



Qualidade de biodiesel de soja, mamona e blendas durante armazenamento

Quality of biodiesel soy, castor beans and blends during storage

Marco Aurélio R. Melo¹, Everton Vieira da Silva², Guiseppa C. Vasconcelos³, Eduardo H. S. Vasconcelos⁴, Antonio Gouveia de Souza⁵

Resumo: Objetivou-se monitorar o armazenamento dos biodieseis provenientes da transesterificação homogênea alcalina do óleo de soja e mamona via rota metílica, avaliando a indução oxidativa pela norma EN14112 e pelo método PetroOxy durante o período de 120 dias, também observou-se o comportamento dos biodieseis inseridos em blendas nas proporções de 20, 30, 40 e 50% v/v de biodiesel de mamona ao biodiesel de soja denominadas de M20, M30, M40 e M50 (em recipientes de aço-carbono fechado). Conforme análises físico-químicas, as especificações para ambos biodiesel e blendas satisfizeram as exigências dos limites permitidos pelo Regulamento Técnico nº 14/2012 da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Exceção das análises de estabilidade oxidativa (M0, M20, M30 e M40), do índice de acidez após 60 dias (M50), após 90 dias (M40 e M50), após 120 dias (M100) e da viscosidade cinemática (M40, M50 e M100) que apresentaram valores fora dos limites estabelecidos pela norma. As propriedades fluidodinâmicas apresentaram comportamentos semelhantes para os biodieseis metílicos e blendas, assim, nestas concentrações o biodiesel metílico de mamona atua como um aditivo natural ao biodiesel metílico de soja. Através do método EN 14112 verificou-se que a blenda M50 é mais resistente ao processo de oxidação durante armazenamento de 120 dias.

Palavras-chave: Biocombustível; Estabilidade Oxidativa; Fluidodinâmicas

Abstract: The objective of the study was to monitor the storage of biodiesels from alkaline homogeneous transesterification of soybean and castor oil via methyl route, and to evaluate the oxidative induction by the EN14112 standard and the PetroOxy method over the period of 120 days. We observed the behavior of the inserted biodiesels in blends in the ratios of 20, 30, 40 and 50% v / v biodiesel from castor beans of soybean biodiesel named M20, M30, M40 and M50 (closed carbon steel containers) . As physical and chemical analysis, specifications for both biodiesel and blends met the requirements of the limits allowed by the Technical Regulation No. 14/2012 of the National Agency of Petroleum (ANP). Exception of the oxidative stability analysis (M0, M20, M30 and M40), the acid value after 60 days (M50), after 90 days (M40 and M50), 120 days (M100) and kinematic viscosity (M40, M50 and M100) with values outside the limits established by the standard. The fluid-dynamic properties show similar behavior for blends methyl biodiesels and thus these concentrations methyl castor biodiesel acts as a natural additive to the methyl soybean biodiesel. By the method EN 14112 was found that M50 blend is more resistant to oxidation during storage process 120 days.

Key words: Biofuel Blends, Oxidative Stability, Fluid

*Autor para correspondência

Recebido para publicação em 29/10/2016; aprovado em 15/12/2016

¹Doutor em Química, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa-PB; Fone (83) 99314-4466, E-mail: Mameo97@ig.com.br

²Mestre em Química, Universidade Federal da Paraíba, E-mail evertonquimica@hotmail.com

³Doutor em Produção Vegetal, Faculdade Internacional da Paraíba, E-mail guiseppcev@ibest.com.br

⁴Doutor em Corrosão, Instituto Nacional de Tecnologia, E-mail: eduardocavalcanti@int.gov.br

⁵Doutor em Química, Universidade Federal da Paraíba, E-mail agouveia@quimica.ufpb.br

INTRODUÇÃO

Atualmente existe uma preocupação mundial com o aquecimento global, e como resposta ao perigo representado pelo efeito estufa, diversos países têm desenvolvido tecnologias que permitem utilizar outras fontes renováveis de energia, aumentando a participação dessas fontes em suas matrizes energéticas (ANGELO et al., 2012).

Os biocombustíveis surgiram então como alternativa em relação ao petróleo e seus derivados, já que sua produção leva a uma diminuição considerável de poluentes (SANTIAGO, 2010). Enquanto produto, os biocombustíveis possuem todas as características necessárias para substituir o diesel, com a vantagem de ser virtualmente livre de enxofre e de compostos orgânicos nocivos ao ser humano. Além de ser uma fonte de energia renovável, é biodegradável e não tóxico (APOLINÁRIO et al., 2012).

Os óleos e as gorduras se destacam como matérias primas para obtenção deste combustível. Dentre as matérias primas mais utilizadas para a sua produção figuram-se os óleos de soja, mamona e girassol. Entretanto outros tipos de óleos, como de frituras e sebo bovino, provenientes do processamento industrial de alimentos para refeições industriais, também podem ser empregadas como matéria prima para tal finalidade. Na elaboração da matéria prima para sua transformação em biodiesel, o intuito é obter condições favoráveis para a reação de transesterificação, visando alcançar uma elevada taxa de conversão. A etapa de conversão ocorre através da reação de transesterificação, onde os triacilglicerídeos são transformados em ésteres metílicos ou etílicos de ácidos graxos (MELO, 2014)

O óleo de soja é o mais utilizado pela população mundial no preparo de alimentos (DALL'AGNOL; HIRAKURI, 2008). Entretanto, ela é bastante utilizada como matéria prima para a obtenção de biodiesel. Sua composição química inclui os seguintes ácidos graxos: mirístico, palmítico, palmitoleico, esteárico, oleico, linoleico, linolênico, araquídico, eicosenóico, behênico, com predominância do ácido linoleico (RAMALHO; SUAREZ, 2013). Segundo Brasil (2012), a soja, ainda continua sendo a principal fonte na produção do biodiesel brasileiro, com utilização média em torno de 70% a 85%.

A mamoneira é uma oleaginosa de elevado valor industrial, que o óleo extraído de suas sementes pode ser utilizado como matéria prima para a produção de diversos materiais como biodiesel, plásticos, fibras sintéticas, esmaltes, resinas e lubrificantes (MACHADO, 2011). Como subproduto da industrialização da mamona, obtém-se a torta, que possui a capacidade de restaurar terras esgotadas. Esse vegetal, não entra na cadeia alimentícia, e por este motivo pode ser considerado um "petróleo verde" (CANGEMI et al., 2010). O óleo de mamona apresenta em sua composição os seguintes ácidos graxos: palmítico, esteárico, dihidroxiesteárico, oleico, linoleico, linolênico, behênico e ricinoleico. Sendo este último o ácido de maior proporção (ASSIS, 2014).

Biodiesel é definido, pela Portaria nº 14/2012 da Agência Nacional de Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), como um combustível composto de alquilésteres de ácidos carboxílicos de cadeia longa, produzido, a partir da transesterificação e/ou esterificação de matérias graxas de gorduras de origem vegetal ou animal (BRASIL, 2012).

Em comparação ao combustível fóssil, o biodiesel apresenta inúmeras vantagens, tais como ser proveniente de fontes renováveis e diminuir a emissão de CO_x e SO_x . No entanto, apresenta a desvantagem de ser mais susceptível à auto-oxidação que o diesel (JAKERIA et al., 2014), podendo levar à formação de polímeros e produtos de corrosão que podem danificar o motor (RAMALHO et al., 2011).

A auto-oxidação é um processo radicalar que ocorre em cadeia e envolve basicamente três etapas iniciação ($\text{LH} + \text{R}^{\bullet} \rightarrow \text{L}^{\bullet} + \text{RH}$); propagação ($\text{L}^{\bullet} + {}^3\text{O}_2 \rightarrow \text{LOO}^{\bullet}$; $\text{LOO}^{\bullet} + \text{LH} \rightarrow \text{LOOH} + \text{L}^{\bullet}$); terminação ($\text{LOO}^{\bullet} + \text{LOO}^{\bullet} \rightarrow \text{LOOL} + {}^3\text{O}_2$; $\text{LOO}^{\bullet} + \text{R}^{\bullet} \rightarrow \text{LO} + \text{RO}$), sendo LH o lipídeo e R^{\bullet} é o radical iniciador da autooxidação (BORGES et al, 2011).

Durante os eventos iniciais do processo oxidativo a concentração de LOOH permanece baixa por um intervalo de tempo conhecido como período de indução (IP), a partir do qual a concentração de hidroperóxidos aumenta bruscamente, indicando o início do processo oxidativo. O processo ocorre até a terminação, quando ocorre o consumo dos radicais e formação de produtos estáveis (RAMALHO et al., 2011).

A natureza das cadeias de ácidos graxos dos óleos ou gorduras dos quais foi obtido o biodiesel determina sua estabilidade oxidativa, este fato pode ser evidenciado pelos valores relativos da taxa de oxidação que têm sido obtidos de oleatos ($\text{C}_{18:1}$), linoleatos ($\text{C}_{18:2}$) e linolenatos ($\text{C}_{18:3}$), respectivamente, como 1:41:98 (FRANKEL, 2005). Além da natureza das cadeias graxas, fatores externos tais como a presença de oxigênio, luz, calor e de metais afetam a estabilidade oxidativa do biodiesel (KNOTHE et al., 2005).

Diante disto, o estudo da estabilidade oxidativa de biodiesel é de fundamental importância para seu controle de qualidade, principalmente no que diz respeito a seu armazenamento. Como ferramenta experimental para medir a estabilidade oxidativa de amostras de biodiesel, a técnica mais empregada é o Rancimat (EN 14112).

Quadros et al. (2011) afirmam que a estabilidade oxidativa de um biodiesel é definida pela sua relativa resistência a mudanças físicas e químicas ocorridas devido à interação com o meio ambiente. Assim, para assegurar que o biodiesel alcance com qualidade até o consumidor, é necessário conhecer suas condições ideais de armazenamento garantindo que não haja degradação das propriedades físico-químicas durante o período de armazenagem.

Nesse contexto, foram preparadas blendas de amostras de biodiesel de soja e mamona em diferentes proporções, objetivando a sua estabilidade oxidativa durante o armazenamento. Este estudo objetivou sintetizar os biodieseis de soja e de mamona e preparar blendas em diferentes proporções, além de avaliar a estabilidade oxidativa durante armazenamento.

MATERIAL E MÉTODOS

Síntese dos biodieseis

Para a obtenção do biodiesel utilizou-se a reação de transesterificação via catálise básica homogênea pelas rotas etílica e metílica na razão molar de 1:6 (gordura/álcool). Com a finalidade de eliminar as impurezas provenientes do processo de transesterificação as amostras foram purificadas através de lavagens com água. Desta forma, os biodieseis metílicos de soja e de mamona foram denominados de M0 e M100, respectivamente.

Preparo das blendas

As blendas de biodiesel de soja/mamona foram preparadas com as relações de 20, 30, 40 e 50% v/v de biodiesel de mamona ao biodiesel de soja, denominadas de M20, M30, M40 e M50.

Armazenamento

Os biodieseis metílicos e blendas foram armazenados em recipientes de aço-carbono de 1L tipo AISI 1020 dotados de tampa rosqueada polimérica e de respiro. Monitorizados durante 120 dias, com remoções mensais envolvendo alíquotas de 20% do volume de 1L a cada 30 dias para análises periódicas, com intuito de avaliar a estabilidade oxidativa, lubrificidade, número de cetano e propriedades físico, química e fluidodinâmica para diferentes condições de armazenamento.

As blendas foram preparadas nestas proporções, devido a viscosidade do biodiesel metílico de mamona que acima da proporção de 50% não atende às especificações da ANP. Isso devido à presença de ácido ricinoleico, que gera um elevado aumento da viscosidade (JAKERIA et al., 2014).

Análises físico-químicas referentes ao biodiesel e blendas

As análises dos biodieseis e das blendas foram realizadas de acordo com as normas da American Society of Testing and Materials (ASTM) e Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT NBR) indicadas pela Resolução nº 14 de 2012 da ANP.

Os índices analíticos de Acidez (ASTM D-664), Iodo (EN 14111), Viscosidade Cinemática (ASTM D-445) e Massa Específica (ASTM D-4052), Teor de água (EN ISO 12937), identificação e quantificação das cadeias de ácidos graxos dos ésteres metílicos de soja e mamona e suas respectivas blendas foram realizadas por cromatografia gasosa acoplada ao

espectrômetro de massa (GC-MS), utilizando um equipamento CGMS-QP2010 - SHIMADZU, coluna DB-23 (30 m; 0,25 mm; 0,25 µm), hélio como gás de arraste na vazão de 3 mL min⁻¹.

As curvas Rancimat para obtenção do OSI (*Oil Stability Index*) foram obtidas segundo o método EN 14112, utilizando o equipamento Rancimat 743 da Metrohm. Neste método 3 g de amostra são envelhecidas a 110 °C sob fluxo constante de ar (20 L min⁻¹). Os gases voláteis formados são coletados em água destilada cuja condutividade é monitorada continuamente.

As curvas PetroOXY foram obtidas no equipamento PetroOXY - Instrument (13-3000) da Petrotest, baseado no padrão ASTM D525, obedecendo as seguintes condições de análise: 5 mL de amostra, pressão de oxigênio puro a 650 kPa e temperatura elevada até 140 °C após a pressão atingir a estabilidade. O evento definido como o período de tempo a partir do qual a pressão máxima é reduzida em 10 % é o Oxystab.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As blendas foram avaliadas através de parâmetros estabelecidos pela Resolução 14/2012/ANP antes e durante o armazenamento destes em tanques de aço-carbono durante o período de 120 dias.

Na Tabela 1 observa-se a composição percentual das cadeias graxas das blendas de soja/mamona. A composição da gordura de frango apresentou grande proporção de cadeias de ácidos graxos palmítico, oléico e linoléico. Os biodieseis mantiveram proporções semelhantes a do óleo, com redução significativa da cadeia graxa do ácido linoléico após a reação de transesterificação, principalmente no biodiesel etílico.

Tabela 1. Composição dos ésteres metílicos presentes nos Biodiesel de Soja, Mamona e Blendas por cromatografia

% Biodiesel Mamona	Composição do biodiesel e blendas								
	C16:0	C18:0	C18:1	C18:1(E)	C18:2	C18:3	C18:1 OH	C20:0	outros
M0	4,75	2,07	30,69	0,48	50,41	10,92	-	0,28	0,40
M20	10,39	3,36	4,68	1,61	46,52	25,65	7,12	0,21	0,46
M30	10,28	3,46	4,53	1,34	39,59	23,79	16,50	0,20	0,31
M40	8,75	2,81	3,84	1,23	38,82	21,56	22,63	0,20	0,20
M50	7,98	3,03	3,80	1,21	30,69	18,55	34,00	0,20	0,50
M100	1,13	0,84	-	0,38	5,22	3,43	88,25	0,44	0,31

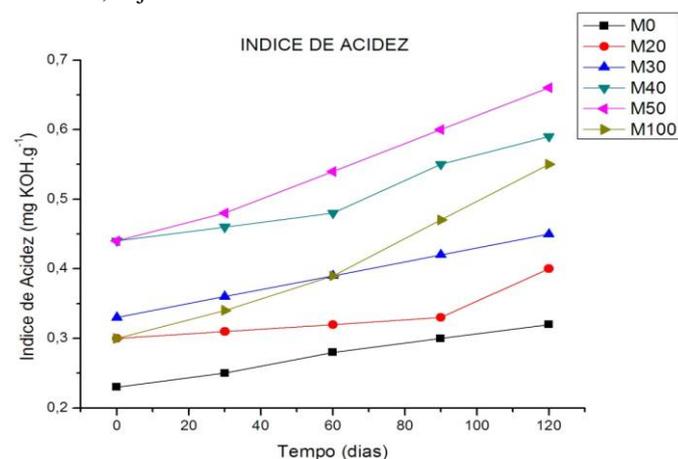
%Biodiesel mamona: Percentagem de biodiesel metílico de mamona adicionado ao biodiesel metílico de soja.

O biodiesel metílico de mamona apresenta alta estabilidade oxidativa, devido à presença do ricinoleato de metila (C18:1). Apesar dessa elevada estabilidade o biodiesel metílico de mamona apresenta elevada viscosidade em relação a outros biodieseis, influenciando nas propriedades a baixa temperatura qual autor afirma estas propriedades (MELO, 2014). Barbosa et al. (2010) encontraram resultados semelhantes do biodiesel de mamona.

As caracterizações físicas e químicas, como o índice de acidez e viscosidade cinemática, mostraram valores dentro do limite permitido pela ANP.

Na Figura 1, observa-se a evolução do índice de acidez dos biodieseis metílicos de soja, mamona e suas blendas com o aumento do tempo de estocagem.

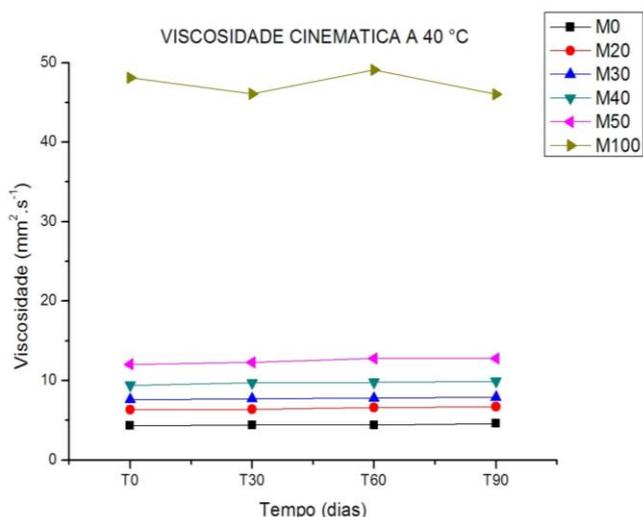
Figura 1. Índice de acidez dos biodieseis metílicos de mamona, soja e suas blendas



Ocorreu um aumento nos valores de índice de acidez com adição do biodiesel de mamona ao biodiesel de soja. Segundo Melo et al. (2014), a acidez durante o armazenamento é de suma importância, pois a alteração de seus valores significa presença de água, levando a formação de ácidos, promovendo a oxidação do biodiesel. Os valores dos biodieseis e suas blendas permaneceram dentro do limite estabelecido pela ANP, que é de 0,5 mg.KOH/g.

Os resultados da viscosidade cinemática dos biodieseis metílicos de soja, mamona e de suas blendas estão de acordo com os valores da literatura recente (Figura 2) (MELO, 2009).

Figura 2. Avaliação de viscosidade Cinemática a 40 °C dos biodieseis metílicos de mamona, soja e suas blendas



A viscosidade do biodiesel metílico de mamona foi aproximadamente dez vezes maior que o valor obtido do biodiesel metílico de soja. Conforme dos Santos et al. (2014), devido à hidroxila presente na cadeia carbônica, que induz à ligação de hidrogênio, ligação forte, intermolecular entre a hidroxila e o oxigênio da carbonila de outro ácido, que pode ocorrer na própria molécula entre a hidroxila e a sua carbonila, contribuindo para a elevação deste parâmetro. Observou-se que esse comportamento também ocorreu nas blendas. Quanto maior a porcentagem de biodiesel metílico de mamona, maior a viscosidade.

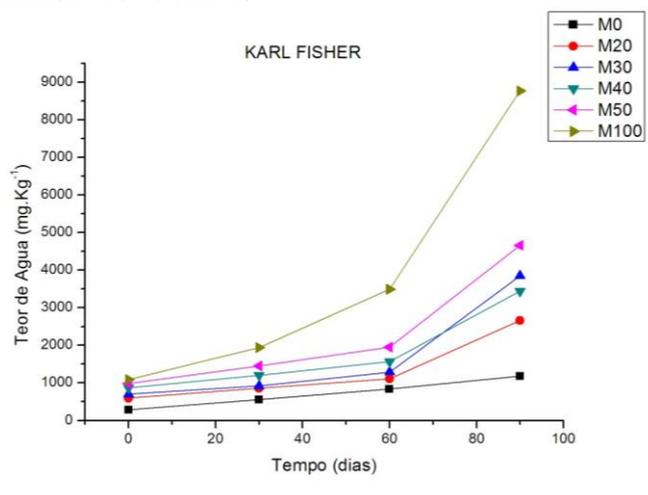
As blendas com até 20% de biodiesel metílico de mamona apresentaram-se dentro dos limites estabelecidos pela ANP (Figura 2).

Através do método Karl Fisher, exposto na Figura 3, os valores de água confirmam que com o aumento da porcentagem do biodiesel metílico de mamona, ocorre um acréscimo do teor de água na blanda, mas com adição de biodiesel metílico de soja na blanda há diminuição nesse parâmetro.

De acordo com Jakeria et al. (2014), com o aumento do tempo de armazenamento ocorre um expressivo teor de água nos biodieseis e em suas blendas, conforme Figura 3.

Esse aumento do teor de água ocorre provavelmente devido ao biodiesel de metílico de mamona apresentar uma hidroxila na estrutura do ricinoleato de metila, o que lhe confere uma elevada higroscopicidade

Figura 3. Karl-Fisher dos biodieseis metílicos de soja, mamona e suas blendas



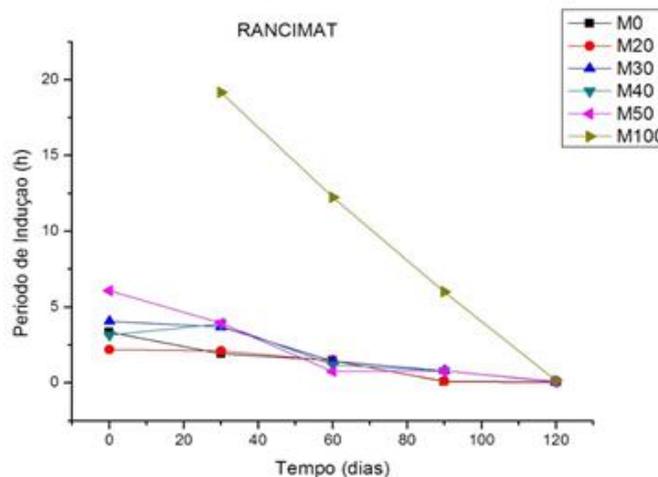
O biodiesel metílico de mamona avaliado pelo método Rancimat (EN 14112) apresentou boa estabilidade oxidativa. Após 90 dias observou-se um decréscimo acentuado, enquanto o biodiesel metílico de soja mostrou menor estabilidade oxidativa, (Figura 4). Segundo Jakeria et al. (2014) a estabilidade oxidativa é de grande importância para o biodiesel, uma vez que relaciona a capacidade do biodiesel de sofrer degradação perante a presença do oxigênio, água, calor, traços de metais e antioxidantes.

Nas blendas, a tendência à oxidação decresce à medida que acrescenta biodiesel metílico de mamona, e cresce linearmente com o tempo.

Este comportamento do biodiesel e suas blendas, corrobora com Berman et al. (2011), relativo à oxidação pode ser explicado pela composição em termos das cadeias poli-insaturadas. Enquanto que o aumento da oxidação deverá ser atribuído pelos fenômenos de auto-oxidação e foto-oxidação.

Na Figura 4 nota-se uma diminuição no período de indução (PI), embora as amostras M0, M20, M30 e M40 no tempo zero, não tenham atingido o período de indução superior a 6 horas (Norma EN 14112), ocorreu um aumento na estabilidade oxidativa do biodiesel metílico de soja, à medida que se adiciona o percentual de biodiesel de mamona nas blendas, mas não suficiente para atender às especificações vigentes.

Figura 4. Dados obtidos em rancimat para biodieseis metílicos de mamona, soja e suas blendas



Sugere-se que em até 40% de biodiesel metílico de mamona ao biodiesel metílico de soja são ineficientes para a correção da estabilidade.

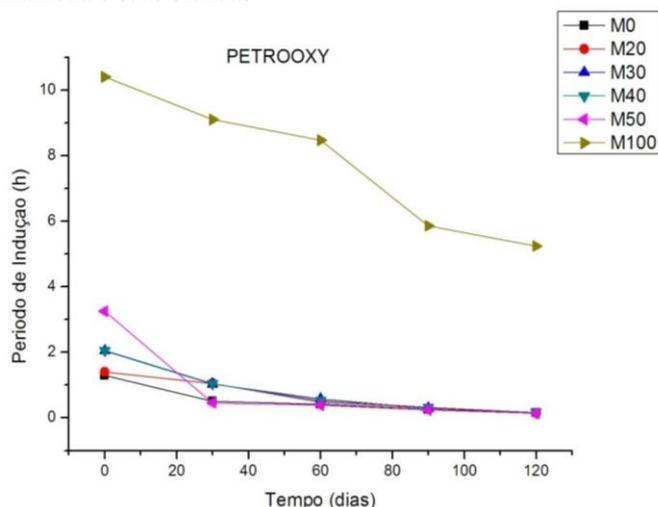
O período de indução determinado pelo método Rancimat, correlaciona-se com a evolução de parâmetros de qualidade resultantes da degradação do biodiesel como índice de acidez e viscosidade cinemática (PRANKL, 2003).

O equipamento PetroOxy, também foi utilizado para avaliar o comportamento oxidativo dos biodieseis de soja, mamona e suas blendas, bem como indicar a susceptibilidade das amostras à degradação oxidativa, nas condições de teste.

O biodiesel metílico de mamona demonstrou boa estabilidade oxidativa, enquanto o biodiesel metílico de soja mostrou menor estabilidade oxidativa, conforme observa-se na Figura 5.

As blendas, apresentaram-se mais estáveis, no sentido crescente de resistência a degradação térmica e oxidativa M20 < M30 < M40 < M50, de acordo com o exposto na Figura 5.

Figura 5. PetroOXY dos biodieseis metílicos de soja, mamona e suas blendas



Conforme relatou Melo et al. (2014), o método demonstra um perfil semelhante ao visto pelo Rancimat. À medida que o percentual de biodiesel metílico de mamona aumenta, ocorre um ganho na estabilidade oxidativa, demonstrando ser esta uma característica das mais importantes a considerar na seleção do óleo vegetal para produção do biocombustível, por influenciar diretamente sua estabilidade oxidativa.

CONCLUSÕES

As amostras de biodiesel e blendas atenderam as exigências dos limites permitidos pelo Regulamento Técnico nº 14/2012 /ANP, exceto M0, M20, M30 e M40 para a estabilidade oxidativa; M50 (após 60 dias), M40 e M50 (após 90 dias), e M100 (após 120 dias) para o índice de acidez e M40, M50 e M100 estavam fora das especificações para a viscosidade cinemática. Nas concentrações testadas, o biodiesel metílico de mamona pode ser usado como aditivo natural no biodiesel metílico de soja. A blenda M50 se mostrou mais resistente ao processo de oxidação durante o armazenamento de 120 dias, com base no método EN 14112,

sendo considerada como a melhor proporção a ser adotada pela indústria.

REFERÊNCIAS

ANGELO, C. P.; CÉSAR, Z.; FERNANDO, G.; JAILSON B. de A.; PAULO, C. V. Chemistry without borders. Quím. Nova. vol. 35, n.10. São Paulo, 2012.

APOLINÁRIO, F. D. B.; Pereira, G. de F.; Ferreira, J. P. Biodiesel e Alternativas para utilização da glicerina resultante do processo de produção de biodiesel. Revista Universidade Petrobras/F Fluminense. v. 2, n. 1. 2012.

ASSIS, V. H. S. Otimização da síntese de biodiesel a partir do óleo das sementes de mamona e amendoim. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias). Universidade Estadual da Paraíba. Campina Grande-PB, 2014.

BORGES, L. L.; LUCIA, T. C.; GIL, E. S.; BARBOSA, E. F. Uma abordagem sobre métodos analíticos para determinação da atividade antioxidante em produtos naturais. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer – Goiânia-GO, vol.7, N.12; 2011.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Portaria Portaria nº 14 de 11 de maio de 2012. Diário Oficial da União; Poder Executivo, 2012

CANDEIA, R. A.; A SILVA, M. C. D.; CARVALHO FILHO, J. R.; BRASILINO, M. G. A.; BICUDO, T. C.; SANTOS, I. M. G.; SOUZA, A. G. Influence of soybean biodiesel content on basic properties of biodiesel–diesel blends. Fuel, V. 88: 738–43, 2009.

CANGEMI, J. M.; SANTOS, A. M.; NETO, S. C. A revolução verde da mamona. Química Nova na Escola, v 32, n. 1, 2010.

DALL'AGNOL, A.; HIRAKURI, M. H. Realidade e Perspectivas na Produção de Alimentos e Agroenergia, com Ênfase na Soja. EMBRAPA, ISSN 1516-7860, 2008.

FRANKEL, E. N. Lipid Oxidation, second edition, The Oily Press, PJ Barnes & Associates, Bridgwater, England, 2005.

JAKERIA, M. R; FAZAL, M. A; HASEEB, A. S. M. A. Influence of different factors on the stability of biodiesel: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. v. 30 154–163. 2014.

KNOTHE, G.; KRAHL, J.; VAN GERPEN, J. (Eds.). The Biodiesel Handbook, AOCS Press, Champaign, IL, 2005.

MACHADO, E. L. Genotipagem, teor de óleo, otimização do método gravimétrico e desenvolvimento de marcadores microsatélite em *Ricinus communis* L. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias). Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Cruz das Almas-PB, 2011.

MELO, M. A. M. F; MELO, M. A. R; PONTES, A. G. C; FARIAS, A. F. F; DANTAS, M. B; CALIXTO, C. D; SOUZA, A. G; FILHO, J. R. C. Non-conventional oils for biodiesel production: a study of thermal and oxidative stability. J Therm Anal Calorim v. 117:845–849. 2014.

MELO, M. A. R; MELO, M. A. M. F; SILVA, E. V; FILHO, J. R. C.; SOUZA, A. G. Study of the oxidative stability of oils

- vegetables for production of Biodiesel. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, ISSN 1981-8203, 2014.
- MELO, M. A. R. Monitoramento da Estabilidade Oxidativa no Armazenamento de Biodiesel Metílico de Soja/Mamona e Blendas em Recipientes de Vidro. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa-PB, 2009.
- 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.
- QUADROS, D. P. C.; CHAVES, E. S.; SILVA, J. S. A.; TEIXEIRA, L. S. G.; CURTIUS, A. J.; PEREIRA, P. A. P. Contaminantes em Biodiesel e Controle de Qualidade. *Rev. Virtual Quim*, 3 (5), 376-384, 2011.
- SANTIAGO, J. C.; Mercado de carbono: desafios e oportunidades na sustentabilidade para a cadeia produtiva da cana. *Omnia Humanas*, v.3, n.2, p. 28-37, 2010.
- SANTOS, F. F. P.; ALMEIDA, F. D. L.; MOTA, F. A. S.; RIOS, M. A. de S.; LIMA, A. A. da S. Analysis Of Surface Response Of Blends Of Castor Oil And Babassu. *Revista GEINTEC*. Vol. 4 n. 3 p.1139-1149. 2014.
- RAMALHO, E. F. S. M.; ALBUQUERQUE, A. R.; SOUZA, A. L.; BARRO, A. K.; MAIA, A. S.; SANTOS, I. M. G.; SOUZA, A. G. Use of diferente techniques in the evaluation of the oxidative stability of poultry fat biodiesel. *J. Therm Anal Calorim*. 2011.
- RAMALHO, H. F.; SUAREZ, P. A. Z. A Química dos Óleos e Gorduras e seus Processos de Extração e Refino. *Rev. Virtual Quim*, 2013.