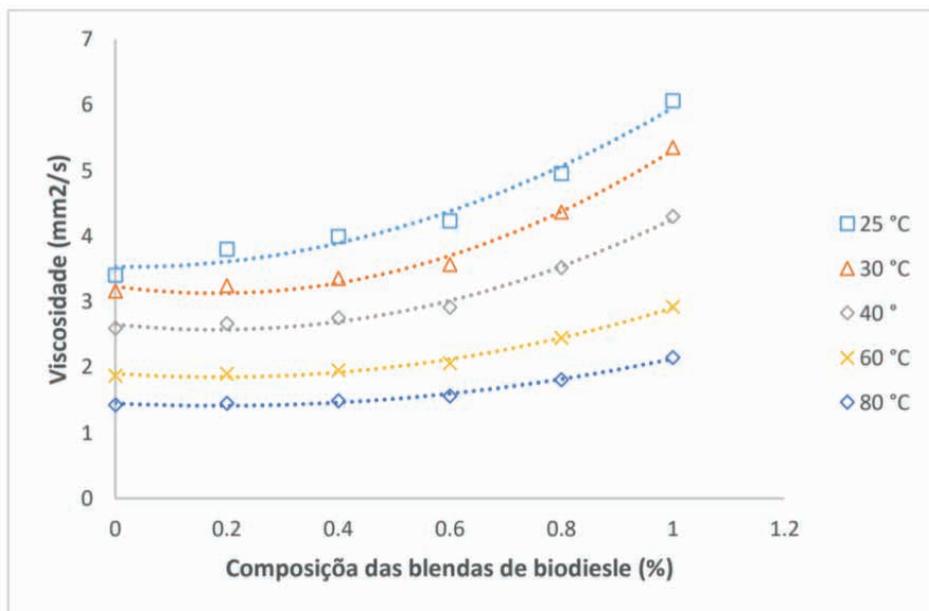
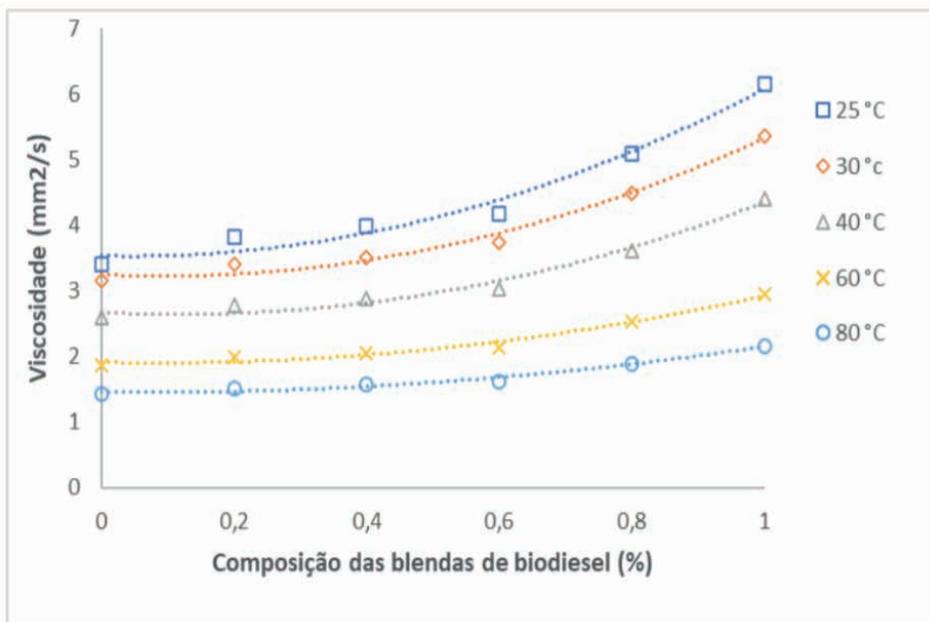


Figura 14 - Curva de viscosidade das blendas de diesel/ biodiesel de chichá etílico.

Como pode ser visto nas Figuras 13 e 14, a relação viscosidade cinemática-temperatura para os combustíveis testados apresentam uma tendência: as misturas de ambos os combustíveis apresentaram comportamento decrescente com aumento da temperatura. Uma análise vertical, traçando a relação viscosidade cinemática-composição, mostra que para uma temperatura fixa, o aumento na concentração do biodiesel eleva a viscosidade cinemática da mistura, evidenciando assim o efeito da adição de biodiesel ao diesel. De uma maneira geral, a viscosidade cinemática diminui com o aumento da temperatura e aumenta com a fração de biodiesel na mistura biodiesel/diesel, o que pode prejudicar aos motores movidos a diesel.

Para temperaturas mais baixas, em torno de 20 a 35 °C, é possível perceber que as viscosidades cinemáticas atribuídas a cada blenda estão mais distantes entre si, apresentando uma taxa de variação maior, enquanto que, com o aumento da temperatura as viscosidades cinemáticas das blends se assemelham mais entre si. As formas das curvas dos dois biodieseis testados são praticamente idênticas, apresentam apenas variação de grandezas devido às pequenas diferenças nas viscosidades cinemáticas dos combustíveis puros. A Tabela 9 apresenta as equações das curvas que podem prever os valores das viscosidades no intervalo estudado.

As Resoluções ANP N° 45 de 25/08/2014 e ANP N° 30 de 23/06/2016 estabelecem o método ASTM D445 para obtenção da viscosidade cinemática do biodiesel (B100) e das misturas de biodiesel em diesel de petróleo, respectivamente. Segundo os limites impostos por estas resoluções, a viscosidade cinemática dos biodieseis (para a temperatura de 40 °C) deve ser compreendida entre 3,0 e 6,0 mm².s⁻¹ e para as misturas até B30 deve ser compreendido entre 1,9 e 4,1 mm².s⁻¹; para concentrações maiores de biodiesel na mistura ainda não existe uma resolução regulamentada pela ANP. Percebe-se que os biodieseis de chichá metílico e etílico (B100) não estão de acordo com a legislação pertinente. No entanto, pode-se dar utilidade a este biodiesel utilizando-o em blends com até 40 % em volume de biodiesel para atender a legislação relativa as misturas ou ainda podem ser misturados a outro biodiesel para melhorar suas características fluidodinâmicas, como é feito normalmente nas indústrias.

Tabela 9– Equações polinomiais das curvas de viscosidades das misturas de biodiesel/diesel de chichá metílico.

	Equação polinomial	Valor de R²
25 °C	$V = 2,7988B^2 - 0,2531B + 3,5391$	0,9749
30 °C	$V = 2,5638B^2 - 0,4873B + 3,253$	0,9827
40 °C	$V = 2,1916B^2 - 0,5137B + 2,677$	0,9793
60 °C	$V = 1,2205B^2 - 0,2069B + 1,9158$	0,9817
80 °C	$V = 0,7921B^2 - 0,0967B + 1,4589$	0,9774

Tabela 10 – Equações polinomiais das curvas de viscosidades das misturas de biodiesel/diesel de chichá etílico.

	Equação polinomial	Valor de R²
25 °C	$V = 2,5338B^2 - 0,1068B + 3,5305$	0,9765
30 °C	$V = 3,2403B^2 - 1,1624B + 3,2321$	0,9886
40 °C	$V = 2,5084B^2 - 0,9012B + 2,6535$	0,9871
60 °C	$V = 1,5926B^2 - 0,5917B + 1,9041$	0,9900
80 °C	$V = 1,0835B^2 - 0,4056B + 1,4505$	0,9887

Dada sua importância, o aumento do percentual do biodiesel na mistura diesel/biodiesel deve ser estudados detalhadamente, a fim de assegurar um funcionamento adequado do motor pois, altas viscosidade cinemáticas do combustível são um agravante para o sistema de atomização do combustível durante etapa pulverização, aumentam a deposição de carbono no filtro de combustível, exigem mais energia da bomba de combustível e usam as bombas de combustível e injetores que são os principais parâmetros que afetam o desempenho do motor e emissão de gases de escape. A maior viscosidade cinemática faz com que a mistura queime pouco no motor uma vez que o combustível se move lentamente através do filtro de combustível e linhas de combustível. E por fim, é relevante inteirar-se também que outros parâmetros podem influenciar a viscosidade cinemática das misturas tais como massa molar, forças intermoleculares e polaridade (TESFA et al. 2010).

5.2.2 Análise da densidade

A massa específica do combustível é uma característica importante, pois de uma maneira geral, influencia a partida e pressão da injeção, além da pulverização do combustível, de modo a interferir no desempenho do motor de combustão e na emissão de gases, buscando entender esse comportamento, diferentes misturas de biodiesel e diesel mineral foram analisadas com variações quanto a temperatura do sistema. Os dados obtidos são encontrados nas Tabelas 11 e 12:

Tabela 11 - Densidade (Kg/m³) obtida para os blends biodiesel/diesel de ouricuri metílico.

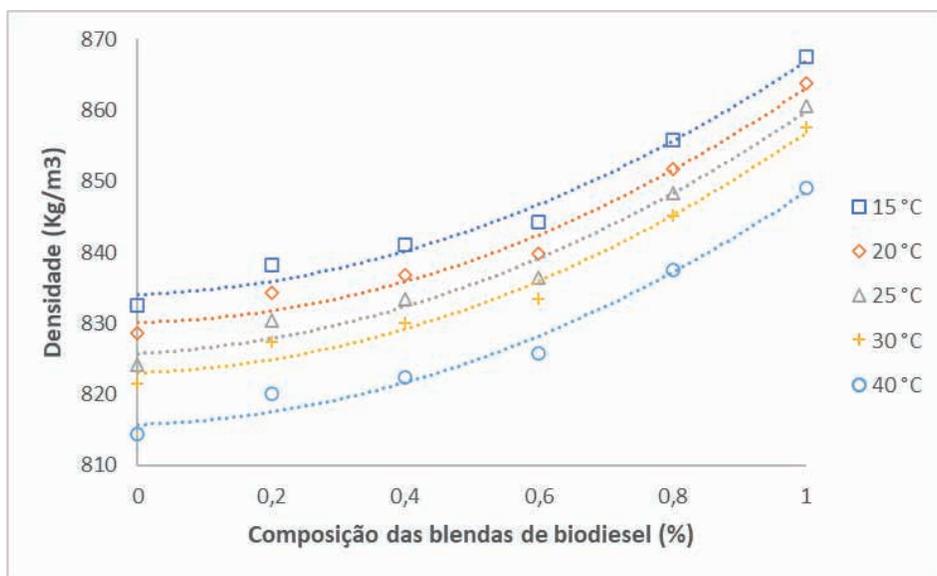
	B0	B20	B40	B60	B80	B100
15 °C	832,6	838,3	841,1	844,2	855,8	867,6
20 °C	828,6	834,3	836,8	839,8	851,7	863,9
25 °C	824,2	830,4	833,4	836,5	848,3	860,6
30 °C	821,5	827,4	830,1	833,4	845,2	857,6
40 °C	814,3	820	822,3	825,7	837,5	849,1

Tabela 12 - Densidade (Kg/m³) obtida para os blends biodiesel/diesel de ouricuri etílico.

	B0	B20	B40	B60	B80	B100
15 °C	832,6	837,6	840,5	843,8	854,9	865,4
20 °C	828,6	833,8	836,3	839,9	851,0	861,5
25 °C	824,2	830,3	832,6	835,3	846,7	858,5
30 °C	821,5	827,4	829,1	832,2	843,5	855,2
40 °C	814,3	820,0	820,9	823,9	836,0	847,5

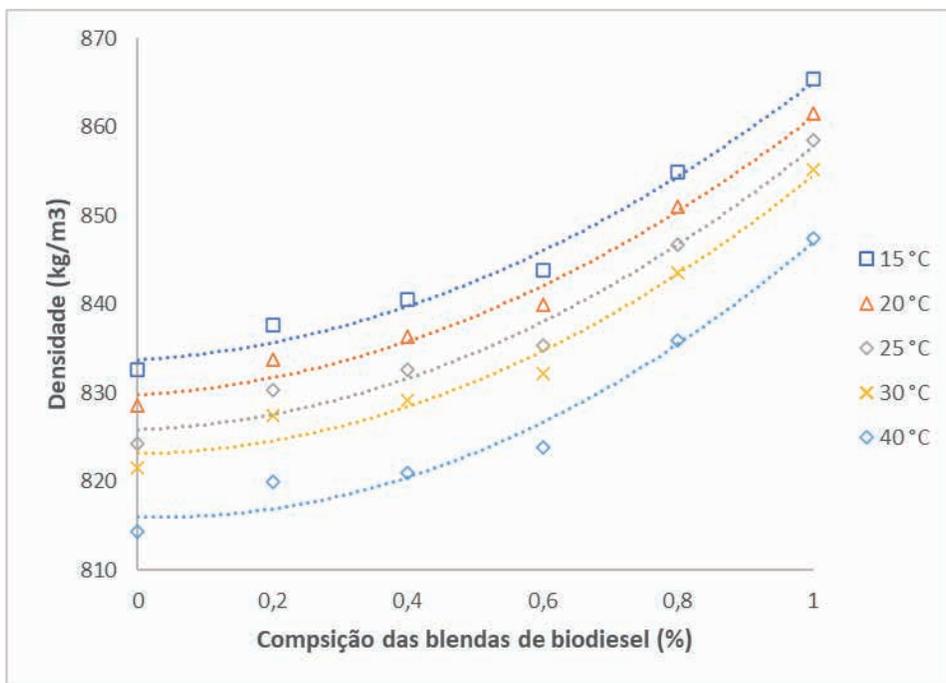
As Figuras 15 e 16 apresentam o perfil da massa específica em função da temperatura e da concentração de biodiesel das diferentes misturas estudadas de diesel / biodiesel de chichá.

Figura 15 - Curvas de densidade das blends de diesel/ biodiesel de chichá metílico.



Fonte: Autor (2024).

Figura 16 - Curva de densidade das blendas de diesel/ biodiesel de chichá etílico.



Fonte: Autor (2024).

Pode-se inferir da análise das Figuras 15 e 16 que as relações de massa específica-temperatura e de massa específica-composição apresentaram comportamento semelhante ao comportamento da análise de viscosidade cinemática para as amostras de biodiesel de chichá, diesel e suas blendas de biodiesel/diesel. A relação massa específica-temperatura apresentou comportamento decrescente com aumento da temperatura enquanto que a relação massa específica-composição apresentou comportamento crescente, evidenciando que o aumento na concentração do biodiesel eleva a massa específica da mistura para ambos os biodieseis. Este era um comportamento esperado uma vez que, a massa específica do biodiesel chichá é ligeiramente mais elevada que a massa específica do diesel de petróleo. Portanto, aumentando o percentual de biodiesel nas misturas haverá um consequente aumento da massa específica da mistura biodiesel/diesel.

A comparação entre os dois biodieseis testados evidência que eles guardam relação de semelhança entre si, apresentando leves variações em razão de pequenas diferenças nas massas específicas dos combustíveis puros, sendo o biodiesel de chichá produzido via rota etílica o de menor massa específica. Esta diferença pode estar está associada a diferentes estruturas que compõem o combustível, como anteriormente explicado. A massa molar e o grau de insaturação são fatores determinantes na quantificação da massa específica assim, dados reportados da literatura apontam que a massa específica diminui à medida que a massa molar aumenta e aumenta à medida que o grau de insaturação aumenta.

Os dados produzidos por este estudo, estão de acordo a literatura consultada, uma vez que o biodiesel de chichá etílico, que tem maior massa molar, apresentou menor massa específica ($883,8 \text{ kg/m}^3$) que o biodiesel produzido via rota metílica ($888,5 \text{ kg/m}^3$) à temperatura padrão da análise de 20°C . Quanto ao grau de insaturação, o biodiesel de chichá é composto por cerca de 78,67 % de ácidos graxos insaturados, conforme a análise realizada em espectrofotômetro de massa, o que lhe confere um valor moderado para a massa específica quando comparados a outros biodieseis que apresentam predominância de ésteres etílicos de ácidos graxos insaturado.

As análises foram realizadas segundo a norma ASTM D4052 que fornece um método para obtenção da massa específica para o biodiesel (B100) e para mistura de biodiesel em diesel de petróleo através das Resoluções ANP N° 45 de 25/08/2014 e ANP N° 30 de 23/06/2016, respectivamente, e que também estabelecem os limites padrões de 850 e 900 kg/m^3 para a massa específica do biodiesel (B100) e de 817,8 a 865,0 para mistura de biodiesel com diesel de petróleo a 20°C . Percebe-se que os biodieseis de chichá metílico e etílico (B100) estão em conformidade com a legislação, assim como todas as misturas até a mistura B30, para concentrações maiores de biodiesel na mistura ainda não existe uma resolução regulamentada pela ANP

As Tabelas 13 e 14 apresentam as equações das curvas que podem prever os valores das viscosidades no intervalo estudado.

Tabela 13 – Equações lineares para predição das densidades das misturas de biodiesel/diesel de chichá metílico.

	Equação polinomial	Valor de R²
15 °C	$V = 29,33B^2 + 3,6125B + 834,04$	0,9813
20 °C	$V = 31,295B^2 + 1,8054B + 830,14$	0,9794
25 °C	$V = 29,33B^2 + 4,7839B + 825,75$	0,9801
30° C	$V = 30,759B^2 + 3,1268B + 823,03$	0,9811
40 °C	$V = 30,134B^2 + 2,7089B + 815,75$	0,9812

Tabela 14 – Equações lineares para predição das densidades das misturas de biodiesel/diesel de chichá etílico.

	Equação polinomial	Valor de R²
15 °C	$V = 26,92B^2 + 4,3946B + 833,73$	0,9854
20 °C	$V = 27,188B^2 + 4,1982B + 829,78$	0,9851
25 °C	$V = 28,973B^2 + 2,9411B + 825,84$	0,9757
30° C	$V = 30,089B^2 + 31,325B + 823,12$	0,9766
40 °C	$V = 32,946B^2 - 1,9464B + 815,99$	0,9726

As análises foram realizadas segundo a norma ASTM D4052 que fornece um método para obtenção da massa específica para o biodiesel (B100) e para mistura de biodiesel em diesel de petróleo através das Resoluções ANP N° 45 de 25/08/2014 e ANP N° 30 de 23/06/2016, respectivamente, e que também estabelecem os limites padrões de 850 e 900 kg/m³ para a massa específica do biodiesel (B100) e de 817,8 a 865,0 para mistura de biodiesel com diesel de petróleo a 20 °C. Percebe-se que os biodieseis de chichá metílico e etílico (B100) estão em conformidade com a legislação, assim como todas as misturas até a mistura B30, para concentrações maiores de biodiesel na mistura ainda não existe uma resolução regulamentada pela ANP

Este estudo é importante, pois a relação ar/combustível e consequentemente a quantidade de energia produzida na câmara de combustão são influenciados diretamente pela massa específica, o que pode afetar o desempenho do motor.

5.2.3 Análise do ponto de entupimento

De uma forma geral o biodiesel a baixas temperaturas, tende a solidificar-se parcialmente ou a perder sua fluidez, levando à interrupção do fluxo, ocasionando principalmente problemas na partida do motor. Os valores de ponto de entupimento a fluxo frio (PEFF) são estabelecidos por cada país em função do seu clima. No Brasil, é estabelecida a determinação do ponto de entupimento de filtro a frio para o biodiesel, conforme o método disposto nas Resoluções ANP N° 45 de 25/08/2014 e ANP N° 30 de 23/06/2016. Este requisito é solicitado na legislação brasileira e segue a tabela aplicável a diferentes estados do Brasil em função de suas temperaturas médias e meses do ano. A Resolução ANP N° 45 determina que o valor do ponto de entupimento do biodiesel puro varia de 5 a 14 °C, para regiões citadas na norma e 19 °C para regiões não citadas, que inclui o estado de Alagoas. Enquanto que A Resolução ANP N° 30 determina que o valor do ponto de entupimento das misturas de biodiesel/diesel até a blenda B30 varia de 0 a 12 °C, para regiões citadas na norma e 19 °C para regiões não citadas.

A Tabela 49 indica o comportamento físico do biodiesel de chichá e das suas misturas com diesel mineral com o decréscimo da temperatura:

Tabela 15 – Resultados do o ponto de entupimento a filtro frio das blendas de biodiesel de chichá e diesel S10.

Composição das amostras (%)	Biodiesel de chichá metílico PEFF (°C)
B0	-11
B20	-11
B40	-10
B60	-7
B80	-1
B100	4

Fonte: Autor (2024).

De acordo com os resultados experimentais obtidos o diesel utilizado apresentou um ponto de entupimento igual a $-11\text{ }^{\circ}\text{C}$, enquanto que os biodieseis de chichá metílico e etílico apresentaram pontos de entupimentos iguais a 4 e $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, respectivamente. As misturas biodiesel/diesel apresentaram-se dentro da faixa de variação para cada tipo de biodiesel (metílico e etílico), apresentando temperatura crescente com o aumento do percentual de biodiesel na mistura. Mattos (2012), ao estudar o comportamento das blends de biodiesel de soja com diesel, também verificou que o incremento percentual de biodiesel de soja eleva o ponto de entupimento das misturas, onde a mistura B5 apresentou ponto de entupimento igual a $5\text{ }^{\circ}\text{C}$, enquanto que a mistura B20 apresentou ponto de entupimento igual a $5,3\text{ }^{\circ}\text{C}$.

O efeito da adição do biodiesel ao diesel foi melhor distribuído no biodiesel produzido via rota metílica, mas apresentou maior variação pela rota etílica, partindo de $-11\text{ }^{\circ}\text{C}$ para $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Podemos inferir também que o efeito da adição do biodiesel ao diesel desfavorece seu desempenho frente sua utilização a temperaturas baixas pois a medida que aumentos a concentração de biodiesel adicionado ao diesel, o valor do ponto de entupimento cresce, sendo esse um comportamento esperado pois, os biocombustíveis normalmente apresentam ponto de entupimento superior ao do diesel mineral convencional. Pela rota metílica a adição a 20 e 40% (v/v) de biodiesel ao diesel não causou grande variação no valor do ponto de entupimento. Efeitos mais significativos foram sentidos em concentrações de 60 e 80% , causando um acréscimo de temperatura de 4 e $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, respectivamente, em comparação ao diesel. Pela rota etílica a variação no aumento do PEFF foi sentida já na adição de 20% (v/v) de biodiesel ao diesel, sendo acrescida de $15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Entretanto, a adição de biodiesel ao diesel mineral não foi suficientemente desfavorável a ponto de tornar a utilização das misturas inviáveis.

Observamos ainda, que o biodiesel produzido via rota etílica apresentou maior temperatura de PEFF que o biodiesel produzido por via metílica, isso acontece devido a diferença no tamanho da cadeia de ésteres formados, pois quanto maior for o tamanho da cadeia mais alto serão os valores destes parâmetros.

O caráter de saturação que compõem as cadeias de ésteres de biodiesel é outro parâmetro determinante do PEFF. Logo, o alto valor de entupimento à fluxo frio observado para o biodiesel metílico (4°C) e etílico (10°C) pode ser explicado pela presença de ácidos graxos saturados na composição do biodiesel, uma vez que as moléculas saturadas apresentam temperatura de solidificação (TF) superior aos apresentados pelas moléculas insaturadas. O óleo de chichá é fonte de ácidos graxos insaturados, mas contém em sua composição cerca de $21,1\%$ de ácidos graxos saturados em sua composição, conforme Tabela 4; assim sendo, as presenças de espécies saturadas contribuem para o aumento do ponto de entupimento.

Os valores experimentais do ponto de entupimento do biodiesel de chichá e suas misturas com diesel não foram encontrados anteriormente na literatura, mas estas informações são de grande importância para avaliar a aplicabilidade do combustível em regiões de clima frio.

Dados oriundos da literatura apontam grande variação dos valores atribuídos ao ponto de entupimento do diesel que deve está associado a complexidade da sua composição que variam significativamente em função da grande diversidade de componentes. Balen (2012), encontraram o ponto de entupimento numa faixa de -9 a 3 °C para diversas amostras de dieseis colhidos em diferentes refinarias. Essas grandes divergências de valores podem está relacionada com a composição, mais precisamente com o percentual de frações pesadas, as quais influenciam diretamente nos pontos inicial e final da curva de destilação, sendo desejável que o ponto final de destilação seja baixo suficiente para minimizar o conteúdo das frações pesadas no diesel. Nestas frações estão presentes as *n*-parafinas que são as responsáveis diretas pela cristalização a baixas temperaturas, pois as parafinas com alta massa molar apresentam tendência a nucleação e a formar cristais de cera suspensos na fase líquida. Esses cristais de cera se aglomeram entupindo os filtros de combustível, e impedindo o funcionamento do motor, assim causando a solidificação do combustível. Um baixo ponto inicial da destilação aumenta a dissolução das parafinas pesadas pelas frações mais leves, as quais melhoram as características em temperaturas frias. Estas condições operacionais variam de uma refinaria para outra, acarretando em diferentes composições de diesel, até mesmo para o diesel de uma mesma refinaria (BALEN, 2012).

CONCLUSÃO

A partir das análises realizadas, percebeu-se que o aumento do percentual do diesel na mistura diesel/biodiesel deve ser estudado detalhadamente, a fim de assegurar um funcionamento adequado do motor, pois a mistura biodiesel / diesel é uma mistura muito complexa. Neste trabalho, foi realizada uma investigação do efeito da temperatura nas análises de viscosidade, densidade, ponto de névoa e ponto de fluidez para as misturas biodiesel de Ouricuri, chichá e diesel de petróleo, nas proporções: B0, B20, B40, B60, B80 e B100.

A partir dessa temática podemos elencar alguns subtemas de relevância para este trabalho, discutidos a seguir:

- Em geral, a viscosidade e a densidade de biodiesel são afetadas pelo aumento do percentual de biodiesel na mistura biodiesel/diesel e pelo aumento da temperatura, quanto maior a temperatura menor será a viscosidade e densidade.
- Para o biodiesel de ouricuri e suas misturas, a viscosidade está na faixa de $1,5295$ a $5,5706 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ e a densidade de $826,9$ a $880,7 \text{ Kg/m}^3$ e encontram-se dentro das normas estabelecidas.
- A operacionalidade das blendas com biodieseis provenientes de palmáceas está diretamente relacionada a identificação do ponto de fluidez e do ponto de névoa das misturas, assim, este trabalho veio a contribuir para a identificação destes pontos para diferentes blendas com diesel de petróleo.
- O estudo avalia a aplicabilidade do biodiesel de Ouricuri e do óleo de chichá, assim como, de suas blendas em regiões de clima frio. E demonstrou que quanto maior a porcentagem de biodiesel na mistura, maior a influência nas propriedades de fluxo das blendas de biodiesel/diesel, fazendo-se necessária a adição de anti-congelantes e outros aditivos para sua utilização em climas frios.
- As misturas B20, B40, B60, B80 e B100 à temperatura igual ou inferior a 3°C , não irão fluir sem a adição de aditivos.
- As temperaturas mínimas para que não haja deposição no motor, provocando a queda das propriedades de fluxo são 6°C para a mistura B20; 12°C para B40; e, 21°C para B60, B80 e B100.
- Foi possível estabelecer uma relação sistemática entre a porcentagem de biodiesel adicionado ao diesel. Dessa maneira, a proposta deste estudo representou um ganho significativo para a área combustíveis, trazendo informação que complementam e melhoram os métodos de produção já existentes.

A partir das análises realizadas, concluímos que o aumento do percentual do biodiesel na mistura diesel/biodiesel deve ser estudado detalhadamente, a fim de assegurar um funcionamento adequado do motor. A mistura biodiesel / diesel é uma mistura muito complexa, estão presentes no biodiesel compostos de ésteres, glicerídeos, pigmentos e antioxidantes e no diesel, compostos naftênicos, parafínicos e aromáticos, em diferentes proporções cuja interação pode afetar a mistura de diesel e biodiesel.

REFERÊNCIAS

ALVES, A. A. Hidróxidos duplos lamelares aplicados à obtenção de biodiesel. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Federal do rio Grande do Norte, 2009.

ALPTEKIN, E.; CANAKCI, M. Determination of the density and the viscosities of biodiesel – diesel fuel blends. v. 33, p. 2623–2630, 2008.

ANP. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br>>. Acesso em: 28 abr. 2017.

BÁLSAMO, N. et al. Nanoclays as dispersing precursors of La and Ce oxide catalysts to produce high-valued derivatives of biodiesel by-product. **Molecular Catalysis**, n. November 2018, p. 110290, 2019.

BARRETO, M.L.G. et al. Otimização da reação de transesterificação do óleo de mamona. IV Congresso Brasileiro de Mamona e I Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas, João Pessoa, PB – 2010.

BENJUMEA, P.; AGUDELO, J. Basic properties of palm oil biodiesel – diesel blends. v. 87, p. 2069–2075, 2008.

BERTHEZENE, N. et al. Methane solubility in synthetic oil-based drilling muds. **Journal of Petroleum Science Engineering**, v. 23, p. 71-81, 1999.

BISPO, F.B.; PIMENTEL, W.R.O. Estudo da produção do biodiesel etílico de chichá e do equilíbrio de fases líquido-líquido. Congresso de Engenharia Ciência e Tecnologia, 2012

CAIRES, A.R.L.; LIMA, V.S.; OLIVEIRA, S.L. Quantification of biodiesel content in diesel/biodiesel blends by fluorescence spectroscopy: Evaluation of the dependence on biodiesel feedstock. **Renewable Energy**, v. 46, p. 137-140, 2012.

CAIRES, A.R.L.; SCHERER, M.D.; SOUZA, J.E.; OLIVEIRA, S.L.; M'PEKO, J.C. The role of viscosity in the fluorescence behavior of the diesel/biodiesel blends. **Renewable Energy**, v. 63, p. 38 -391, 2014.

CAVALCANTE, R. M. Predição da massa específica de biodiesel proveniente de diferentes Matérias-primas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro- RJ, 2010.

CHHETRI ,A.B.; WATTS, K.C. Viscosities of canola, jatropha and soapnut biodiesel at elevated temperatures and pressures. **Fuel**, v. 102, p. 789–794, 2012.

CORACH, J.; SORICHETTI, P. A.; ROMANO, S. D. Permittivity of diesel fossil fuel and blends with biodiesel in the full range from 0 % to 100 %: Application to biodiesel content estimation. **Fuel**, v. 188, p. 367–373, 2017.

DAI, Y.; KAO, I.; CHEN, C. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers Evaluating the optimum operating parameters of biodiesel production process from soybean oil using the Li₂TiO₃ catalyst. **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, v. 70, p. 260–266, 2017.

DANTAS, M. B. Blendas de Biodiesel: Propriedades de Fluxo, Estabilidade Térmica e Oxidativa e Monitoramento Durante Armazenamento. Tese de doutorado em Engenharia Química. Universidade Federal da Paraíba, 2010.

DEMIRBAS, A. Biodiesel Fuels from Vegetable Oils via catalytic and non-catalytic supercritical alcohol transesterifications and other methods: a survey. **Energy conversion and Management**, v. 44, p. 2093-2109, 2003.

DI SERIO, M. et al. Transesterification of Soybean Oil to Biodiesel by Using Heterogeneous Basic Catalysts. **Ind. Eng. Chem. Res.**, v. 45, p. 3009–3014, 2006

FERNANDES, D.D.S.; GOMES, A.A.; COSTA, G.B.; SILVA, G.W.B.; VERAS, G. Determinations of biodiesel content in biodiesel/diesel blends using NIR and visible spectroscopy with variable selection. **Talanta**, v.87, p. 30-34, 2011.

FERELLA, F.; CELSO, G. M.; MICHELIS, I.; STANISCI, V.; VEGLIO, F. Optimization of the transesterification reaction in biodiesel production. **Fuel**, v. 89, p. 36–42, 2010.

FREITAS, S. V. D.; SEGOVIA, J.J.; MARTÍN, M. C.; ZAMBRANO, J.; OLIVEIRA, M.B.; LIMA, A.S.; COUTINHO, J.A.P. Measurement and prediction of high-pressure viscosities of biodiesel fuels. **Fuel**, v. 122, p. 223–228, 2014.

GABRIEL, R. et al. Empirical modeling of different viscosity and density behavior of biodiesel from chichá (*Sterculia striata*) with diesel versus temperature variation. **Journal of King Saud University - Science**, v. 32, p. 628–635, 2020.

GABRIEL, R. et al. Mixed metal oxides derived from layered double hydroxide as catalysts for biodiesel production. *Applied Catalysis A: General*. **Elsevier**, 25 jan. 2022b.

GONCA, G.; DOBRUCALI, E. Theoretical and experimental study on the performance of a diesel engine fueled with diesel e biodiesel blends. **Renewable Energy**, v. 93, p. 658–666, 2016.

GÜLÜM, M.; BILGIN, A. Density , fl ash point and heating value variations of corn oil biodiesel – diesel fuel blends. **Fuel Processing Technology**, v. 134, p. 456–464, 2015.

GÜLÜM, M.; BILGIN, A. Two-term power models for estimating kinematic viscosities of different biodiesel-diesel fuel blends. **Fuel Processing Technology**, v. 149, p. 121–130, 2016.

HANIS, S. et al. A review of biomass-derived heterogeneous catalyst for a sustainable biodiesel production. n. September 2015, 2016.

HOEKMAN, S.K.; BROCH, A.; ROBBINS, C.; CENICEROS, E.; NATARAJAN, M. Review of biodiesel composition, properties, and specifications. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, p. 143-169, 2012.

JIANG, DA-Y.; BAI, Y.; GUO, HE-J. Exhaust emissions and combustion performances of ethylene glycol mono ether palm oil monoester as a novel biodiesel, **African Journal of Biotechnology**, v. 10, p 16300-16313, 2011.

JOSHI, D. S.R.G.; LAMBA, B.Y.; TIWARI, A. K.;MALLICK, S. Impact of additives on storage stability of Karanja (*PongamiaPinnata*) biodiesel blends with conventional diesel sold at retail outlets.

JUNG, H.; KITTELSON, D. B.; ZACHARIAH, M. R. Characteristics of SME Biodiesel- Fueled Diesel Particle Emissions and the Kinetics of Oxidation. **Environ. Sci. Technol.**, v. 40, p. 4949-4955, 2006.

KOZAK, L.; NIEDZIELKI, P.; WACHOWIAK, W. The tandem analytical method of flow injection diode array spectrophotometry end flame atomic absorption spectrometry (FI-DAD(vic)- FAAS) in iron speciation studies using 1, 10-phenanthroline complexes. **Microchemical Journal**, 2013.

LEI, T. et al. Performance and emission characteristics of a diesel engine running on optimized ethyl levulinate e biodiesel e diesel blends. **Energy**, v. 95, p. 29–40, 2016.

MAHLIA, T. M. I.; SYAZMI, Z. A. H. S. Patent landscape review on biodiesel production: Technology updates. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 118, n. November 2019, p. 109526, 2020.

MATTOS, R. A. Estudo da influência de aditivos naturais nos pontos de entupimento a frio, de turbidez e de fulgor de biodiesel e de misturas diesel-biodiesel. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP, 2012.

MELO, M. A. R. Avaliação dos parâmetros de biodiesel e blendas durante armazenamento. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa – PB, 2014.

MENG, X.; JIA, M.; WANG, T. Neural network prediction of biodiesel kinematic viscosity at 313 K. **Fuel**, v. 121, p. 133–140, 2014.

MENEZES, E. W. Produção de trabalho, geração de contaminantes e tratamentos pós combustão em motores ciclo diesel. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RS, 2009.

MENDONÇA, D. R. Emprego de catalisadores de estanho (IV) em reações de transesterificação: obtenção de biodiesel. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió-AL, 2008.

NAZARIO, J. L. Avaliação do Efeito da Agitação e Mistura no Processo de Produção do Biodiesel de Mamona via Transesterificação Metálica. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química. Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2014.

NOGUEIRA, N. S. Análise Delphi e SWOT das Matérias-primas de Produção de Biodiesel: Soja, Mamona e Microalgas. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro – RJ

OLIVEIRA, E. M. S. Estudo de produção e caracterização de biodiesel produzido por transesterificação com catalisadores: Tris-dodecilsulfato de Cério (III), Ce/HUSY E KF/MgO. 2012. 109 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade de Brasília, Brasília,

OLIVEIRA, F. J. S. et al. Generation, characterization and reuse of solid wastes from a biodiesel production plant. **Waste Management**, 2016.

PARENTE, E. J.S. BIODIESEL: Uma aventura tecnológica num país engraçado. Fortaleza-CE, 2003.

PATEL, R. L.; SANKHAVARA, C. D. Biodiesel production from Karanja oil and its use in diesel engine : A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, n. April 2015, p. 0–1, 2016.

PEITER, A. S. et al. Journal of King Saud University – Science Stirring and mixing in ethylic biodiesel production. **Journal of King Saud University - Science**, v. 32, p. 54–59, 2020.

- PINHO, D. M. M. et al. Evaluating the use of EN 14078 for determination of biodiesel in diesel blends sold in the Brazilian market. **FUEL**, v. 136, p. 136–142, 2014.
- PIDOL, L.; LECOINTE, B.; STARCK, L.; JEULAND, N. Ethanol-biodiesel-Diesel fuel blends: Performances and emissions in conventional Diesel and advanced Low Temperature combustions. **Fuel**, v. 93, p. 329-338, 2012.
- PONTES, A. S. G. C.; SANTOS, I.G.;CARVALHO, J.R.; SOUSA, A.G. Influência da temperatura nas propriedades das blendas diesel/biodiesel de óleo de peixe. *IV Congresso Brasileiro de Mamona e I Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas*, João Pessoa, p. 122 – 127, 2010.
- RAMÍREZ-VERDUZCO, L. F. et al. Prediction of the density and viscosity in biodiesel blends at various temperatures. v. 90, p. 1751–1761, 2011.
- RAMÍREZ-VERDUZCO, L. F.; RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ, J. E.; JARAMILLO-JACOB, A. R. Predicting cetane number , kinematic viscosity , density and higher heating value of biodiesel from its fatty acid methyl ester composition. v. 91, p. 102–111, 2012.
- RAMOS, L. P. et al. Tecnologias de Produção de Biodiesel. **Revista Virtual de Química** v. 3n. 5 p. 385-405, 2011.
- REYNA-VILLANUEVA, L. R. et al. Biodiesel production using layered double hidroxides and derived mixed oxides: The role of the synthesis conditions and the catalysts properties on biodiesel conversion. v. 251, n. March, p. 285–292, 2019.
- ROY, M. M. et al. Emission analysis of a modern Tier 4 DI diesel engine fueled by biodiesel-diesel blends with a cold flow improver (Wintron Synergy) at multiple idling conditions. **Applied Energy**, v. 179, p. 45–54, 2016.
- SERIO, M. DI et al. Heterogeneous Catalysts for Biodiesel Production. n. 9, p. 207–217, 2008.
- SALLET, C. L.; ALVIM, A. M. Biocombustíveis: uma análise da evolução do biodiesel no Brasil. **Economia & Tecnologia** - Ano 07, Vol. 25 - Abril/Junho de 2011.
- SAXENA, P.; JAWALEB, S.; JOSHIPURAC, M.H. A review on prediction of properties of biodiesel and blends of biodiesel. **Procedia Engineering**, v. 51, p. 395 – 402, 2013.
- SHUMAKER, J. L. et al. Biodiesel production from soybean oil using calcined Li – Al layered double hydroxide catalysts. v. 115, n. May, p. 56–61, 2007.
- SILVA, M. A. A. et al. A new spectrophotometric method for determination of biodiesel content in biodiesel / diesel blends. **Fuel**, v. 143, p. 16–20, 2015.
- SCHUCHARDT, U.; SERCHELI, R.; VARGAS, R.M.. Transesterification of vegetable oils: a Review. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 9, n. 1, p. 199-210, 2004.
- SHEHATA, M.S. Emissions, performance and cylinder pressure of diesel engine fuelled by biodiesel fuel, **Fuel**, v. 112, p. 513e522, 2012.
- SILVA, M. A. A. et al. A new spectrophotometric method for determination of biodiesel content in biodiesel / diesel blends. **Fuel**, v. 143, p. 16–20, 2015.

- SINGH, D. et al. Chemical compositions, properties, and standards for different generation biodiesels : A review. **Fuel**, v. 253, n. March, p. 60–71, 2019.
- STAUDT, P. B. Nova equação cúbica de estado para a predição do equilíbrio líquido-vapor de misturas complexas envolvendo polímeros e óleos. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS.
- SUAREZ, P.A.Z.; SANTOS, A. L. F.; RODRIGUES, J. P.; ALVES, M. B.; Biocombustíveis a partir de óleos e gorduras: desafios tecnológicos para viabiliza-los. **Quim. Nova**, V. 32, No. 3, p. 768-775, 2009.
- SOUZA, J.E.; SCHERER, M. D.; CACERES, J.A.S.; CAIRES, A.R.L.; M'PEKO, J.C. A close dielectric spectroscopia analysis of diesel/biodiesel blends and potential dielectric approaches for biodiesel content assessment. **Fuel**, v. 105, p. 705-710, 2013.
- TANG, S. et al. Impacts of biodiesel blends on PM 2.5, particle number and size distribution, and elemental / organic carbon from nonroad diesel generators. **Fuel**, v. 172, p. 11–19, 2016.
- TESFA, B. et al. Prediction models for density and viscosity of biodiesel and their effects on fuel supply system in CI engines. **Renewable Energy**, v. 35, p. 2752 - 2760, 2010
- TRAN, D.; CHANG, J.; LEE, D. Recent insights into continuous-flow biodiesel production via catalytic and non-catalytic transesterification processes. **Applied Energy**, v. 185, p. 376–409, 2017.
- VERMA, P.; DWIVEDI, G.; SHARMA, M. P. Comprehensive analysis on potential factors of ethanol in Karanja biodiesel production and its kinetic studies. **Fuel**, v. 188, p. 586–594, 2017.
- VERMA, P.; SHARMA, M. P. Review of process parameters for biodiesel production from different feedstocks. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 62, p. 1063–1071, 2016.
- VULTOS, D. A. A. N. Desenvolvimento Sustentável: A utilização do Biodiesel no Concelho do Seixal Daniel. 2012. Dissertação (Mestrado em Ecologia Humana e Problemas Sociais Contemporâneos) - Universidade Nova Lisboa. Lisboa, 2012.
- YAN, S.; SALLEY, S. O.; NG, K. Y. S. Simultaneous transesterification and esterification of unrefined or waste oils over ZnO-La₂O₃ catalysts. **Applied Catalysis A : General** v. 353, p. 203–212, 2009.
- YELLAPU, S. K.; KAUR, R.; TYAGI, R. D. Bioresource Technology Detergent assisted ultrasonication aided in situ transesterification for biodiesel production from oleaginous yeast wet biomass. **Bioresource Technology**, v. 224, p. 365–372, 2017.
- ZARSKA, M.; BARTOSZEK, K.; DZIDA, M. High pressure physicochemical properties of biodiesel components derived from coconut oil or babassu oil. **Fuel**, v. 125, p. 144–151, 2014.
- ZHOU, D. et al. The Journal of Supercritical Fluids Continuous production of biodiesel from soybean flakes by extraction coupling with transesterification under supercritical conditions : **Original research article**. v. 120, p. 395–402, 2017.

RAFAELA GABRIEL

atua na área de Engenharia Química, cujas contribuições têm sido amplamente reconhecidas tanto no meio acadêmico. Com uma formação sólida e abrangente, Rafaela possui doutorado, mestrado e graduação em Engenharia Química pela prestigiada Universidade Federal de Alagoas (UFAL), onde desenvolveu uma base teórica e prática que sustenta sua carreira. Além disso, ela complementa sua trajetória acadêmica com uma formação técnica em Química Industrial pelo Instituto Federal de Alagoas (IFAL), o que lhe confere uma visão prática e aplicada, essencial para a resolução de problemas complexos no campo da engenharia química.

Ao longo de sua carreira, Rafaela tem se destacado na área de produção e caracterização de biocombustíveis, uma área de crescente importância devido às demandas por fontes de energia mais sustentáveis. Sua atuação não se limita apenas ao desenvolvimento desses combustíveis alternativos, mas também se estende à síntese de novos materiais, onde aplica sua expertise para inovar e criar soluções que possam ser aplicadas em diversas indústrias. Atualmente, tem se dedicado ao desenvolvimento de materiais para aplicação na área de adsorção. A dedicação de Rafaela à pesquisa e ao desenvolvimento tecnológico é um reflexo de seu compromisso contínuo com a inovação e a sustentabilidade, valores que permeiam todas as suas atividades profissionais. Sua carreira é marcada por uma busca constante pela excelência, sempre orientada por um profundo senso de responsabilidade em relação ao meio ambiente e ao futuro das próximas gerações.

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DAS BLENDDAS DE BIODIESEL DE OURICURI E CHICHÁ E DIESEL DE PETRÓLEO

 www.atenaeditora.com.br

 contato@atenaeditora.com.br

 @atenaeditora

 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DAS BLENDA DE BIODIESEL DE OURICURI E CHICHÁ E DIESEL DE PETRÓLEO

 www.atenaeditora.com.br

 contato@atenaeditora.com.br

 @atenaeditora

 www.facebook.com/atenaeditora.com.br