

SÍNTESE BIODIESEL DE BURITI (*Mauritia flexuosa*): CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E ELETROANALÍTICA PARA AVALIAÇÃO OXIDATIVA

Hélon Ricardo da Cruz Falcão¹; Deyviane Cardoso da Silva¹, Fernanda de Sousa Silva¹; Déborah Evellyn Ferreira Souza Santos¹; Francisco Cardoso Figueiredo²

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, Campus Caxias - helsonricardo@gmail.com

² Universidade Federal do Piauí, Campus Petrônio Portela - fcfigueiredo19@hotmail.com.br

RESUMO

O biodiesel promissor biocombustível e substituto parcial ou total do diesel mineral surge como um dos principais mecanismos alternativos energéticos. Todavia, como toda tecnologia, necessita sempre de avanços e melhorias. Diante disto, o biodiesel derivado de oleaginosas, principalmente da soja, torna-se vulnerável a oxidação tornando-o impróprio para uso por perder suas propriedades e degradar o motor. Desse modo, busca-se outras matérias-primas e inúmeras possibilidades de diversificação do processo de síntese. A síntese de biodiesel de buriti foi confirmada pelo espectro de RMN ¹H que apresentou um sinal metoxilo em δ 3,30 ppm, característico de ésteres de metílicos, com rendimento de 90% e para as análises físico-químicas realizadas, estas apresentaram normalidade dentro das exigências da Agência Nacional de Petróleo de Biocombustíveis (ANP). As análises eletroquímicas realizadas possuem baixo custo, resultados rápidos e não precisam realizar tratamento da amostra. Os resultados obtidos mostraram que o biodiesel apresenta picos de oxidação em torno de +1,0 até +1,2V.

Biodiesel, buriti, oxidação.

1. INTRODUÇÃO

Os problemas de aquecimento global e as mudanças climáticas são amplamente reconhecidos como produtos de um uso constante de combustíveis fósseis, e existe uma necessidade urgente para diminuir o nosso consumo de combustíveis fósseis substancialmente nos próximos anos [HARRIS, 2012]. A energia consumida pelo homem baseia-se na exploração de recursos minerais como petróleo, carvão e gás natural, fins energéticos limitados e não-renováveis.

Há bastante tempo o homem busca alternativas menos agressivas ao meio ambiente, as quais diminuam o aquecimento global e diversifiquem a matriz energética mundial. Diante deste cenário, o uso de energias renováveis como biomassa, eólica e solar agride menos o meio ambiente no contexto de gestão ambiental.

A crescente preocupação com o meio ambiente e, em especial, as alterações climáticas, global levanta questões sobre a sustentabilidade do atual padrão de consumo de energia [VASUDEVAN; BRIGGS, 2008], assim como a proposta de diversificação da

matriz energética mundial. Nas últimas décadas, a investigação sobre fontes de energia renovável e limpa, tem sido intensificado por causa do aumento dos níveis de poluição causada por uso exagerado de demais combustíveis fósseis e seus derivados [CORMA et al., 2005; SHARMA et al., 2009]. Neste contexto, o biodiesel apresenta-se como uma alternativa para substituir o diesel. Biodiesel é o nome dado a alquil ésteres de ácidos gordos desde que cumpram determinadas normas de qualidade [ANP, 2014], Além destes ésteres são derivados de fontes biológicas como plantas e animais, agem como um substituto de combustível para o diesel de petróleo, com um desempenho que exige muito perto nenhuma modificação para os motores.

Tradicionalmente, o biodiesel é produzido através das reações de transesterificação de triglicerídeos, geralmente usando catalisadores alcalinos [CORMA et al., 2005; DABDOUB et al., 2009] ou a esterificação de ácidos gordos livres, ao passo que no último caso, os ácidos graxos livres são submetidos a reação direta com um álcool de 4 carbonos ou menos, na presença de catalisadores ácidos.

Mais recentemente, a utilização de vários catalisadores heterogêneos tem sido descrita na literatura [DABDOUB et al., 2009]. No Brasil, a Agência Nacional de

Petróleo de Biocombustíveis (ANP) define biodiesel como um combustível para motores de combustão interna com ignição por compressão, biodegradável e renovável, derivada a partir de óleos vegetais ou gorduras animais, que pode substituir parcial ou totalmente o óleo diesel [ANP, 2014]. O uso do biodiesel como combustível está crescendo rapidamente em todo o mundo como a cadeia de produção deste combustível tem um potencial promissor em diversos setores, tais como social, ambiental e tecnológico [VASUDEVAN; BRIGGS, 2008; MARON VICHI, 2009; ANP, 2014].

Biodiesel abre oportunidades para a geração de emprego no país, destacando a força de trabalho rural, bem como no setor industrial com destaque para a mão de obra especializada na produção de combustível. A contribuição para o aspecto ambiental também é muito importante, considerando uma redução significativa e quantitativa dos níveis de poluição ambiental, em função do biodiesel ser livre de enxofre e de aromáticos, que emitem taxas mais baixas de partículas, HC, CO e CO₂, não é tóxico e biodegradável, derivado de fontes renováveis [FUKUDA et al., 2001; MELLO et al., 2007].

O uso do biodiesel no mundo e no Brasil é determinada por vários fatores. Na Europa, a principal razão para a utilização de biodiesel está ligada às questões ambientais

nos Estados Unidos em questões estratégicas de fornecimento garantido de padrões de preços de combustível e de quantidade [DABDOUB et al., 2009].

Atualmente, no Brasil, é obrigatório o uso de uma proporção de 7% de biodiesel misturado ao diesel mineral, enquanto uma grande parte da indústria diesel brasileiro usa óleo de soja como sua principal fonte de matéria-prima, em torno de 90%, o que significou o preço por tonelada de óleo expandido substancialmente como visto. Isso é justificado porque ele já é amplamente cultivado no Brasil e na linha e tem consumo do mercado [FERRARI et al., 2005]. O Brasil tem um grande potencial para a produção de biodiesel, devido ao seu grande território com áreas produtivas e a existência de várias opções de matérias-primas, desde que com a variedade brasileira de clima e solo.

O Buriti (*Mauritia flexuosa*) apresenta-se como uma fonte alternativa para a produção de biodiesel. O buriti é uma palmeira nativa do Brasil, da família Arecaceae, encontrada nos estados do Pará, Amazonas, Amapá, Rondônia, Goiás, Bahia, Minas Gerais, Mato Grosso, Ceará, Maranhão, Piauí e Tocantins. Normalmente, sua ocorrência está associada com áreas periódicas ou permanentemente inundadas com má drenagem ou, às vezes, próximos aos rios, florestas ao longo das galerias e savanas

(Central Brasil e Venezuela) [FREITAS; FREDO, 2005; PEREIRA et al., 2007]. O óleo de buriti é extraído do fruto. É rico em triglicerídeos composto principalmente por ácidos oleico e palmítico [PEREIRA et al., 2007; LUZ et al., 2011], apresenta altos níveis de ácidos graxos insaturados, muito semelhante ao da oliveira (*Olea europaea*) e óleo de abacate (*Persea americana*) [GODOY; RODRIGUEZ-AMAYA, 1995; ALBUQUERQUE et al., 2005]. Além disso, o óleo de buriti tem alta concentração de carotenóides, especialmente β -caroteno, precursores de vitamina A característica de coloração de alimentos amarelo. Para além do reduzido teor de ácido gordo poli-insaturado dando-lhe uma estabilidade oxidativa elevada [ALBUQUERQUE et al., 2005; PEREIRA et al., 2007]. Dessa forma, este trabalho tem como objetivo sintetizar e realizar caracterização físico-química e eletroanalítica do biodiesel buriti (*Mauritia flexuosa*).

2. METODOLOGIA

2.1 Síntese de Biodiesel

O biodiesel foi preparado através da reação de transesterificação realizada em um balão de fundo chato (reator) de 500 mL, provido de aquecimento em uma chapa aquecedora e agitação mecânica. O óleo de Buriti (100 g) foi previamente aquecido a uma

temperatura de 45 °C antes de iniciar a reação de transesterificação, paralelamente preparou-se a solução de 25 g de metanol anidro e 1,0 g de hidróxido de sódio, que posteriormente foi transferido para o reator contendo o óleo aquecido, estabelecendo-se o início da reação. Após 25 minutos de reação, a mistura foi transferida para um funil de separação de 500 mL, onde foi decantada a fase superior (1) composta pelos ésteres (biodiesel) e a fase inferior (2) composta por glicerina, excesso de álcool e catalisador. Posterior a separação, a fase 1 foi lavada de 3 a 4 vezes com porções de 20 mL de água cada. Depois de lavado, a mistura de ésteres metílicos foi aquecida a 100 °C para secagem da água e filtrado em sulfato de sódio anidro (Na_2SO_4).

2.2 Composição dos ácidos graxos do biodiesel de buriti

O biodiesel do buriti obtido foi analisado através de injeção de 1 mL da fase orgânica em cromatógrafo gasoso acoplado a espectrômetro de massas (CG-EM), utilizando coluna de 30 m de comprimento, com 0,25 mm de diâmetro interno e 0,25 μm de espessura do filme. As condições de operação foram: temperatura programada da coluna de 150 °C por 2 min, taxa de aquecimento 5 °C min^{-1} até 230 °C por 7 min e 4 °C min^{-1} até 260 °C mantida por 10 min; temperatura do injetor: 230 °C; temperatura da interface: 250

°C; gás de arraste: hélio, com fluxo de 0,6 mL min^{-1} . A corrida com detector de massa foi feita na forma scan, com tempo de aquisição de 42,5 min e corte do solvente em 4 min; faixa de massa: 40 a 400 Daltons; voltagem do filamento: 70 eV; voltagem do detector; 1,3 KV. A identificação dos ésteres metílicos foi feita através de comparação dos espectros de massas obtidos com os da biblioteca Wiley229.

2.3 Ressonância Magnética Nuclear de Hidrogênio para o Biodiesel ($\text{RMN } ^1\text{H}$)

A análise foi realizada num Varian Inova 500 MHz espectrômetro (Campo Alto, CA, EUA). Para realizar a análise foram adicionados 30 mL de amostra e 600 mL de clorofórmio deuterado (CDCl_3). O espectro de ^1H RMN foi registrado a uma temperatura de 300 K usando 64.000 aquisições com padrão de pulso. E para determinar a taxa de conversão, foi usada a expressão descrito na literatura [MEHER et al., 2006].

2.4 Caracterização físico-química do biodiesel de buriti

As propriedades físico-químicas do biodiesel foram realizadas de acordo com as normas da Sociedade Americana de Testes e Materiais (ASTM) e do Comité Europeu de Normalização (CEN) indicados pela Resolução nº 07/2008 da Agência Nacional do

Petróleo, Natural gás e Biocombustíveis (ANP). A densidade específica, o valor de ácido de petróleo e biodiesel e a taxa de saponificação do óleo foram determinados em conformidade com os padrões analíticos do Instituto Adolfo Lutz e da American Oil Chemists Society "(AOCS) [AOCS, 1990; INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2005].

2.5 Medidas eletroquímicas

Para solubilizar o biodiesel evitando-se o pré-tratamento da amostra, utilizou-se acetonitrila nos experimentos eletroquímicos, diluindo 15 mg de biodiesel em 1 mL de acetonitrila. Os ensaios voltamétricos foram realizados em sulfato de sódio 0,1 mol/L, com ácido nítrico como eletrólito de suporte, na concentração 0,1 mol/L. Para as análises voltamétricas: na célula, contendo 10 mL de solução de sulfato de sódio e 1 mL de eletrólito de suporte, foi adicionado alíquotas da amostra nos seguintes volumes: 20, 40, 60, 80, 100 μ L. Foram otimizados os seguintes parâmetros: tempo de equilíbrio de 10 s, potencial inicial 0,1 V, potencial de retorno +1,5 V, potencial final 0,1 V, variando a velocidade de varredura de 25-500 mV/s, direção anódica inicial de varredura e 1 ciclo de varredura.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O óleo de Buriti utilizado caracterizado apresentou índice de saponificação igual a 190 (mg de KOH/g), um valor ácido inicial de 1,86 (mg de KOH/g de óleo), densidade de 0,909 g/L. Observou-se que os valores das análises físico-químicas estão de acordo com a literatura. A composição do óleo de buriti encontra-se na Tabela 1. O óleo de buriti apresentou uma quantidade significativa de ácido oleico (C18:1) 73-79%, componente principal [SILVA et al., 2011]. Devido a isso, o óleo de buriti pode ser considerado similar ao óleo de oliva. Este resultado está de acordo com a literatura [FREITAS; FREDO, 2005].

Tabela 1. Composição de ácidos graxos do óleo de buriti.

Ácidos graxos	(%)
Láurico (C12:0)	0,03
Místico (C14:0)	0,08
Palmítico (C16:0)	16,20
Esteárico (C18:0)	0,56
Oléico (C18:1)	77,10
Linoléico (C18:2)	3,9

O biodiesel metílico de óleo de buriti foi preparado por transesterificação sob condições alcalinas, e seu processo de separação da glicerina foi fácil, sem formação de emulsão. O espectro de ^1H RMN confirmam a formação do produto de transesterificação, apresenta o sinal de metoxilo a δ 3,30 ppm, característico de ésteres de metilo e o desaparecimento de dois dupletos duplo, correspondente ao CH_2 de triglicerídeos na região de δ entre 4,20 a 4,50

ppm, como pode ser visto na Figura 1 e 2. O biodiesel de metilo foi obtido com um rendimento satisfatório de 90% determinada por RMN de ^1H .

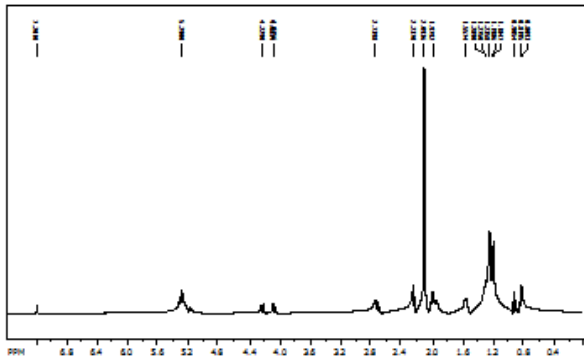


Figura 1. Espectro de óleo vegetal de buriti.

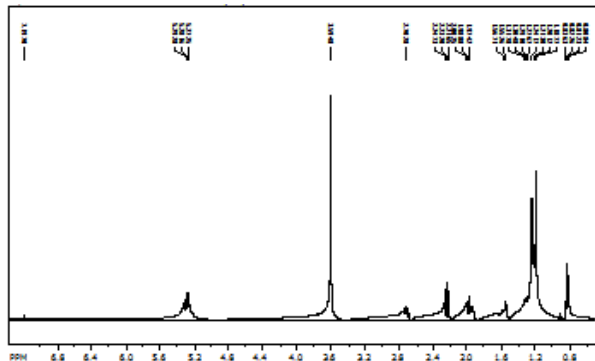


Figura 2. Espectro de RMN ^1H do biodiesel de buriti metílico

De acordo com as normas estabelecidas pela ANP, é necessário que o biodiesel comercializado atenda alguns padrões exigidos. Ainda sob essa ótica, a qualidade da matriz energética utilizada no desenvolvimento deste trabalho foi avaliada através de alguns parâmetros de caracterização, ilustrados na Tabela 2, seguindo as normas estabelecidas pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). De acordo com os dados apresentados, o biodiesel apresenta-se

dentro das normas exigidas pela ANP, ratificando o uso de matérias-primas alternativas para a produção de biocombustível.

Tabela 2. Parâmetros físico-químicas do biodiesel de buriti.

Característica	Unidade	Método de Ensaio	Resultado	Limite ANP
Aspecto	-	-	LII	LII
Densidade a 20 °C	Kg/m ³	ASTM D 4052	880	850-900
Viscosidade cinemática a 40 °C	mm ² /s	ASTM D 445	4,500	6
Teor de éster	% volume	EN 14103	98,1	< 96,1
Ponto de fulgor, min	°C	ASTM D 93	142	100,0
Índice de acidez, máx.	mg KOH/g	ASTM 664	0,35	0,50
Glicerina livre, máx.	% massa	ASTM D 6584	0,4	0,02
Glicerina Total, máx.	% massa	ASTM D 6584	0,22	0,25
Triacilgliceróis	% massa	ASTM D 6584	0,14	Anotar
Estabilidade a oxidação	Horas	Em 14112	43	6

Para os testes eletroanalíticos, obtivemos voltmetrias de amostras de biodiesel em diversas concentrações, e observou-se um crescimento nas respostas de corrente diretamente proporcional às adições de biodiesel, e formação de picos anódicos em torno do potencial +1,0 até +1,2 V (vs. Ag|

AgCl), que pode ser claramente atribuído à ocorrência de oxidação do biodiesel no meio estudado, caracterizando uma resposta analítica de acordo com a literatura [BORS et al., 1990, 1994; BUETTNER, 1993; JOVANOVIĆ et al., 1994; HALLIWELL; GUTTERIDGE, 1999; POKORNY et al., 2001; SMIRNOFF, 2005; REIS et al., 2007; BARUAH, 2011; MAIA et al., 2012].

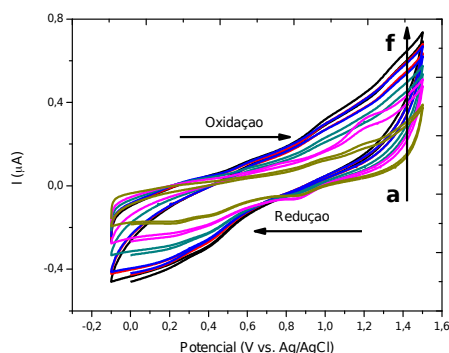


Figura 3. Voltamogramas cíclicos de biodiesel de buriti nas concentrações de (a) 20, (b) 40, (c) 60, (d) 80 e (e) 100 e (f) 120 μL diluído em acetonitrila empregando uma velocidade de varredura de 100 mV em solução de Na_2SO_4 0,1mol/L com eletrólito suporte HNO_3 0,1mol/L. Os eletrodos utilizados foram: Ag/AgCl como eletrodo de referência, uma placa de ouro (3x6mm) como contra eletrodo e uma placa de platina (1,2x2mm) como eletrodo de trabalho.

4. CONCLUSÕES

A caracterização de óleo de buriti provou consistentes com os dados descritos na literatura, e o ácido oleico, o principal constituinte de triglicerídeos, determinado como éster metílico (77,1%). A análise de

RMN ^1H confirmou a ocorrência da reação de transesterificação de óleo de triglicerídeos com uma taxa de conversão de ésteres de metilo de 90%.

As propriedades físicas e químicas do biodiesel derivados do óleo de buriti utilizado neste trabalho satisfaz as especificações exigidas pela ANP, e o óleo apresentou um valor elevado de estabilidade à oxidação. Estes resultados indicam o potencial do óleo de buriti para a produção de biodiesel, mas deve ser feito, em particular, estudos agrônômicos para reduzir o tempo entre a colheita, a extração e uso de óleo vegetal que é de importância fundamental, também no aspecto qualitativo da matéria-prima para determinar a viabilidade tecnológica.

As técnicas eletroquímicas utilizadas foram capazes de avaliar a oxidação do biodiesel. Podemos verificar o aumento de corrente diretamente proporcional a concentração de biodiesel na célula, indicando que a resposta eletroquímica é devida à oxidação do biodiesel no meio estudado e presença de espécies eletroativas, comprovando a viabilidade do método.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, M. L. S.; GUEDES, I.; ALCANTARA JR, P.; et al. Characterization of Buriti (*Mauritia flexuosa* L.) oil by



II CONEPETRO

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

absorption and emission spectroscopies. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 16, n. 6A, p. 1113–1117, 2005. SciELO Brasil.

ANP. RESOLUÇÃO ANP N° 45, DE 25.8.2014 - DOU 26.8.2014. , 2014. Brasília: Diário Oficial da União.

BARUAH, J. B. **Chemistry of Phenolic Compounds: State of the art**. 2011.

BORS, W.; HELLER, W.; MICHEL, C.; SARAN, M. Flavonoids as antioxidants: determination of radical-scavenging efficiencies. **Methods in enzymology**, v. 186, p. 343, 1990.

BORS, W.; MICHEL, C.; SARAN, M. Flavonoid antioxidants: rate constants for reactions with oxygen radicals. **Methods in enzymology (USA)**, 1994.

BUETTNER, G. R. The pecking order of free radicals and antioxidants: lipid peroxidation, alpha-tocopherol, and ascorbate. **Archives of biochemistry and biophysics**, v. 300, n. 2, p. 535–43, 1993. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S000398618371074X>>. Acesso em: 11/7/2015.

CORMA, A.; HAMID, S. B. A.; IBORRA, S.; VELTY, A. Lewis and Brønsted basic active sites on solid catalysts and their role in the synthesis of monoglycerides. **Journal of Catalysis**, v. 234, n. 2, p. 340–347, 2005. Elsevier.

DABDOUB, M. J.; BRONZEL, J. L.; RAMPIN, M. A. Biodiesel: visão crítica do status atual e perspectivas na academia e na indústria. **Química Nova**, v. 32, n. 3, p. 776–792, 2009. Sociedade Brasileira de Química.

FERRARI, R. A.; OLIVEIRA, V. DA S.; SCABIO, A. Biodiesel de soja–taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físico-química e consumo em gerador de energia. **Química Nova**, v. 28, n. 1, p. 19–23, 2005. SciELO Brasil.

FREITAS, S. M. DE; FREDO, C. E. Fontes energéticas e protocolo de Kyoto: a posição do Brasil. **Informações Econômicas**, v. 35, n. 5, p. 77–82, 2005. IEA.

FUKUDA, H.; KONDO, A.; NODA, H. Biodiesel fuel production by transesterification of oils. **Journal of bioscience and bioengineering**, v. 92, n. 5, p. 405–416, 2001. Elsevier.

GODOY, H. T.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Buriti (*Mauritia vinifera* Mart), uma fonte riquíssima de pró-vitamina A. **Arq Biol Tec**, v. 38, p. 109–120, 1995.

HALLIWELL, B.; GUTTERIDGE, J. M. C. **Free radicals in biology and medicine**. Oxford university press Oxford, 1999.

HARRIS, D. **A guide to energy management in buildings**. Routledge, 2012.

JOVANOVIC, S. V.; STEENKEN, S.; TOSIC, M.; MARJANOVIC, B.; SIMIC, M. G. Flavonoids as antioxidants. **Journal of the**

www.conepetro.com.br

(83) 3322.3222

contato@conepetro.com.br

American Chemical Society, v. 116, n. 11, p. 4846–4851, 1994. ACS Publications.

LUZ, G. E.; SANTOS, A. G. D.; MELO, A. C. R.; et al. Thermal catalytic cracking of buriti oil (*Mauritia flexuosa* L.) over LaSBA-15 mesoporous materials. **Fuel Processing Technology**, v. 92, n. 10, p. 2099–2104, 2011. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.fuproc.2011.06.018>>..

MAIA, F. J. N.; CLEMENTE, C. D. S.; OLIVEIRA, T. M. B. F.; et al. Electrochemical and computational studies of phenolic antioxidants from cashew nut shell liquid. **Electrochimica Acta**, v. 79, p. 67–73, 2012. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.electacta.2012.06.086>>..

MARON VICHI, F. Energia, meio ambiente e economia: o Brasil no contexto mundial. **Quim. Nova**, v. 32, n. 3, p. 757–767, 2009.

MEHER, L. C.; SAGAR, D. V.; NAIK, S. N. Technical aspects of biodiesel production by transesterification—a review. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 10, n. 3, p. 248–268, 2006. Elsevier.

MELLO, F. O. T. DE; PAULILLO, L. F.; VIAN, C. E. DE F. O biodiesel no Brasil: panorama, perspectivas e desafios. **Informações Econômicas**, v. 37, n. 1, p. 28–40, 2007.

PEREIRA, R. G.; OLIVEIRA, C. D.;

OLIVEIRA, J. L.; et al. Exhaust emissions and electric energy generation in a stationary engine using blends of diesel and soybean biodiesel. **Renewable Energy**, v. 32, n. 14, p. 2453–2460, 2007. Elsevier.

POKORNY, J.; YANISHLIEVA, N.; GORDON, M. H. **Antioxidants in food: practical applications**. CRC press, 2001.

REIS, M.; LOBATO, B.; LAMEIRA, J.; SANTOS, A. S.; ALVES, C. N. A theoretical study of phenolic compounds with antioxidant properties. **European journal of medicinal chemistry**, v. 42, n. 4, p. 440–446, 2007. Elsevier.

SHARMA, B. K.; SUAREZ, P. A Z.; PEREZ, J. M.; ERHAN, S. Z. Oxidation and low temperature properties of biofuels obtained from pyrolysis and alcoholysis of soybean oil and their blends with petroleum diesel. **Fuel Processing Technology**, v. 90, n. 10, p. 1265–1271, 2009. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.fuproc.2009.06.011>>..

SILVA, S. M.; ROCCO, S. A.; SAMPAIO, K. A.; et al. Validation of a method for simultaneous quantification of total carotenes and tocopherols in vegetable oils by HPLC. **Food Chemistry**, v. 129, n. 4, p. 1874–1881, 2011. Elsevier.

SMIRNOFF, N. **Antioxidants and reactive oxygen species in plants**. John Wiley & Sons, 2005.



II CONEPETRO

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

VASUDEVAN, P. T.; BRIGGS, M. Biodiesel production—current state of the art and challenges. **Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology**, v. 35, n. 5, p. 421–430, 2008. Springer.



[www.conepetro.com](http://www.conepetro.com.br)
.br

(83) 3322.3222
contato@conepetro.com.br