

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO BIODIESEL DE ALGODÃO

Adeilson Carvalho¹, Geovani Marques Laurindo¹, Bruno de Oliveira Garcia¹, Tales Giarola¹, Antônio Carlos Fraga¹, Pedro Castro Neto¹, Elisângela Elena Nunes Carvalho¹ e Jackson Antônio Barbosa¹

¹Universidade Federal de Lavras – UFLA, Departamento de Engenharia, Campus Universitário, CEP: 37200-000, Bairro Centro, Lavras, MG. E-mail: adeilson@transportes.ufla.br

RESUMO: *Existem motivações de ordem ambiental e energética para que combustíveis renováveis sejam cada vez mais utilizados. O biodiesel é uma das alternativas renováveis à utilização de óleo diesel de origem fóssil e sua utilização tem crescido no mundo. No Brasil, existe uma condição muito favorável para o cultivo de oleaginosas para biodiesel, que aparece como proposta de solução ambiental, energética e social. A utilização de biodiesel no Brasil tem sido crescente desde 2004. Este trabalho teve por objetivo caracterizar as propriedades físico-químicas do biodiesel de óleo de algodão e de diferentes misturas desse biodiesel ao diesel comercial com a finalidade de utilização em substituição ao óleo diesel de origem mineral. Foram preparadas e analisadas diversas misturas de diesel comercial (DC), sendo que esse foi tomado como referência com biodiesel de óleo de algodão (B100) em diferentes proporções, assim descritas: 98% DC e 2% B100; 94% DC e 6% B100; 88% DC e 12% B100; 80% DC e 20% B100; 76% DC e 24% B100; 50% DC e 50% de B100; 20% DC e 80% B100. Foram analisados também DC e o B100. O experimento foi conduzido em Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), com 3 repetições e foram realizadas as seguintes análises: aspecto visual, cor, índice de acidez, viscosidade, densidade, ponto de fulgor e poder calorífico. Constatou-se que o comportamento reológico do diesel (DC), B100 e todas as misturas BX é Newtoniano. As misturas B50 e B80 apresentaram viscosidade, densidade e índice de acidez acima do limite máximo preconizado pela Resolução ANP nº 30/2016. O biodiesel B100 apresentou índice de acidez acima do estabelecido pela legislação vigente (Resolução ANP nº 45/2014). A produção do biodiesel a partir do óleo de algodão é uma alternativa viável, uma vez que quando utilizado em misturas com diesel mineral até o limite de 24% atende as especificações da Resolução ANP nº 30/2016.*

PALAVRAS-CHAVE: Biocombustíveis. *Gossypium hirsutum*, Ponto de Fulgor.

PHYSICAL-CHEMICAL CHARACTERIZATION OF COTTON BIODIESEL

ABSTRACT: *There are a number of environmental and energy motivations regarding the increasing use of renewable fuels. Biodiesel is one of the renewable alternatives to the use of fossil diesel and its use has grown worldwide. In Brazil, there is a very favorable condition for the cultivation of oilseeds, and biodiesel appears as a proposal for environmental, energy and social solution. The use of biodiesel in Brazil has been growing since 2004. This study aimed at characterizing the physico-chemical properties of the biodiesel of produced from cotton oil and its mixture with commercial diesel in different doses, for the purpose of replacing mineral fuel. Commercial Diesel (DC) mixed with biodiesel of cotton oil (B100) in different proportions, as described: 98% DC and 2% B100; 94% DC and 6% B100; 88% DC and 12% B100; 80% DC and 20% B100; 76% DC and 24% B100; 50% DC and 50% B100; 20% DC and 80% B100. The experiment design was completely randomized, with 3 replications. The following analyses were carried out: visual aspect, color, acidity index, viscosity, density and flash point. It was found that the rheological behavior of diesel, B100 and all BX mixes is Newtonian. The mixtures B50 and B80 showed viscosity, density and acidity index above the maximum limit recommended by the ANP 30/2016 resolution.*

Biodiesel B100 presented acidity index above of that established by the current legislation (ANP 45/2014 resolution). The production of biodiesel from cotton oil is a viable alternative, since when used in mixtures with mineral diesel up to the limit of 24%, it meets the specifications of the ANP 30/2016 resolution.

KEYWORDS: *Biofuels, Gossypium hirsutum. Flash Point.*

INTRODUÇÃO

A maior parte da energia consumida no mundo provém do petróleo, carvão e do gás natural. Essas fontes são limitadas e com previsão de esgotamento no futuro, portanto, a busca por fontes alternativas de energia é de suma importância. Neste contexto, o uso de biodiesel como combustível alternativo ao diesel mineral torna-se cada vez mais importante, devido a preocupações ambientais, econômicas e sociais (Demirbas, 2008; Ramos et al., 2017). De acordo com a legislação vigente, o biodiesel pode ser classificado como qualquer combustível alternativo, de natureza renovável, que possa oferecer vantagens socioambientais ao ser empregado na substituição total ou parcial do diesel de petróleo em motores de ignição por compressão interna (motores do ciclo Diesel). No entanto, o único tipo de biodiesel já regulamentado no território brasileiro corresponde aos ésteres alquílicos derivados de óleos ou gorduras de origem vegetal ou animal (Ramos et al., 2017).

O biodiesel puro é referido como B100 ou somente biodiesel, enquanto as misturas diesel-biodiesel são designadas por BX, sendo X a porcentagem volumétrica de biodiesel misturado ao óleo diesel (Berman et al., 2011). No Brasil, a venda de mistura BX é obrigatória em todos os postos combustíveis que revendem óleo diesel. Como em vários países, no Brasil os percentuais de biodiesel em óleo diesel têm aumentado sucessivamente, onde iniciou-se pela mistura B2 e durante maior parte do tempo houve o uso da mistura B5 sendo atualmente obrigatório o uso da mistura B8.

A produção de biodiesel pode ser realizada a partir de uma grande variedade de matérias-primas que incluem a maioria dos óleos vegetais e gorduras de origem animal, bem como óleos e gorduras residuais. Dentre estas matérias-primas se destaca o algodão, que tem dado resultados otimistas em relação a ser utilizado como biocombustível devido à quantidade de óleo presente no caroço, que pode chegar a 20%.

O biodiesel proveniente do óleo do caroço de algodão é mais barato em relação ao mesmo produto proveniente da soja, entretanto é produzido em menor escala do que o biodiesel de soja. Apesar da diferença nas produções, há uma grande quantidade de matéria-prima para fabricação deste biodiesel nas regiões nordeste e centro-oeste, proporcionada pela

concentração do plantio de algodão nestas duas regiões, o que poderia gerar, no futuro, uma maior produção desse biocombustível.

Para o biodiesel ser comercializado em larga escala, atendendo a demanda exigida pelo mercado, é necessário que sua qualidade seja garantida, sendo para isso necessário realizar sua caracterização físico-química. As especificações para a comercialização de biodiesel no Brasil são uma das mais exigentes no mundo e estão estabelecidas pela Resolução ANP nº45 de 25/08/2014 (ANP, 2014).

Diante disso, este trabalho teve por objetivo caracterizar as propriedades físico-químicas do biodiesel de óleo de algodão e de diferentes misturas desse biodiesel ao diesel comercial com a finalidade de utilização em substituição ao óleo diesel de origem mineral.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de refrigeração do Departamento de Ciência dos Alimentos (DCA) e setor de Protótipos do Laboratório de Pesquisa em Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel da Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, Minas Gerais.

Foram utilizadas como matéria prima na extração de óleo para produção do biodiesel, sementes de algodão com línter da variedade DP 1536 B2RF, produzidas na safra 2016/2017, fornecidas pela Cooperativa de Produtores Rurais de Catuti, localizada na cidade de Catuti, região norte do estado de Minas Gerais. A extração do óleo foi feita mecanicamente em extratora de óleos do tipo expeller. O biodiesel foi produzido por transferência básica por via metanólica.

Foi utilizado o diesel comercial (DC), disponível nos postos de abastecimento, tomando-se esse diesel como referência para a análise das diversas misturas do mesmo com as diferentes proporções de biodiesel. Ressalta-se que esse diesel tomado como referência durante a execução do experimento, contém 8% de biodiesel de matéria-prima não especificada. Em seguida, foram utilizadas e analisadas misturas deste diesel (DC) tomado como referência com biodiesel de óleo de algodão (B100) em diferentes proporções, assim descritas: 98% DC e 2% B100; 94% DC e 6% B100; 88% DC e 12% B100; 80% DC e 20% B100; 76% DC e 24% B100; 50% DC e 50% de B100; 20% DC e 80% B100. Foram analisados também DC e o B100. O experimento foi conduzido em Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), com 3 repetições. Sendo realizadas as seguintes análises:

Aspecto visual

O biodiesel produzido, as misturas e o diesel (B8) foram observados, contra a luz, e analisados visualmente, caracterizando-os de acordo com a classificação descrita por Teixeira (2010), podendo ser: Heterogêneo quando apresentar duas fases; Límpido com impurezas e cristais; Límpido e isento de impurezas (LII); Turvo (névoa) com impurezas; e Turvo (névoa) e isento de impurezas.

Avaliação instrumental da cor

Utilizou-se um colorímetro Minolta Chroma Meter CR-400, calibrado em superfície de porcelana branca e com a determinação no modo CIE $L^*a^*b^*$. As leituras dos parâmetros L^* (Luminosidade), a^* e b^* permitiram calcular o ângulo Hue, ou seja, tonalidade ou matiz. O ângulo Hue equivale ao [arco tangente (b^*/a^*)], conforme Minolta (1994).

Viscosidade

Foi obtido com a utilização de viscosímetro Brookfield DV-III Ultra a temperatura de 40° C e resultados expressos em mm²/s.

Densidade

Os dados de densidade foram determinados em um Densímetro Digital de bancada (DMA 4500, Anton Paar). As amostras de biodiesel foram injetadas diretamente no equipamento com o auxílio de uma seringa descartável, sem bico rosqueado. Após a estabilização da temperatura foi efetuada a leitura. Resultados expressos em Kg/m³.

Índice de Acidez

Foi determinado através de titulação potenciométrica, segundo o método normalizado ASTM D 664 (ASTM, 2009). A titulação das amostras foi realizada em triplicata. Os resultados foram expressos em mg KOH/g amostra.

Ponto de Fulgor

Foi determinado com base no método da ASTM D 93 (ATSM, 2010). Homogeneizou-se a amostra no recipiente original; condicionou-se a temperatura da amostra para, no mínimo, 18 °C abaixo do ponto de fulgor esperado. Transferiu-se uma alíquota para a cuba do aparelho, preenchendo até a marca de enchimento; colocou-se a tampa na cuba e ajustou-se no aparelho; acendeu-se a chama de teste e a ajustou para 4 mm de diâmetro; anotou-se a temperatura do ponto de fulgor, quando aconteceu um lampejo no interior da cuba ao aplicar-se a chama.

Poder calorífico

O poder calorífico das amostras foi obtido com a utilização de uma Bomba calorimétrica automática fab/mod: IKA / C-200. Resultados expressos em Kcal/Kg.

Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade e utilizou-se o Sistema para Análise de Variância - SISVAR (Ferreira, 2000). Além de análise multivariada por componentes principais (PCA) - por meio do software Sensomaker® (Pinheiro et al., 2013).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O aspecto visual de um combustível trata-se de uma análise preliminar, onde se procura verificar a presença de impurezas que possam ser identificadas visualmente, como materiais em suspensão, sedimentos ou mesmo turvação na amostra, que pode ser decorrente da presença de água. Na ausência destes contaminantes, o biodiesel é classificado como límpido e isento de impurezas (Lôbo et al, 2009).

Quanto ao aspecto (determinação de aparência) tanto o diesel comercial quanto o biodiesel puro e suas misturas apresentaram aspecto límpido e isento de impurezas (Tabela 1) e, portanto, estão em conformidade com o limite proposto pelas normas vigentes: RESOLUÇÃO ANP Nº 45 DE 25/08/2014 (RT nº 3/2014) que regulamenta e especifica o

biodiesel a ser comercializado no Brasil e RESOLUÇÃO ANP N° 30 DE 23/06/2016 (RT n° 2/2016) que regulamenta e especifica o óleo diesel BX a B30 comercializados no Brasil.

Os resultados são compatíveis aos encontrados por Cortas et. al. (2015) em diesel S10 e diesel S500 e suas misturas com biodiesel de soja e de sebo (90:10), onde todas as amostras analisadas apresentaram aspecto LII e se encontravam dentro da especificação da norma vigente a época

Tabela 1 - Aspecto do diesel comercial (DC), biodiesel puro (B100) e suas misturas.

Ensaio	Método	Limite	Resultado								
			DC	B2	B6	B12	B20	B24	B50	B80	B100
Aspecto	Visual	LII*	LII*	LII*	LII*	LII*	LII*	LII*	LII*	LII*	LII*

LII* = Límpido e Isento de Impurezas

A cor do combustível é uma característica física que pode indicar alterações, podendo estar relacionadas com contaminações e degradação por estocagem prolongada ou até mesmo problemas relacionados à produção (Cunha et al., 2014).

O valor L* corresponde a luminosidade e mostra quão claro ou quão escuro está uma amostra com valores variando de 0 (totalmente preta) a 100 (totalmente branca). Houve diferença estatística entre as amostras (Figura 1). O diesel comercial apresentou-se mais claro que o B100 e todas as misturas. As misturas de 50 e 80% são tão escuras quanto o B100.

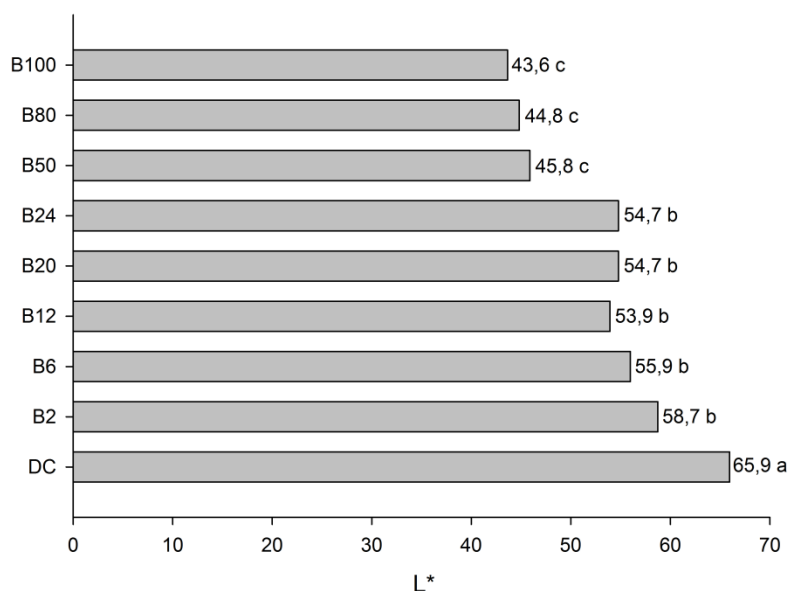


Figura 1 - Valores médios de L* para diesel comercial (DC), biodiesel de óleo de algodão (B100) e suas misturas. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Scoot Knot ao nível de 5% de probabilidade.

O ângulo hue (h°) diz respeito à matiz, normalmente utilizado como sinônimo de cor, sendo que 0° representa o vermelho puro, 90° o amarelo puro, 180° o verde puro e 270° o azul puro. Para a variável ângulo hue houve diferença significativa entre diesel comercial, B100 e suas misturas (Figura 2).

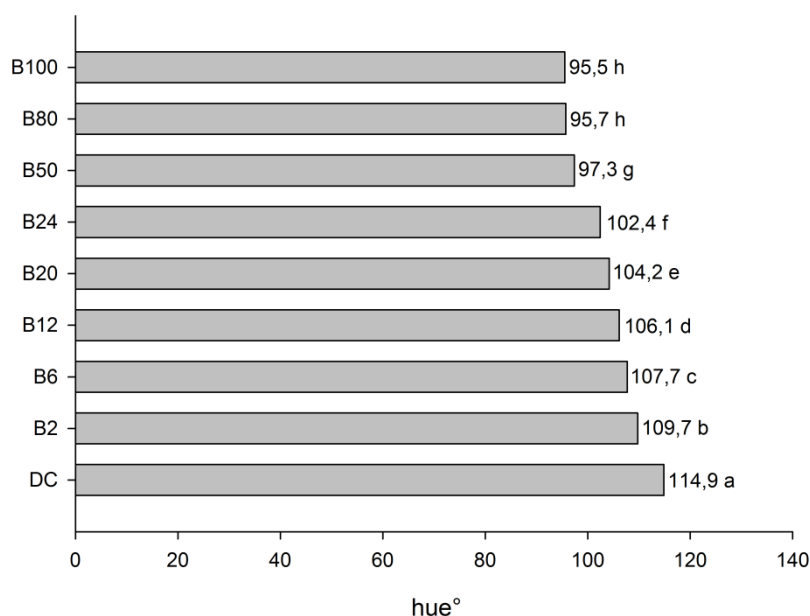


Figura 1 - Valores médios do ângulo Hue (hue°) para diesel comercial (DC), biosídesel de óleo de algodão (B100) e suas misturas. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Scott Knot ao nível de 5% de probabilidade.

Todas as amostras se localizam no quadrante amarelo (90° - 180°), as misturas com maior porcentagem de biodiesel (50 e 80%) se aproximaram mais da cor do B100 marrom claro, vale ressaltar que estas foram as amostras que apresentaram os menores valores de L^* , portanto as mais escuras. Onukwuli et al. (2017) também observaram cor marrom claro no biodiesel de óleo de algodão (B100) produzido por eles. Já as demais misturas e diesel comercial apresentaram coloração amarela. Todas as amostras analisadas estão em conformidade com as especificações exigidas e contidas no Regulamento Técnico nº 2 da RESOLUÇÃO ANP Nº 30/2016 (Tabela 2). Apesar do método de medição de cor instrumental utilizando colorímetro não seja o especificado na resolução acima citada, essa metodologia origina resultados confiáveis e condizentes com o método ASTM sugerido pela legislação.

Tabela 2 - Especificação do óleo diesel BX a B30.

Característica	Método	Limite		
		S10	S500	S1800 Não rodoviário
Cor	Visual	(3)	Vermelho (4)	(5)
Cor ASTM, Máx.	NBR 14483 ASTM D6045 ASTM D1500	(3)		

(3) Incolor a amarelada, podendo apresentar-se ligeiramente alterada para as tonalidades marrom e alaranjada devido à coloração do biodiesel.

(4) O corante vermelho deverá ser especificado conforme a Resolução ANP nº 50/2013, ou outra que venha substituí-la.

(5) Coloração de amarelo a alaranjado, podendo apresentar-se ligeiramente alterado para a tonalidade marrom devido à coloração do biodiesel.

A viscosidade dinâmica de qualquer fluido é dada pela relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação. Para fluidos newtonianos essa relação é constante e a viscosidade não depende da taxa de deformação (Zuniga et al., 2011).

Na temperatura de estudo deste trabalho (40°C) constatou-se que o comportamento reológico do diesel, B100 e todas as misturas BX pode ser classificado como Newtoniano, uma vez que verificou-se uma variação linear (com coeficiente linear igual a zero) da tensão de cisalhamento em função da taxa de cisalhamento (Figura 3).

A viscosidade de um combustível tem influência na lubrificação da bomba e bicos injetores e está relacionada à sua atomização, à sua distribuição no motor e tem influência no processo de queima na câmara de combustão do motor. Uma alta viscosidade ocasiona heterogeneidade na combustão, devido à diminuição da eficiência de atomização na câmara de combustão, ocasionando a deposição de resíduos nas partes internas do motor, além de causar um maior esforço da bomba injetora. Valores baixos de viscosidade resultam em desgaste excessivo e vazamentos nestas partes do sistema de alimentação (Lôbo et al., 2009; Verduzco, 2013). De acordo com Hussan et al. (2013), cerca de 5 dos 8 problemas mais frequentes relacionados a falhas de motores diesel estão relacionados, na verdade, com a viscosidade do combustível.

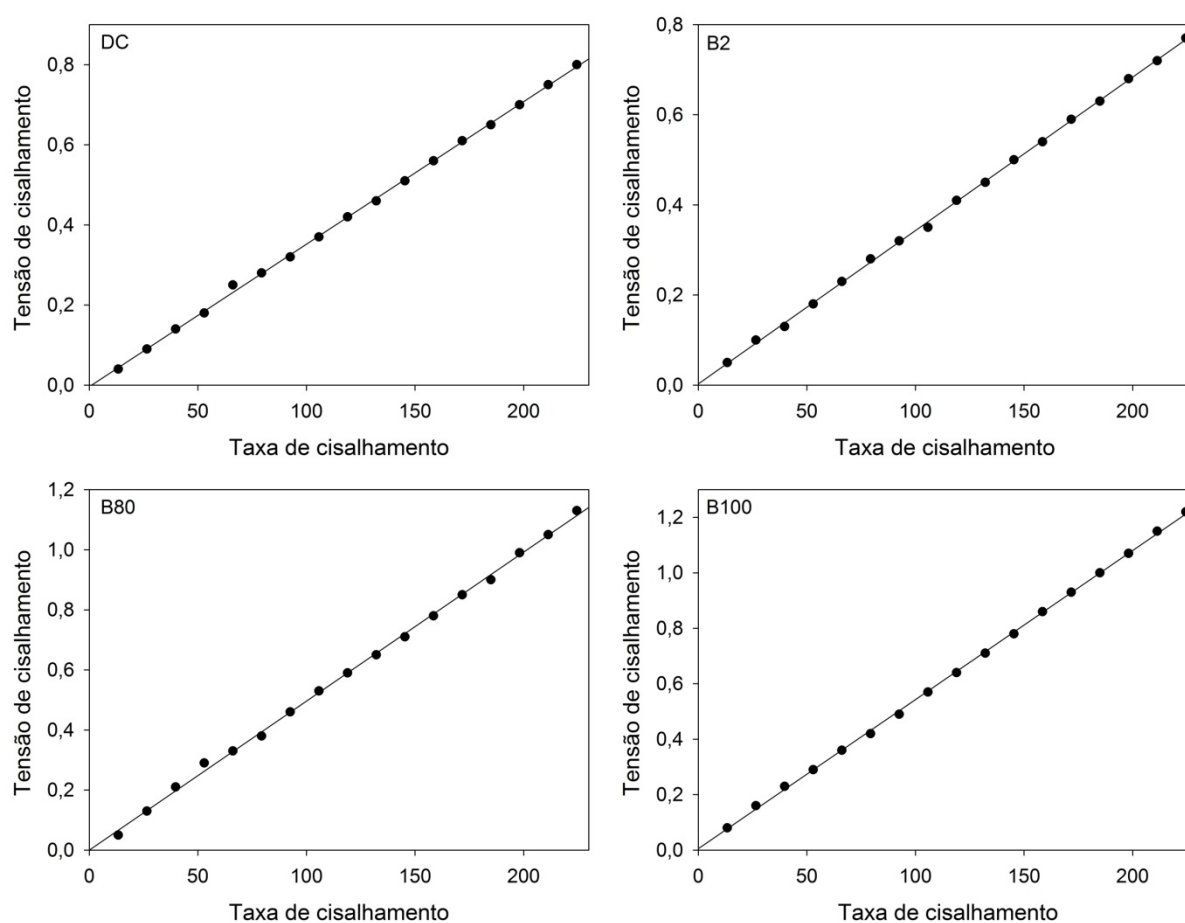


Figura 3 - Curvas de escoamento para misturas B2, B80, diesel comercial (DC) e B100.

Houve diferença estatística significativa entre as amostras analisadas (Figura 4). A viscosidade do B100 produzido se encontra dentro do limite imposto pela RESOLUÇÃO ANP N° 45/2014 (RT n° 3/2014) que é 3,0 a 6,0 mm²/s. Apenas as misturas 50 e 80% estavam acima do intervalo estabelecido pela RESOLUÇÃO ANP N° 30 DE 23/06/2016 (RT n° 2/2016) de 1,9 a 4,1 mm²/s, apesar de estar dentro do limite estabelecido pela resolução ANP 5/2014.

Onukwuli et al. (2017) ao produzirem biodiesel de óleo de algodão encontraram um valor de 6,81 mm²/s para o B100, valor acima do encontrado no presente trabalho.

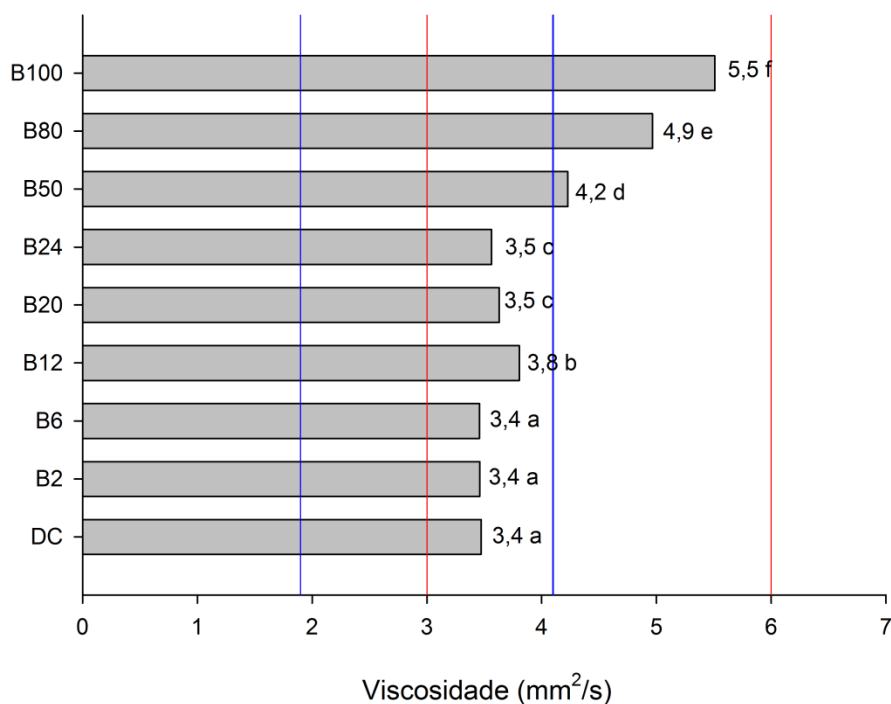


Figura 4 - Valores médios de viscosidade para diesel comercial (DC), biodiesel de óleo de algodão (B100) e suas misturas. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Scoot Knot ao nível de 5% de probabilidade. Linha de referência azul representa limite Resolução ANP 30/2016 e vermelha Resolução ANP 45/2014.

A densidade constitui indicativo de como a matéria está organizada num corpo, ou seja, pode ser representada pela quantidade de massa por unidade de volume do combustível injetado no motor (Zuniga et al., 2011). Essa propriedade fluidodinâmica deve ser considerada na avaliação do funcionamento de motores a injeção por compressão (motores diesel). Como a bomba injetora alimenta o motor com volumes constantes para cada condição de operação, a variação da densidade promove alteração da massa de combustível injetada. (Folquenin, 2008; Zuniga et al., 2011).

Houve interação estatística significativa entre as amostras analisadas para a variável densidade. Quanto maior a quantidade de biodiesel adicionada ao diesel comercial maior foi a densidade da amostra (Figura 5). Todas as misturas analisadas, diesel comercial e biodiesel (B100) estão de acordo com os limites preconizados pelas resoluções ANP N° 45/2014 (850 a 900 Kg/m³) e apenas a mistura contendo 80% de biodiesel estava acima do limite máximo aceitável pela ANP N° 30/2016 (817 a 865 Kg/m³), sendo 4% mais densa que o diesel comercial. Alptekin e Canakc (2008) encontraram um valor de 880 Kg/m³ para o biodiesel de óleo de algodão.

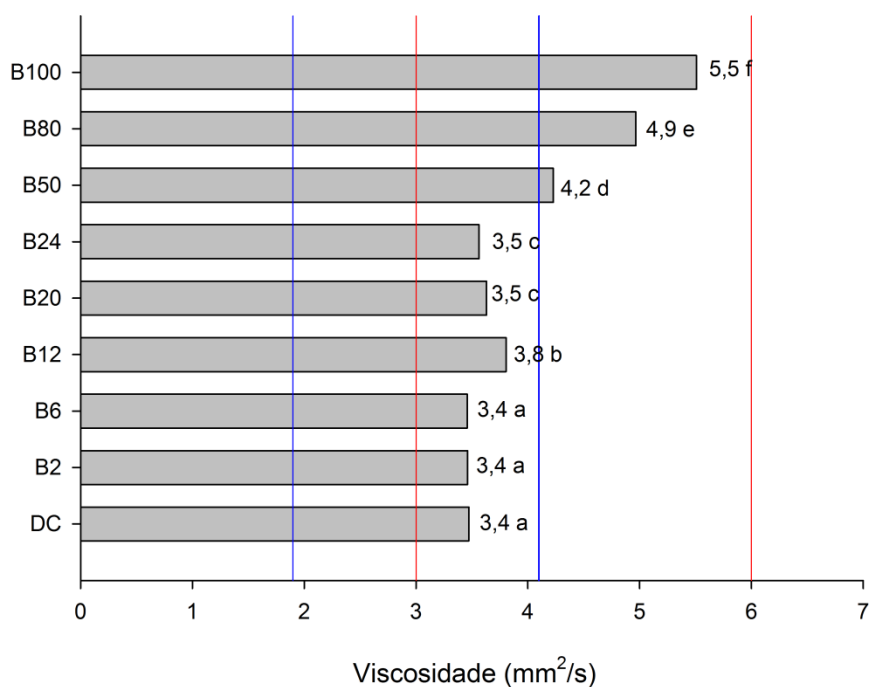


Figura 5 - Valores médios de densidade para diesel comercial (DC), biodiesel de óleo de algodão (B100) e suas misturas. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Scoot Knot ao nível de 5% de probabilidade. Linha de referência azul representa limite Resolução ANP 30/2016 e vermelha Resolução ANP 45/2014.

O índice de acidez expressa o teor de ácidos graxos livres que estão contidos em óleos vegetais ou gorduras sejam residuais ou virgens e quando presentes no biodiesel podem ser oriundos do processo de produção ou de degradação do mesmo. O alto índice de acidez pode causar deposição de sedimentos no motor e desgaste da bomba e filtro de combustível (Miyashiro et al., 2013).

Houve diferença estatística significativa entre as amostras analisadas (Figura 6). A legislação vigente (Resolução ANP 45/2014), que estabelece os parâmetros de qualidade para o biodiesel, preconiza um limite máximo de índice de acidez de 0,5% e consequentemente o biodiesel produzido com óleo de algodão analisado se encontra acima desse limite. Já resolução ANP 30/2016 que estabelece a especificação de óleo diesel BX a B30 impõe valor máximo de 0,3% para o índice de acidez, assim as misturas (2, 6, 12, 20 e 24%) estão de acordo com a legislação o que indica que não causarão problemas de corrosão às partes metálicas dos tanques de armazenamento e do motor.

Miyashiro et al. (2013), produziram biodiesel a partir de óleos e gorduras residuais e encontraram valores máximos 0,50 mg de KOH/g de acidez, valores abaixo o encontrado no presente trabalho.

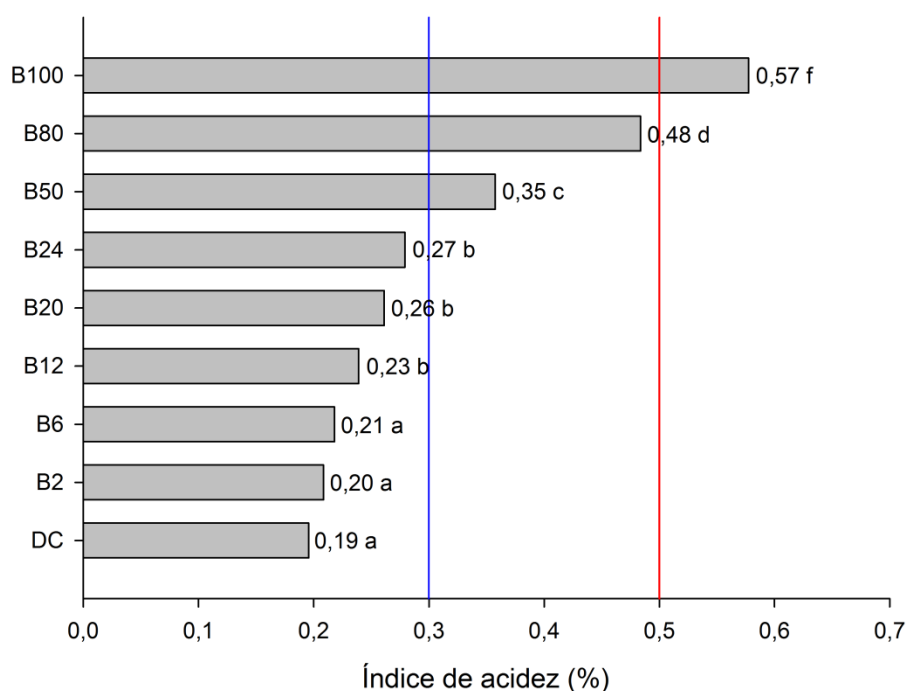


Figura 6 - Valores médios de Índice de acidez para diesel comercial (DC), biodiesel de óleo de algodão (B100) e suas misturas. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Scoot Knot ao nível de 5% de probabilidade. Linha de referência azul limite máximo Resolução ANP 30/2016 e vermelha Resolução ANP 45/2014.

O ponto de fulgor indica a facilidade de um combustível se inflamar. Assim, o ponto de fulgor do biodiesel B100 completamente isento de resíduo de álcool é superior a temperatura do meio ambiente, indicando que B100 é um combustível não-inflamável nas condições normais de manuseio.

Diferença estatística foi detectada entre as amostras (Figura 7). O B100 está em acordo com a resolução ANP n° 45 de 2014 que estabelece um valor mínimo de 100°C para o ponto de fulgor do biodiesel B100 (Figura 12). Já as misturas independentemente da concentração estão em consonância com a resolução ANP n° 30/2016 que determina um ponto de fulgor mínimo de 38°C para o diesel BX a B30. Sinha e Murugavelh (2016), trabalhando com biodiesel de semente de algodão encontraram ponto de fulgor de 136°C para B100 valor abaixo do encontrado neste trabalho e Onukwuli et al. (2017) ao produzirem biodiesel de óleo de algodão constataram um valor de 193°C para o biodiesel B100.

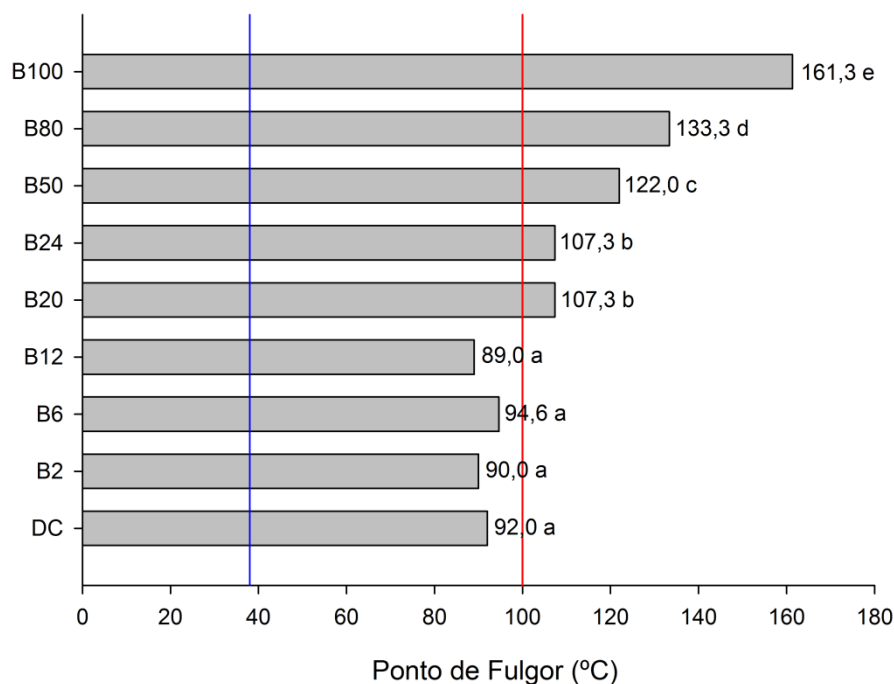


Figura 7 - Valores médios de ponto de Fulgor para diesel comercial (DC), biodiesel de óleo de algodão (B100) e suas misturas. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Scoot Knot ao nível de 5% de probabilidade. Linha de referência azul representa limite mínimo Resolução ANP 30/2016 e vermelha Resolução ANP 45/2014.

O poder calorífico ou calor de reação determina a quantidade de energia que está disponível no combustível e que é liberada na câmara de combustão, através de uma reação química (Knothe, 2008). É uma propriedade de suma importância na determinação da viabilidade de um combustível ao passo que influencia diretamente a saída de potência do motor (Shahir et al., 2014).

Houve diferença estatística entre as amostras avaliadas (Figura 8). À medida que foi ocorrendo acréscimo de biodiesel ao diesel, pode-se observar uma diminuição no poder calorífico, em função do biodiesel ter um poder calorífico menor em relação ao combustível fóssil. Misturas com adição de até 6% ao diesel comercial não influenciam o poder calorífico do mesmo.

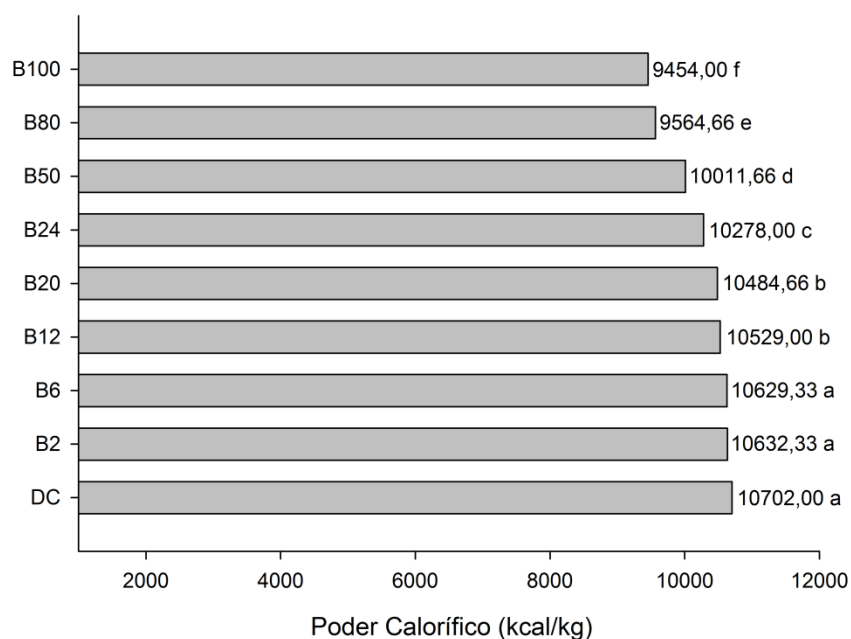
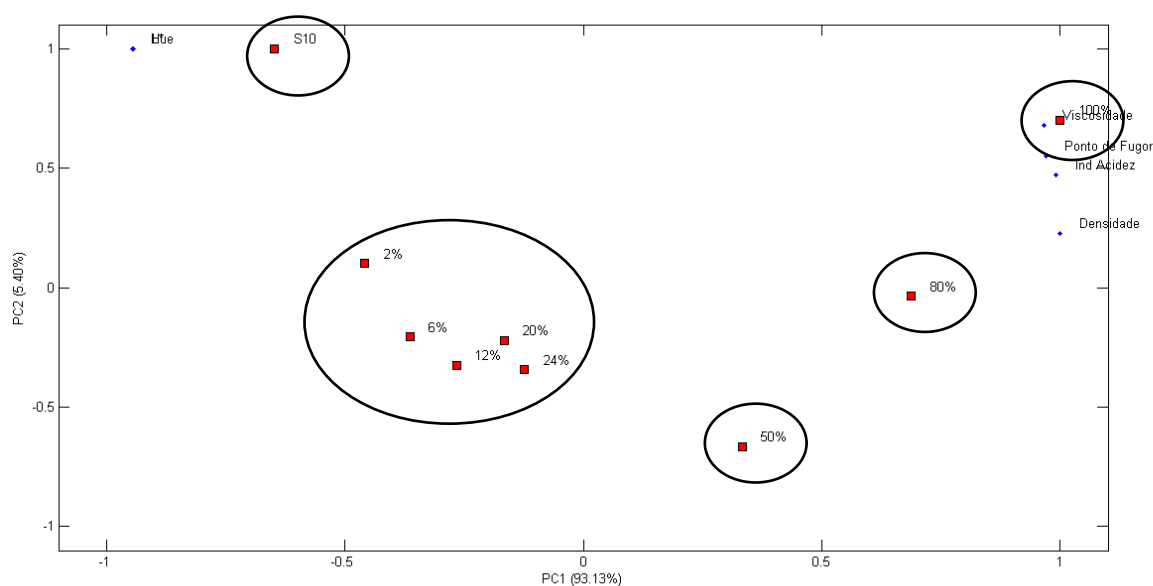


Figura 8 - Valores médios de poder calorífico para diesel comercial (DC), biodiesel de óleo de algodão (B100) e suas misturas. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Scoot Knot ao nível de 5% de probabilidade.

A análise de componentes principais (PCA) é uma técnica que indica as associações entre variáveis reduzindo, assim, a dimensão do número de dados e agrupando aquelas com maior similaridade (Valladares et al., 2008).

A PCA feita com as misturas biodiesel/diesel mostrou que dois componentes principais explicaram 98,53% da variância dos dados sendo 93,13% para PC1 e 5,40% para PC2. Através de PC1 versus PC2 foi possível observar que houve uma separação das misturas de acordo com suas semelhanças químicas e por ordem de concentração de adição de biodiesel (Figura 9). Pode-se observar que houve a formação de 5 grupos, onde as amostras com até 24% de biodiesel apresentam características físico-químicas mais próximas às do diesel comercial.

Figura 9 - Análise dos componentes principais de diesel comercial (DC), biodiesel de óleo de algodão (B100) e suas misturas.



CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, conclui-se que:

O biodiesel de algodão (B100) e todas as misturas analisadas apresentam aspecto límpido e sem sujidades em conformidade com a legislação.

Quanto à cor, o biodiesel de algodão (B100) e todas as misturas avaliadas apresentaram variação de amarelo a marrom claro dependendo da porcentagem de adição ao diesel comercial.

As misturas até 24 % apresentam viscosidade, densidade, índice de acidez e ponto de fulgor em conformidade com a legislação em vigor.

REFERÊNCIAS

ALPTEKIN, E.; CANAKC, M. Determination of the density and the viscositie of biodiesel-diesel fuel blends. **Renewable Energy**, v. 33, p. 2623-2630, 2008

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). Boletim Mensal do Biodiesel. Fevereiro de 2016. Disponível em <http://www.anp.gov.br/?dw=65299> . Acesso em 12 fev. de 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP), **Resolução Nº 45**, Dispõe sobre a especificação do biodiesel contida no Regulamento Técnico ANP nº 3 de 2014 e as obrigações quanto ao controle da qualidade a serem atendidas pelos diversos agentes econômicos que comercializam o produto em todo o território nacional. **Diário Oficial**, Brasília, DF, 26 ago. 2014.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. **ASTM 664**. standard test method for acid number of petroleum products by potentiometric titration. West Conshohocken: ASTM International, 2009.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. **ASTM D93**. Standard Test for Flash point by Pensky-Martens closed cup tester. ASTM: West Conshohocken, 2010.

BERMAN, P.; NIZRI, S.; WIESMAN, Z. Castor oil biodiesel and its blends as alternative fuel. *Biomass Bioenergy*, Oxford, v. 35, p. 2861-2866, 2011.

CORTAS, L. C.; TEIXEIRA, R. M.; VISCARDI, S. L. C. Avaliação da tendência de incorporação de água do diesel S10 e diesel S500 e suas misturas com biodiesel através do método da demulsibilidade. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE ENGENHARIA AUTOMOTIVA, 23., 2015, São Paulo. **Anais**. São Paulo: Simea, 2015. p. 28-38.

CUNHA, R. P.; SOUSA, L. P.; ROCHA, C. P. Caracterização e produção do biodiesel a partir do óleo de algodão como fonte de matéria prima para geração de energia sustentável. In: III SINPÓSIO INTERNACIONAL DE GESTÃO DE PROJETOS,3; SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE, 2. 2014, São Paulo. **Anais** São Paulo: [s.n.], 2014. p. 1-9.

DEMIRBAS, Y. Comparison of transesterification methods for production of biodiesel from vegetable oils and fats. **Energy Conversion and Management**, Oxford, v. 49, p. 125-130, 2008.

FERREIRA, D. F. Sisvar. Lavras: DEX/UFLA, 2000. v. 5.

FOLQUENIN, E. K. F. **Validação das análises físico-químicas exigidas pela ANP para misturas Diesel – Biodiesel**. 2008. 62 p. Dissertação (Mestrado em Química Aplicada) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa.

FONTANA, J. D. Biodiesel: processos de produção e auto-suficiência energética para pequenas comunidades. **Cadernos de Altos Estudos**, Brasília, p. 89–107, 2008.

HUSSAN, M. J., HASSAN, M. H., KALAM, M. A., & MEMON, L. A. Tailoring key fuel properties of diesel-biodiesel-ethanol blends for diesel engine. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 51, p. 118-125, July 2013.

KNOTHE, G. Biodiesel and renewable diesel: a comparison. **Progress in Energy and Combustion Science**, Oxford, v. 36, n. 3, p. 364–373, June 2010.

LÔBO, I. P.; FERREIRA, S. L. C.; CRUZ, R. S. da. Biodiesel: quality parameters and analytical methods. *Química Nova*, São Paulo, v. 32, n. 6, p. 1596-1608, 2009.

MIYASHIRO, C. S., DE OLIVEIRA, C., CAMPOS, E., & TELEKEN, J. G. Produção de biodiesel a partir da transesterificação de óleos residuais. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, Palotina, v. 1, p. 63-76, 2013.

MINOLTA. 1994. Precise color communication: color control from feeling to instrumentation. Ramsey: **Minolta Corporation Instrument Systems Division**. 49p.

ONUWULI, D. O., EMEMBOLU, L. N., UDE, C. N., ALIOZO, S. O., & MENKITI, M. C. Optimization of biodiesel production from refined cotton seed oil and its characterization. **Egyptian Journal of Petroleum**, Amsterdam, v. 26, n. 1, p. 103-110, Mar. 2017.

PHAN, A. N.; PHAN, T. M. Biodiesel production from waste cooking oils. *Fuel*, London, v. 87, n. 17/18, p. 3490–3496, 2008.

Pinheiro, A. C. M., Nunes, C. A., & Vietoris, V. Sensomaker: a tool for sensorial characterization of food products. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 37, n. 3, p. 199-201, maio/jun. 2013.

RAMOS, L. P., KOTHE, V., CÉSAR-OLIVEIRA, M. A. F., MUNIZ-WYPYCH, A. S., NAKAGAKI, S., KRIEGER, N. & CORDEIRO, C. S. Biodiesel: matérias-primas, tecnologias de produção e propriedades combustíveis. *Revista Virtual de Química*, Niterói, v. 9, n. 1, p. 317-369, 2017.

SHAHIR, S. A., MASJUKI, H. H., KALAM, M. A., IMRAN, A., FATTAH, I. R.; SANJID, A. Feasibility of diesel-biodiesel-ethanol/bioethanol blend as existing CI engine fuel: an assessment of properties, material compability, safety and combustion. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Oxford, v. 32, p. 379-395, Apr. 2014.

SINHA, D.; MURUGAVELH, S. Performance studies of biodiesel produced from waste cotton seed oil using low cost catalyst. **Perspectives in Science**, Amsterdam, v. 8, p. 237-240, 2016.

TEIXEIRA, M. C.; TAOUIL, D. S. G. Biodiesel: uma energia alternativa e verde. **Vértices**, Campos dos Goytacazes, v. 12, n. 3, p. 17-40, set./dez. 2010.

VERDUZCO, L. F. R. Density and viscosity of biodiesel as a function of temperature: empirical models. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Oxford, v. 19, p. 652-665, Mar. 2013.

ZUNIGA, A. D. G., PAULA, M. M., COIMBRA, J. S. D. R., MARTINS, E. C. A., SILVA, D. X. D. & TELIS-ROMERO, J. Revisão: propriedades físico-químicas do biodiesel. **Pesticidas: revista de ecotoxicologia e meio ambiente**, Curitiba, v. 21, p. 55-72, jan./dez. 2011.