

## EFICIÊNCIA NA PRODUÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DE MISTURAS PRÉVIAS DE ÓLEOS VEGETAIS

SILVA, F. C.<sup>1</sup>, ANGELKORTE, G. B.<sup>2</sup>, TEIXEIRA, L. P.<sup>3</sup>, GUARDIOLA, J. F. H.<sup>4</sup>,  
CORREIA, R. C. B.<sup>5</sup>

<sup>1</sup> D. Sc. em Engenharia Agrícola, Universidade Federal Fluminense (UFF), (21) 2629 5392, flavioastro@id.uff.br

<sup>2</sup> Mestrando em Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE - UFRJ), (21) 3622-3477, gangelkorte@gmail.com

<sup>3</sup> D. Sc. em Engenharia Mecânica, Universidade Federal Fluminense (UFF), (21) 2629 5592, lucianapteixeira@yahoo.com.br

<sup>4</sup> M. Sc. em Engenharia de Biossistemas, Universidade Federal Fluminense (UFF), (21) 2629 5362, juanfer\_hegu@hotmail.com

<sup>5</sup> Mestrando em Engenharia de Biossistemas, Universidade Federal Fluminense (UFF), (21) 2629 5362, ricardocromack@gmail.com

Apresentado no

XLVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2018  
06, 07 e 08 de agosto de 2018 - Brasília - DF, Brasil

**RESUMO:** Esse trabalho buscou apresentar respostas para o questionamento sobre a viabilidade de se fazer misturas de óleos vegetais antes do processo de transesterificação para a produção de biodiesel. Utilizou-se três tipos de óleos (soja, coco e caroço de algodão) para a produção de nove biodieseis diferentes, sendo três compostos de apenas um óleo vegetal, três feitos a partir de misturas de dois óleos vegetais antes do processo de transesterificação e outros três produzidos através da junção de dois biodieseis produzidos cada um através de um óleo vegetal. Os biodieseis foram produzidos através de rota metflica, hidróxido de sódio (NaOH) como catalizador e agitação magnética, que auxiliou na aceleração da reação de transesterificação, sendo utilizadas proporções de 6 mols de álcool metílico para 1 mol de óleo vegetal, 1% V/V para o NaOH e tempo de produção de 60 minutos. Com os dados obtidos, pode-se avaliar que a produção dos biodieseis a partir de apenas um óleo vegetal possui um rendimento superior se comparado aos biodieseis provenientes de misturas prévias de óleos vegetais, além de também resultarem em uma menor produção de glicerina. Além disso, também foi verificado que o óleo de coco refinado possui características físico-químicas e produtivas interessantes para serem utilizadas em casos de necessidades de produção com misturas prévias de óleos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Biocombustível. Biomassa. Energia Renovável. Eficiência Produtiva

### EFFICIENCY IN THE PRODUCTION OF BIODIESEL FROM PREVIOUS MIXTURES OF VEGETABLE OILS

**ABSTRACT:** This work was intended to present answers for the questioning about the feasibility of making vegetable oil blends before the process of transesterification to produce biodiesel. Three sorts of distinct oils were utilized (soy bean, coconut and cotton seed,) for the production of nine different biodieseis: three were compound of only one vegetable, three were made from the mixture of two vegetable oils before the process of transesterification and the others three were produced through the junction of two biodieseis, each produced through a single vegetable oil. The biodieseis were made by methylic route, sodium hydroxide (NaOH) as catalyst and magnetic stirrer, that supported at the acceleration of the transesterification reaction, where proportions of 6 mols of alcohol to 1 mol of vegetable oil, 1% V/V for the NaOH and a time of production of 60 minutes. With the acquired data, it can be inferred that the making of biodieseis through only one vegetable oil has a yield higher

than the biodiesels deriving from previous mixtures of vegetable oils, besides resulting in a minor production of glycerin. Furthermore, it was verified that the refined coconut oil has interesting physicochemical and productive features to be used in cases of production demands with prior blends of oils.

**KEYWORDS:** Biofuel. Biomass. Renewable Energy. Production Efficiency.

## **INTRODUÇÃO**

Segundo ANP (2016), o biodiesel é um combustível composto de alquil ésteres de ácidos, carboxílicos de cadeia longa, produzido a partir do processo de transesterificação ou esterificação de materiais graxos de origem animal ou vegetal, e que atendam as especificações contidas no Regulamento Técnica nº 3/2014, da Resolução ANP nº 45 de 25 de agosto de 2014.

O biodiesel é formado através da reação química, denominada de transesterificação, no qual, os triglicerídeos/ésteres de ácidos graxos, que são os maiores componentes dos óleos vegetais e das gorduras animais, reagem com o catalizador e o álcool para produzir os alquil ésteres correspondentes da rota escolhida. As rotas mais utilizadas para esse processo são as rotas etílicas e metílicas, sendo a segunda mais utilizada devido ao seu menor custo (KNOTHE et al., 2006).

Essa gama de possíveis fontes de matéria-prima é de grande importância para o meio energético, devido à possibilidade de utilizar a que está presente em maior abundância na região de produção do biodiesel. Portanto, fazendo com que a escolha da matéria-prima não seja fixa, como é o caso do petrodiesel, mas sim, variável, de acordo com as condições climáticas, geológicas, geográficas, climáticas, econômicas e sociais de cada região, fazendo com que haja a utilização da fonte de triglicerídeos que melhor se enquadre no contexto regional (KNOTHE et al., 2006).

Além disso, o biodiesel ainda possui uma perfeita miscibilidade com o petrodiesel em qualquer proporção e possui vantagens como, por exemplo, derivar de matérias-primas renováveis, ser biodegradável, gerar uma menor quantidade de gases causadores do efeito estufa ao ser queimado, como o caso do CO<sub>x</sub>, possui um alto ponto de fulgor, aumentando a segurança no caso de armazenamento e manuseio do mesmo e apresentar uma boa lubricidade, o que no caso de misturas com o petrodiesel, acaba auxiliando na lubricidade do mesmo e agindo portanto, como um aditivo. Porém, o biodiesel apresenta algumas desvantagens como o elevado custo de produção, o aumento da emissão de gases do tipo NO<sub>x</sub> devido a queima no processo de combustão, o elevado grau de oxidação, quando exposto ao ar e o conflito alimentação versus combustível, que ocorre devido a utilização de matérias-primas que anteriormente seriam destinadas para o setor de alimentação e passam a ser empregadas no setor energético (KNOTHE et al., 2006).

A caracterização físico-química é de suma importância para a possível comercialização dos combustíveis, pois é apenas através dela que se consegue determinar se as características do combustível analisado estão de acordo com as normas da ANP.

Referindo-se aos biodieseis, nas Tabelas I e II do Anexo da Resolução ANP 45/2014, a agência determina as características e seus respectivos limites que devem ser respeitados. Assim como os métodos que devem ser adotados para que essa caracterização seja feita de forma adequada, sendo esses métodos podendo seguir as orientações das normas brasileiras (NBR), norte americanas (ASTM) e da união europeia (EN/ISO).

Em biodieseis, a densidade está diretamente ligada à organização da estrutura molecular de suas moléculas, quanto maior for o comprimento da cadeia de carbono, maior será a sua densidade (LÔBO; FERREIRA; CRUZ, 2009).

A massa específica de um combustível para motores diesel é uma propriedade fundamental, pois a bomba injetora e os injetores são construídos para dosar volumes pré-determinados de um combustível-padrão, enquanto que o fator determinante na câmara de combustão é a relação entre massas de ar e de combustível (MACHADO, 2008).

Quando se compara a densidade do biodiesel, percebe-se que ela é maior em relação ao diesel comum, podendo variar, de acordo com a Resolução ANP nº 45/2014 de 850 a 900 kg.m<sup>-3</sup> a uma temperatura de 20°C e respeitando os métodos ABNT NBR 7.148 e/ou 14.065, ASTM D 1.298 e/ou 4.052 e EN ISO 3.675 e/ou 12.185.

A viscosidade é a medida da resistência à vazão do fluido, associado ao atrito causado pelo deslocamento do mesmo nas superfícies em que ele está em contato. Essa resistência ao escoamento, afeta a atomização do combustível no momento em que ele é injetado na câmara de combustão do motor, o que pode acabar ocasionando uma maior tendência a se depositar nos componentes do motor e também, aumentando as chances de entupimento dos bicos injetores. Devido a esse fato, pode-se concluir que à medida em que há um aumento na viscosidade do fluido em questão, também há uma maior probabilidade de que problemas conforme os relacionados surjam (KNOTHE et al., 2006).

A viscosidade cinemática é um dos parâmetros de especificação existentes nas normas técnicas relacionadas aos biocombustíveis, sendo ela, diretamente relacionada também a viscosidade dinâmica, desde que seja conhecida a densidade do biocombustível em questão. No Brasil, segundo a Resolução ANP nº 45/2014, os biodieseis devem apresentar na proporção de B100, uma viscosidade cinemática a 40°C entre 3,0 e 6,0 mm<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>, adotando-se os métodos de análise ABNT NBR 10.441, ASTM D 445 e EN ISO 3.104.

O presente trabalho teve como objetivo a produção, caracterização e análise de nove diferentes tipos de biodieseis, utilizando para isso, os óleos refinados de soja, coco e algodão. Buscou-se verificar as respostas sobre as vantagens e desvantagens de se fazer a produção do biodiesel através da mistura prévia dos óleos refinados antes do processo de transesterificação, ou então, de fazer essa mistura apenas após a transesterificação, logo, realizando a combinação dos biodieseis produzidos previamente de cada óleo separadamente.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O trabalho dividiu-se em três etapas: a de produção dos biodieseis através da transesterificação via rota metálica utilizando-se um catalizador alcalino, a mistura dos biodieseis unitários a fim de obter um biodiesel binário, ambas no Laboratório de Máquinas Agrícolas – LABMAQ do Departamento de Engenharia Agrícola e Meio Ambiente (TER) e a caracterização físico-química dos biodieseis, no Laboratório de Reologia – LARE do Departamento de Engenharia Mecânica (TEM), ambos da Universidade Federal Fluminense (UFF).

O biodiesel unitário foi produzido através de bateladas contendo apenas um tipo de fonte de triglicerídeo, sendo elas, os óleos vegetais de soja, caroço de algodão e coco refinados nas proporções de 1 mol de óleo para 6 mols de álcool metílico P.A. 99,7% conforme (TOMASEVIC; MARINKOVIC, 2003).

A mistura permaneceu sob ação do agitador magnético por 60 minutos a temperatura controlada de 45°C, até que o processo de transesterificação fosse completado. Após, colocou-se a mistura no funil de bromo, de modo a permitir a separação do biodiesel e da glicerina, gerada durante a transesterificação. Com o intuito de assegurar uma completa separação entre as partes, aguardou-se vinte e quatro horas até que o processo de separação fosse completamente estabilizado.

Posteriormente, realizou-se a lavagem do biodiesel produzido, de modo a eliminar completamente qualquer tipo de impureza restante no mesmo. Esse processo foi realizado através de adição de água destilada e pré-aquecida a 50°C, juntamente com ácido clorídrico

(HCl). Colocou-se o biodiesel lavado em um recipiente, indo diretamente para a estufa, onde permaneceu por duas horas a uma temperatura de 105°C assegurando que toda a água destilada e o HCl evaporassem.

O biodiesel proveniente da mistura binária de óleos foi produzido através de bateladas contendo duas fontes triglicéridas em proporções molares idênticas. Portanto, obtendo-se três misturas de óleos, a primeira sendo a mistura de 0,5 mol de óleo de soja com 0,5 mol de óleo de coco, a segunda sendo a mistura de 0,5 mol de óleo de soja com 0,5 mol de óleo de caroço de algodão e a última, a mistura de 0,5 mol de óleo de caroço de algodão com 0,5 mol de óleo de coco. Misturas essas que foi realizadas com o auxílio de duas provetas, cada uma contendo um óleo, com vazões idênticas. Com isso, adicionando-se os óleos através de gotejamento no recipiente contendo a solução de metanol com catalizador, que já estava sob efeito de agitação magnética.

A reação de transesterificação ocorreu identicamente a produção de óleos unitários, com um pré-aquecimento e produção a 45°C, 1% de NaOH P.A. 99,7%, proporção molar de 1:6 de óleo vegetal para metanol e agitação magnética por 60 minutos.

Com relação a produção do biodiesel da mistura binária de biodieseis unitários; esses biodieseis foram provenientes de misturas binárias de biodieseis, feitos a partir da transesterificação dos óleos de soja, coco e de caroço de algodão refinados. Portanto, misturou-se uma mesma proporção molar de dois biodieseis a fim de criar um novo biodiesel, dessa vez, contendo 50% molar de cada um. Com isso, criou-se os biodieseis B soja + B algodão através da junção de 1 mol de biodiesel puro de soja com 1 mol de biodiesel puro de caroço de algodão, B soja + B coco a partir da mistura de 1 mol de biodiesel puro de soja com 1 mol de biodiesel puro de coco e B algodão + B coco com a adição de 1 mol de biodiesel puro de coco em 1 mol de biodiesel puro de caroço de algodão.

O processo de caracterização físico-química ocorreu em duas partes, que foram a análise da massa específica à 20°C através da picnometria e a verificação da viscosidade cinemática à 40°C com o auxílio do viscosímetro de Cannon-Fenske.

Para o procedimento de determinar a massa específica, utilizou-se o método da picnometria, juntamente do banho termostático, a fim de estabilizar a temperatura da massa de biodiesel presente dentro do picnômetro calibrado através da aferição da massa específica da água destilada 20°C.

Após aferição do peso do picnômetro sem e com biodiesel, utilizou-se a Equação 1 a seguir para calcular a massa específica de cada biodiesel.

$$\rho = \frac{Pp\backslash b - Pp}{Vp} * 1000 \quad (1)$$

em que,

$\rho$  = massa específica do biodiesel (kg m<sup>-3</sup>);

Pp\backslash b = peso do conjunto picnômetro/biodiesel (g);

Pp = peso do picnômetro (g); e

Vp = volume do picnômetro (mL).

Para a realização do procedimento de determinação de viscosidade cinemática a 40°C foi utilizado o método de viscosímetro de capilar, com o auxílio de viscosímetros do tipo Cannon-Fenske calibrado através da aferição da viscosidade cinemática da água destilada a 40°C e de um conjunto contendo um banho termostático da marca Nova Ética modelo N480 associado a um termostato transparente da marca Schott modelo CT52, que possibilitou a estabilização da temperatura do biodiesel em 40°C e posteriormente, a visualização do escoamento do biodiesel no viscosímetro de capilar.

Iniciou-se o procedimento ajustando o banho termostático para uma temperatura de 40°C e posteriormente, introduzindo uma pequena quantidade de biodiesel no viscosímetro, o

suficiente para preencher cerca de 2/3 do bulbo inferior do viscosímetro. Após, submergiu-se o viscosímetro no banho termostático e aguardou por cerca de 30 minutos para que houvesse certeza que o biodiesel presente dentro do viscosímetro estivesse também a uma temperatura de 40°C. Em seguida, aferiu-se mecanicamente o tempo gasto para que o biodiesel percorresse as duas marcas de controle existentes no viscosímetro.

Após a obtenção dos dados do tempo gasto para o biodiesel escoar da primeira marca até a segunda, adotou-se a Equação 2 para calcular a viscosidade cinemática dos biodieseis.

$$v = t * c \quad (2)$$

em que,

$v$  = viscosidade cinemática do biodiesel ( $\text{mm}^2 \text{s}^{-1}$ );

$t$  = tempo gasto para o biodiesel escoar entre as marcas do viscosímetro de capilar (s);

$c$  = constante do viscosímetro de capilar ( $\text{mm}^2 \text{s}^{-2}$ ).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante a fase de produção do biodiesel proveniente de um único óleo durante o processo de transesterificação, verificou-se que o biodiesel produzido a partir do óleo de coco foi o que obteve maior produtividade, chegando a ser 5,8% superior a produção através da transesterificação do óleo de soja e cerca de 3,7% superior ao biodiesel de óleo de algodão (Tabela 1).

Ao analisarmos o rendimento individual de cada óleo, descartando a contribuição do volume de álcool metílico, pode-se perceber que apesar do óleo de coco refinado continuar sendo o que possui maior rendimento, o óleo de caroço de algodão refinado passa a ter uma produção 2,0% inferior, já o óleo de soja refinado, continua mantendo uma desvantagem de 5,8% em relação ao óleo de coco refinado. Essa análise é de suma importância, pois devido à natureza reversível do processo de transesterificação, é possível extrair o excesso de álcool metílico que é utilizado para que a reação aconteça de forma satisfatória.

TABELA 1 – Rendimento da produção de biodiesel dos óleos unitários. **Yield of biodiesel production of unit oils.**

Tipo de Óleo	Rendimento (%)
Coco	66,2
Algodão	63,7
Soja	62,4

A produção de biodiesel através da mistura binária de óleos anterior ao processo de transesterificação apresentou resultados interessantes em relação a adição do óleo de coco nos demais óleos, visto que, tanto para a mistura de óleo de soja com óleo de coco, quanto para mistura de óleo de caroço de algodão com o óleo de coco houve resultados muito próximos quando se refere ao rendimento médio total de biodiesel em relação a quantidade de óleo vegetal e metanol introduzidos na reação.

A mistura que proporcionou o melhor rendimento foi a mistura de óleo de caroço de algodão com o óleo de coco, porém esse resultado foi apenas 0,5% superior ao obtido pela mistura de óleo de soja com o óleo de coco. Já a mistura de óleo de soja com o óleo de caroço de algodão, apresentou um rendimento entre 4,7 a 5,1% inferior a qualquer biodiesel produzido contendo óleo de coco na sua composição (Tabela 2).

TABELA 2 – Rendimento da produção de biodiesel a partir de misturas binárias de óleos.  
**Yield of biodiesel production from binary oil mixtures.**

Tipo de Óleo	Rendimento (%)
Soja + Coco	63,0
Soja + Algodão	60,0
Algodão + Coco	63,3

Entretanto, o comportamento em relação apenas ao rendimento médio do óleo que se transformou em biodiesel não foi igual ao comportamento visto anteriormente. Nesse caso, apesar de haver também uma produção maior de biodiesel quando se adicionou óleo de coco à mistura, o conjunto óleo de caroço de algodão com óleo de coco apresentou um rendimento 2,7% superior ao segundo melhor, que foi o da mistura de óleo de soja com óleo de coco. Já em relação à comparação entre o rendimento médio geral e do óleo da mistura óleo de soja com óleo de caroço de algodão, também houve um ligeiro aumento, passando de 5,1% de diferença no rendimento médio geral para 6,4% de diferença no rendimento médio do óleo.

Os dados referentes ao rendimento da produção do biodiesel proveniente da mistura binária de biodieseis unitários são sintéticos, visto que eles são provenientes das médias de produção de biodiesel de cada fonte triglicéridica. Porém, não havendo prejuízo para o estudo devido ao fato dos biodieseis terem sido misturados a partir de proporções molares idênticas.

Pode-se observar que o biodiesel proveniente da mistura dos biodieseis de caroço de algodão e de coco foi o que apresentou maior rendimento, tanto comparando apenas o rendimento médio dos óleos, quanto o rendimento médio geral. (Tabela 3).

TABELA 3 – Rendimento da produção de biodiesel a partir de misturas binárias de biodieseis. **Yield of biodiesel production from binary biodiesel mixtures.**

Tipo de Óleo	Rendimento (%)
B Soja + B Coco	64,3
B Soja + B Algodão	63,1
B Algodão + B Coco	65,0

Analisando o rendimento da produção com um enfoque no total gerado por quantidade de produto que entrou para gerar esse biodiesel, é possível perceber que a produção a partir do óleo de coco puro, foi a que obteve o melhor rendimento entre todas as demais misturas, fazendo com que todos os biodieseis provenientes da mistura que tinham como um dos agentes o biodiesel do coco puro, obtivessem também resultados melhores do que os demais, como pode ser percebido na Figura 1.

Outro ponto importante é que todos os biodieseis derivados de misturas de biodieseis puros, obtiveram rendimentos maiores ou iguais aos encontrados a partir de biodieseis produzidos a partir de misturas de óleos puros. Além disso, quando a comparação é feita entre as duplas de óleos (algodão com coco, soja com coco e soja com algodão) nota que todos os biodieseis produzidos a partir de biodieseis puros, tiveram resultados superiores ao produzido por mistura de óleos, chegando a ter produções entre 2,1 a 4,8% superiores.

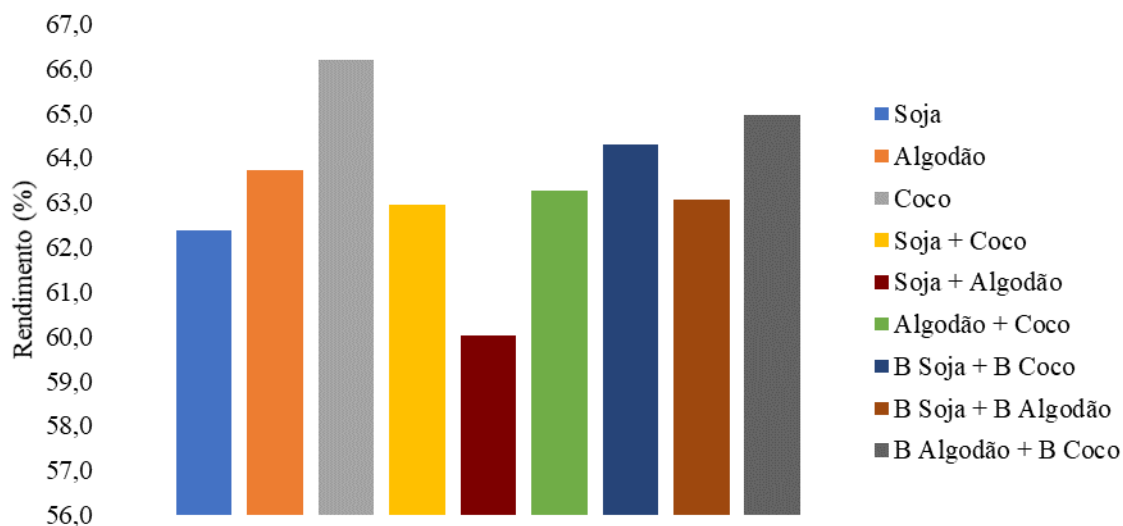


FIGURA 1 Rendimento da produção de biodiesel. **Yield of biodiesel.**

Com relação ao rendimento entre os biodieseis, considerando apenas o rendimento do óleo vegetal, é possível perceber um real crescimento de produção do biodiesel do óleo de algodão e também do biodiesel proveniente da mistura dos óleos de algodão com coco em relação a comparação feita anteriormente. Também, observou-se um ligeiro decréscimo na produção do biodiesel produzido através da mistura dos biodieseis de soja e coco. Devido a isso, ao comparar apenas as quantidades de óleo usadas no processo de transesterificação versus a quantidade de biodiesel produzido, percebe-se que nessa situação, a mistura prévia dos óleos de coco com algodão gerou um melhor rendimento do que os biodieseis feitos a partir da mistura dos biodieseis de coco com soja e soja com algodão. Apesar disso, ele continua possuindo um rendimento inferior ao biodiesel produzido a partir da mistura dos biodieseis de algodão com coco, que é justamente a comparação direta dos biodieseis produzidos a partir dos óleos de coco com algodão.

Portanto, comparando as duplas de biodieseis, B soja + coco com B soja + B coco, B soja + algodão com B soja + B algodão e B algodão + coco com B algodão + B coco, pode-se concluir que em qualquer um dos casos, para o rendimento geral ou o rendimento dos óleos, o biodiesel produzido a partir da mistura de biodieseis possui um rendimento produtivo superior ao da mistura de óleos anterior ao processo de transesterificação. Sendo que o caso mais extremo é o da mistura de óleos e biodieseis de soja com algodão, que propiciou uma diferença de até 5,1%, sendo que nos demais, essa diferença se manteve apenas na faixa de 1,3 a 2,7%.

Apesar dessa economia não apresentar valores tão significativos, é necessário ter em mente que o Brasil vem vivendo um momento de franca expansão do mercado de combustíveis de fontes renováveis e que uma das grandes fronteiras para o aumento mais acelerado da porcentagem de biodiesel na mistura com o diesel, é justamente a disputa alimento versus energia.

Através da Análise de Variância e aplicando-se o Teste de Tukey ao nível de significância de 5%, é possível verificar que o biodiesel de óleo de coco refinado obteve os valores mais elevados na variável rendimento de produção. Com isso, pode-se dizer que o biodiesel feito a partir de óleo de coco refinado é o que obteve melhores resultados no experimento, visto que produziu mais biodiesel e por consequência menos glicerina, o que é muito bom, devido ao fato da glicerina possuir um valor final menos elevado do que o biodiesel, além dela poder ser considerada um resíduo da produção do biodiesel, se não houver uma destinação adequada para a mesma.

Analisando-se o processo de produção por si só, pode-se perceber que o biodiesel produzido a partir do óleo de soja, obteve um valor intermediário entre as misturas que o mesmo faz parte (soja + coco e soja + algodão), sendo superior ao biodiesel da mistura dos óleos de soja com algodão e inferior ao biodiesel proveniente da mistura dos óleos de soja com o coco. Esse dado é interessante, pois demonstra a interferência do óleo de coco no contexto da mistura, que é a de aumentar a eficiência do processo de transesterificação e, portanto, aumentar a produção de biodiesel. Também é possível perceber que o biodiesel feito através da mistura dos óleos de algodão e coco teve uma produção de biodiesel 4% superior a produção do biodiesel de soja com coco, o que demonstra que nesse caso, a soja atuou enfaticamente para que essa redução na produção de biodiesel ocorresse (Tabela 3).

TABELA 3 – Rendimento médio na produção de biodiesel obtido para cada tratamento analisado. **Average yield in biodiesel production obtained for each treatment analyzed.**

Variável Analisada	Tratamento	Rendimento médio (%)
Rendimento	Soja + Algodão	60,02 a
	Soja	62,40 ab
	Soja + Coco	62,96 b
	Algodão + Coco	63,26 b
	Algodão	63,78 b
	Coco	66,21 c

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

Um ponto importante de se destacar é que nessa análise foram avaliados apenas biodieseis que tiveram uma produção e dados de produção reais e é por causa disso que não foram considerados os dados da produção dos biodieseis provenientes da mistura de biodieseis, pois os seus resultados são sintéticos, visto que a sua produção se deveu da produção de outros dois biodieseis que foram posteriormente misturados.

Conforme pode ser observado na Tabela 4, todos os biodieseis produzidos no estudo estavam dentro das normas estabelecidas pela Resolução ANP nº 45/2014, que estabelece que para ser considerado como biodiesel e, portanto, ser comercializado, o combustível deverá estar entro da faixa de 3,0 e 6,0 mm<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup> de viscosidade cinemática.

Fazendo-se a comparação entre os resultados de cada biodiesel, pode-se notar que todas as misturas que tiveram a adição do óleo de coco ou de biodiesel de coco obtiveram uma menor viscosidade cinemática final, o que era esperado visto que o biodiesel de coco puro foi justamente o biodiesel que obteve a menor viscosidade cinemática. Por outro lado, o biodiesel produzido a partir da mistura prévia de óleo de soja com óleo de algodão, foi o que apresentou maior viscosidade cinemática. Esse resultado apresentou uma descoberta interessante, visto que a mistura dos dois óleos acabou resultando em uma viscosidade cinemática maior do que a dos óleos puros.

No procedimento de análise da massa específica dos biodieseis, verificou-se que todos os combustíveis testados estavam de acordo com a Resolução ANP nº 45/2014, que afirma que para a ser caracterizado como biodiesel, o mesmo deve ter massa específica entre 850 e 900 kg.m<sup>-3</sup>, conforme pode ser observado na Tabela 4.

TABELA 4 – Viscosidade cinemática dos biodieseis produzidos. **Kinematic viscosity of biodiesel produced**

Biodiesel	Viscosidade Cinemática (mm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> )	Massa Específica (kg.m <sup>-3</sup> )
B Soja	4,2380	883,0973
B Algodão	4,2198	882,9270
B Coco	3,1217	872,0136
B Soja + Coco	3,4664	877,7213
B Algodão + Coco	3,4844	878,0581
B Soja + Algodão	4,3248	883,1136
B Soja + B Coco	3,5715	877,3109
B Algodão + B Coco	3,4241	877,0429
B Soja + B Algodão	4,1346	882,5399

Os biodieseis B soja + coco, B soja + B coco, B soja + algodão, B soja + B algodão, B algodão + coco e B algodão + B coco, geraram biodieseis com viscosidades cinemáticas similares, visto que a variação máxima dessas combinações foi 4,6%, sendo esse resultado justamente da dupla soja e algodão, que como dito anteriormente, apresentaram maiores viscosidade cinemáticas.

Todos os biodieseis que possuíam ou óleo ou biodiesel de coco na sua formação, obtiveram menores referente a massa específica, estando todos na faixa de 877 e 878 kg.m<sup>-3</sup>. Já os biodieseis produzidos sem a adição de coco em qualquer uma das fazes, propiciaram resultados superiores 882 kg.m<sup>-3</sup>, o que comprova que realmente o óleo de coco auxiliou diretamente para a redução dessa faixa, visto que quando ele é puro, possui massa específica de aproximadamente 872 kg.m<sup>-3</sup>, sendo pelo menos 10 kg.m<sup>-3</sup> inferior se comparado com os demais biodieseis provenientes de óleo puro.

## CONCLUSÕES

Concluiu-se que a mistura prévia de óleos vegetais resulta em um menor rendimento se comparada com a produção de biodiesel a partir de apenas um único óleo, sendo essa produção até 5 % superior, logo, causando uma economia de até 5 % de óleo vegetal para a produção do biodiesel. Portanto, fazendo com que seja melhor realizar a mistura dos biodieseis posterior ao processo de transesterificação e não anterior ao mesmo.

Em relação à caracterização físico-química, verificou-se a viabilidade de produção de todos os biodieseis estudados, visto que todos estavam com características em conformidade com as necessidades mínimas, presentes na Resolução ANP n° 45/2014.

Além disso, em relação à quantidade de glicerina produzida, pode-se determinar que o óleo de coco refinado agiu de modo determinante para a diminuição da quantidade de glicerina do processo. Porém, ao analisar a utilização do óleo de algodão, verificou-se que o mesmo agiu de modo a aumentar em até 12 % a produção de glicerina comparando a mistura desse óleo ao de coco refinado com o de soja refinado.

## REFERÊNCIAS

- ANP – Agência Nacional do Petróleo. Resolução n° 30, de 24 de junho de 2016. *Diário Oficial da União*, 24 jun. 2016.
- ANP – Agência Nacional do Petróleo. Resolução n° 45, de 26 de agosto de 2014. *Diário Oficial da União*, 26 ago. 2014.
- ANP – Agência Nacional do Petróleo. Resolução n° 46, de 01 de nov. 2016. *Diário Oficial da União*, 03 nov. 2016.

ASTM – American Society for Testing and Materials. D 1.298. Standard test method for density, relative density, or API gravity of crude petroleum and liquid petroleum products by hydrometer method. 1999, 6 p.

ASTM – American Society for Testing and Materials. D 4052. Standard test method for density, relative density and API gravity of liquids by digital density meter. 1986, 4 p

KNOTHE, G.; GERPEN, J. V.; KRAHL, J.; RAMOS, L. P. **Manual de Biodiesel**. São Paulo: Edgard Blucher, 2006.

LÔBO, I. P., FERREIRA, S. L. C., CRUZ, R. S. **Biodiesel: parâmetros de qualidade e métodos analíticos**. Quím. Nova. 32<sup>nd</sup> vol. No. 6. São Paulo. 2009.

MACHADO, P. R. M. **Ésteres combustíveis em motor de ciclo diesel sob condições de pré-aquecimento e variação no avanço de injeção**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. Centro de Ciências Rurais. Universidade Federal de Santa Maria. 2008.

MINISTÉRIO DE MÍNAS E ENERGIA – MME. **Boletim Mensal dos Combustíveis Renováveis**. Nº 96, Departamento de Combustíveis Renováveis, 2016. Fevereiro.

SALES, V. C. H. **Ensino de hidrostática através de atividades investigativas**. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física – UFRJ. 2012.

TOMASEVIC, A. V., MARINKOVIC, S. S. **Methanolysis of used frying oils**. Fuel Process Technol. 81<sup>st</sup> ed. 2003. 1-6 p.