

# BIODIESEIS LEVES DERIVADO DOS ÓLEOS DA MACAÚBA E DO PALMISTE: PROPRIEDADES DE MISTURAS COM O QUEROSENE NA PERSPECTIVA DE UM COMBUSTÍVEL ALTERNATIVO DE AVIAÇÃO

Juliana Quierati da Silva<sup>1,\*</sup>, Douglas Queiroz Santos<sup>2</sup>, José Domingos Fabris<sup>1,3</sup>, Luiz Vitor Leonardi Harter<sup>2</sup>, Samuel Peres Chagas<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Química, Uberlândia, MG, 38400-902, Brasil.

<sup>2</sup> Universidade Federal de Uberlândia, Escola Técnica de Saúde, Uberlândia, MG, 38408-100, Brasil.

<sup>3</sup> Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Química ICEx, Belo Horizonte, MG, 31270-901, Brasil.

\*J Q Silva (juliana.quierati@gmail.com); D Q Santos (douglas.ufu@gmail.com); J D Fabris (jdfabris@gmail.com);  
L V L Harter (vitorharter@yahoo.com.br); S P Chagas (samuel.chagas@ufu.br).

## RESUMO

Óleos da amêndoa da macaúba (*Acrocomia aculeate*) e do palmiste (*Elaeis guineensis*) foram previamente, cada um, transesterificados com metanol pela reação clássica sob catálise alcalina homogênea. Os ésteres metílicos do ácido graxo da macaúba ou do palmiste (FAME) foram então submetidos à destilação fracionada sob pressão atmosférica para obtenção de frações enriquecidas em ésteres de cadeia molecular curta, variando de C8 a C14, para serem misturadas com o combustível de jato mineral convencional. Neste estudo, misturas de tais biodieseis leves foram preparadas com o querosene Jet A-1 (conforme denominação da ASTM, ou QAV 1, de acordo com a nomenclatura da ANP brasileira) e caracterizadas por sua densidade, frações de destilação, comportamento térmico (termogravimetria e análise calorimétrica diferencial), ponto de congelamento, ponto de fulgor e poder calorífico. Essas análises foram realizadas como critério para se determinar a razão (biodiesel leve):(querosene) mais adequada, baseando-se nos valores recomendados pela ANP para as propriedades avaliadas. As misturas correspondentes a 5, 10 e 20% em volume de ésteres metílicos de ácidos graxos com predominância de cadeia curta, no combustível misturado com Jet A-1 apresentaram valores dentro dos limites recomendados pela resolução ANP 37/2009 e norma ASTM D1655.

**Palavras-chaves:** Biodiesel leve, Macaúba, Palmiste, Combustível aéreo alternativo, Misturas com querosene fóssil.



## 1. INTRODUÇÃO

A busca contínua por novos combustíveis renováveis, em resposta à crescente demanda global de energia, mas também, e até principalmente, às questões ambientais, enfatiza fortemente a importância de se desenvolver combustíveis alternativos para a aviação, particularmente aqueles derivados da biomassa obtidos de frações destiladas do biodiesel convencional, para comporem misturas, com ou mesmo substituir integralmente, os combustíveis fósseis.

O desenvolvimento de combustíveis de aviação sustentável, advindo de matérias-primas renováveis ou recicláveis, é de suprema importância ao alcance dos objetivos referentes à redução de emissões de gases na atmosfera, pois cada combustível de aviação sustentável pode fornecer redução de até 80% nas emissões de carbono ao longo de seu ciclo de vida (IATA, 2017). Visto que a principal fonte energética para a aviação provém do querosene mineral, cuja queima sustenta 2,5% do total de emissões de gases antropogênicos emitidos para a atmosfera, contabilizado em 820 tCO<sub>2</sub>/ano (IEA, 2016; ADITIYA *et al.*, 2016; ICAO, 2010). Razão suficientemente forte para motivar a busca por combustíveis renováveis, no esforço de minimizar o uso contínuo e a dependência de derivados do petróleo e, assim, a redução das emissões de gases, sobretudo os que promovem o efeito estufa atmosférico.

Atualmente, para a especificação dos querosenes de aviação alternativos, são adotadas as normas ASTM D7566 e a Resolução ANP 63, que regulamentam o querosene alternativo: (i) SPK-HEFA, obtido pela hidrogenação e desoxigenação de ésteres de ácidos graxos e ácidos livres; (ii) querosene alternativo SPK-FT, obtido da reação Fischer-Tropsch, usando catalisadores baseados em ferro ou cobalto, e (iii) querosene de aviação alternativo de isoparafinas sintéticas (SIP), a partir de açúcares fermentados hidroprocessados. Com proporções máximas para a produção de misturas com QAV-1 de 50 vol%, para SPK-FT e para SPK-HEFA, e 10 vol%, para o SIP.

Entretanto, o biodiesel leve, mistura de ésteres, usualmente metílicos, de ácidos graxos de cadeia molecular relativamente curta (C8 a C14), embora tenha natureza química essencialmente diferente da mistura parafínica do querosene de aviação alternativo, pode ser imaginado, e efetivamente usado também, como combustível para motores. Os biocombustíveis tipo FAME leves destinados a motores de avião e obtidos *via* transesterificação de bio-óleos ou biogorduras e concentrados por destilação ou filtração são tecnologicamente muito interessantes, dos pontos de vista da produção e do uso, em mistura com o querosene mineral em motores (WARDLE, 2003),



sustentando assim sua adequabilidade na mistura ao querosene fóssil de aviação (BAROUTIAN *et al.* 2013; DAMASCENO *et al.* 2018; DE OLIVEIRA, 2018; HARTER *et al.*, 2018; LLAMAS *et al.*, 2012a; LLAMAS *et al.*, 2012b; RANUCCI, 2018).

O biodiesel, um dos biocombustíveis mais utilizados mundialmente no setor de transporte, compondo a mistura de diesel (SERRANO-RUIZ; RAMOS-FERNÁNDEZ; SEPÚLVEDA-ESCRIBANO, 2012), apresenta características semelhantes a faixa da moléculas de carbono presente no querosene fóssil, quando obtido de fonte oleaginosa rica em ácidos graxos de cadeia molecular curta, entre 8 a 14 carbonos (DE OLIVEIRA, 2018). Com viabilidade técnica reportada em estudo, na adição de baixas concentrações de biodiesel na composição de misturas com o querosene para a aviação (WARDLE, 2003). Concluindo que, o biodiesel leve, integralmente ou em mistura no querosene fóssil, é uma alternativa viável, se atendidas às recomendações técnicas da ANP para os combustíveis de aeronaves.

Eis, pois, os propósitos do presente trabalho: caracterizar os parâmetros técnicos que sustentam a adequabilidade dos ésteres metílicos de ácidos graxos de cadeias moleculares relativamente curtas, ou, em expressão mais simples, biodieseis leves na formação de misturas combustíveis com o querosene fóssil, para motores de aeronaves. Os ésteres metílicos a aqui considerar são os obtidos dos óleos das amêndoas dos frutos da macaúba (*Acrocomia aculeata*) e do palmiste (*Elaeis guineenses*), dos quais os biodieseis leves em apreço são os concentrados por destilação fracionada sob pressão atmosférica, procedimento inédito, da mistura bruta de ésteres do biodiesel convencional.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Materiais

O combustível de aviação alternativo utilizado neste experimento, cedido pelo Dr. Luíz Vitor Leonardi Harter da Universidade Federal de Uberlândia de Minas Gerais, foi obtido a partir da transesterificação dos óleos da amêndoa da macaúba (*Acrocomia aculeate*) e do palmiste (*Elaeis guineensis*), individualmente transesterificados com metanol *via* reação clássica sob catálise alcalina homogênea na produção do biodiesel (FAME), submetido à destilação para obtenção de frações enriquecidas em ésteres de cadeia molecular curta, variando de C8 a C14, nomeado biodiesel leve, para serem misturadas sem a adição de qualquer aditivo com o combustível de jato mineral



convencional (HARTER, 2018). Em resumo, os triacilgliceróis de ambas oleaginosas foram utilizados individualmente como matéria-prima para a produção de ésteres metílicos: 250 mL de biodiesel foram submetidos a destilação fracionada sob pressão atmosférica, sendo recuperados seis consecutivas frações de 25 ml cada, correspondente a 60% do volume inicial do biodiesel submetido à destilação. O biodiesel leve, portanto, é constituído das cinco primeiras frações recuperadas por meio da destilação fracionada, obtido na faixa de temperatura entre 110 a 224 °C para o destilado de macaúba, e de 110 a 213 °C para o de palmiste.

## 2.2. Misturas

As amostras de misturas de biodiesel leve de macaúba ou palmiste nas porcentagens contendo 5, 10 e 20 vol% com querosene de aviação QAV-1 (QAV BL5, QAV BL10, QAV BL20) foram preparadas de acordo com os procedimentos padrões volumétricos, utilizando-se o biodiesel leve adicionado ao querosene de aviação QAV-1. Para melhor distinção, as letras M e P designam biodiesel leve de macaúba e de palmiste, respectivamente. Amostras de biodieseis leves, nomeados pela sigla BL100 M e BL100 P, fazem parte das misturas que não contém QAV-1 em sua composição.

## 2.3. Caracterização das misturas de Biodiesel leve:QAV-1

As misturas biodiesel leve:QAV-1 foram analisadas quanto às suas características químicas e físicas. Na determinação do conteúdo de água presente nas misturas de combustível, utilizou-se o método de Karl Fischer, com determinação direta do conteúdo de água na gama de 10 a 25000 mg L<sup>-1</sup>. Para a análise da massa específica foi utilizado o método ASTM D1298, contida na Resolução brasileira ANP 37. Nessa investigação, as amostras foram resfriadas a temperatura de 20 °C e realizada a leitura *via* densímetro, nomeado picnômetro. A temperatura de destilação por fração destilada foi determinada de acordo com a ASTM D86 e a estabilidade térmica, medida através da análise termogravimétrica, utilizando um arranjo DTG-60H, iniciando-se na temperatura de 25 °C até 600 °C sob atmosfera inerte (N<sub>2</sub>) e oxidativa (ar), com fluxo de 50 mL min<sup>-1</sup> e taxa de aquecimento de 10 °C min<sup>-1</sup>. O ponto de fusão, utilizando propanona e nitrogênio líquido, foram submetidas ao resfriamento até a temperatura -60 °C, dado como ponto inicial da análise. Para obtenção dos resultados, a amostra foi aquecida a uma taxa de aquecimento de 5 °C por minuto até



a temperatura de 10 °C, ponto final do experimento. Na determinação do poder calorífico das misturas, utilizou-se o método D4529 por meio do Resfriador de água Chiller IKA KV600, acoplado a calorímetro IKA C2000.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a investigação das propriedades do querosene de aviação QAV-1, biodieseis leves, e suas respectivas misturas com 5, 10 e 20 vol%, os resultados obtidos foram organizados na Tabela 1, expondo assim os resultados de forma geral. As propriedades investigadas são demonstradas de acordo com suas respectivas porcentagens de misturas e tipo de matéria-prima, respeitando os parâmetros de qualidade recomendado pelas normas ANP 37 e ASTM D1655.

Da análise dos resultados dispostos na Tabela 1, pôde-se determinar similaridade entre o combustível de aviação fóssil (QAV-1) e o biodiesel leve puro de ambas as oleaginosas nas análises de investigação da temperatura de destilação e ponto de fulgor. Não se enquadrando nos parâmetros as propriedades do resíduo da destilação, ponto de congelamento e massa específica.

Dos resultados obtidos para as misturas de querosene de aviação, tipo QAV-1, contendo biodiesel leve nas proporções de 5, 10 e 20 vol%, obteve-se que a maioria das propriedades verificadas, contendo baixa porcentagem de biodiesel leve (5%), apresentou similaridade com o combustível de aviação fóssil (QAV-1) e estiveram dentro dos parâmetros contidos na resolução ANP 37 e ASTM D1655.

**Tabela 1.** Propriedades das misturas com 5, 10 e 20 vol% de biodiesel leve com QAV-1, 100% QAV-1 e BL100 de ambas as oleaginosas.

Propriedade	ANP 37	QAV-1	Macaúba				Palmiste				Método
			Biodiesel leve_5/ QAV-1_95	Biodiesel leve_10/ QAV-1_90	Biodiesel leve_20/ QAV-1_80	Biodiesel leve_100/ QAV-1_0	Biodiesel leve_5/ QAV-1_95	Biodiesel leve_10/ QAV-1_90	Biodiesel leve_20/ QAV-1_80	Biodiesel leve_100/ QAV-1_0	
<b>Temperatura de destilação</b>											
P.E. Inicial, °C	Anotar	154	158	155	153	159	152	150	156	157	
10% rec., °C	Max. 205	173	169	171	178	170	169	168	176	169	
50% rec., °C	Anotar	202	208	211	210	210	213	204	212	211	D86
90% rec., °C	Anotar	233	248	249	258	246	252	240	253	251	
P.E. Final, °C	Max. 300	259	259	261	289	259	263	252	290	258	
Resíduo da destilação, %	Max. 1,5	1,8	2,0	2,0	2,0	2,4	2,0	2,0	2,0	2,4	
Ponto de congelamento, °C	Max. -47	-51	-46	-35	-28	-4	-44	-33	-26	-3	
Massa específica a 20 °C, kg m <sup>-3</sup>	771,3-836,6	815,4	818,1	820,8	825,7	871,4	818,0	820,7	825,5	870,1	D1298
Ponto de fulgor, °C	Min. 38	47,0	46,5	48,0	47,5	47,0	45,5	48,0	47,0	46,5	D56
Poder calorífico, MJ Kg <sup>-1</sup>	Min. 42,8	45,5	44,9	44,6	40,7	40,4	44,8	44,2	44,7	37,5	D4529



Na investigação da propriedade de destilação, todas as misturas aqui apresentadas, atenderam os padrões determinados pelo método. Sendo que tanto para o ponto inicial da destilação como para o final, os valores não apresentaram uma tendência no aumento em relação à proporção das misturas. Entretanto, o resíduo da destilação não se enquadrava às recomendações para essa propriedade, apenas aproximando-se do padrão especificado.

O ponto de congelamento, embora resultou em valores próximos aos obtidos para o querosene de aviação mineral para as misturas contendo baixas porcentagens de biodiesel leve (QAV BL5 de macaúba ou palmiste), nenhuma amostra de combustível aqui analisado, contendo biodiesel leve em qualquer porcentagem, atendeu aos padrões recomendados para essa propriedade. Entretanto, o ponto de congelamento é uma propriedade que pode ser solucionada com a adição de anticongelantes, se assim necessário.

Na investigação da densidade, os valores obtidos para a massa específica para cada mistura contendo biodiesel leve, verifica-se que todas as proporções de misturas atenderam a legislação, com exceção dos destilados contendo biodiesel leve puro. Sendo possível realizar misturas com até 38 vol%, respeitando os parâmetros mínimos exigidos.

O ponto de fulgor apresentou resultados condizentes com o padrão da legislação em todas as proporções adicionadas com biodieseis leves, de macaúba ou palmiste, apresentando similaridade aos valores obtidos para o querosene fóssil.

Na investigação do poder calorífico, os resultados foram satisfatórios pela maioria das amostras analisadas. As misturas contendo 5 e 10 vol% de biodiesel leve de ambas as oleaginosas, estiveram dentro dos padrões mínimos exigidos. Enquanto que, apenas a mistura contendo biodiesel leve de palmiste na proporção de 20 vol%, atendeu a regulamentação. Os biodieseis leves puros, BL100, estiveram fora do valor esperado para esta análise, não atendendo assim as exigências das normas ASTM ou ANP.

#### **4. CONCLUSÕES**

Os óleos vegetais da amêndoa da macaúba ou palmiste revelaram-se fontes de matéria-prima potencialmente importantes para a produção industrial de combustíveis renováveis para a aviação. Deste trabalho, provou-se experimentalmente a viabilidade de utilização de



biodiesel leve obtido por meio da destilação fracionada sob pressão atmosférica, rico em ésteres leves de ácidos graxos, na composição de misturas com querosene fóssil de aviação QAV-1.

Os combustíveis de aviação de que trata o presente trabalho, constituídos de querosene do tipo QAV-1 (ou Jet A-1) e um concentrado de ésteres graxos de cadeia relativamente curta (C8 a C14), nas proporções de 5, 10 e 20 vol%, evidenciaram-se como líquidos carburantes de qualidade suficiente, na medida em que apresentam parâmetros físico-químicos enquadráveis nas normas de adequação do combustível para a aviação, especificamente, a ANP 37 e a ASTM D1655.

Os presentes resultados revelam ainda que os biodieseis leves das fontes de óleo usadas, ricas em ácido láurico (C12), quando adicionados ao querosene mineral, em proporção de até 5 vol%, produzem combustíveis virtualmente similares, nos padrões técnicos, ao querosene fóssil, particularmente ao teor de umidade, à densidade, ao comportamento na destilação e ao ponto de fulgor. Os resultados obtidos para o ponto de congelamento, embora não atendam estritamente as recomendações, ficaram bem próximos ao do querosene mineral, sendo possível enquadrar-se também para essa característica, como pelo uso de anticongelantes.

A adição do biodiesel leve ao querosene fóssil, em proporções adequadas, seria interessante ambientalmente e, diante de uma análise apropriada de custos de produção, também economicamente; os ésteres graxos utilizados nesse trabalho foram obtidos de um processo relativamente barato e conhecido, como a transesterificação e destilação atmosférica. O biodiesel leve obtido por meio do processo de transesterificação e concentrado por destilação, além da menor complexidade em sua produção, contribuem com perspectivas referentes à emissão de poluentes na atmosfera, em razão da baixa emissão de GEE, e auxilia nas opções de fontes de exploração renováveis, minimizando a dependência do petróleo.

#### **Agradecimentos:**

Agradecemos a Escola Técnica de Saúde da Universidade Federal de Uberlândia pelo apoio institucional.

## **5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**



ADITIYA, H. B. *et al.* Second generation bioethanol production: A critical review, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 66, p. 631–653, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.07.015>>.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (BRASIL). Resolução ANP N° 63, de 5.12.2014 – DOU 8.12.2014. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2014. Disponível em: [http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/resolucoes\\_anp/2014/dezembro/ranp63-2014.xml](http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2014/dezembro/ranp63-2014.xml). Acesso em 10 de dez. 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (BRASIL). Resolução ANP N° 37, de 1.12.2009. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2 dez. 2009.

ASTM D1655 – 16C. Standard Specification for Aviation Turbine Fuels. **Annual Book of ASTM Standards**, p. 1–20, 2016.

ASTM D7566 – 18, Standard Specification for Aviation Turbine Fuel Containing Synthesized Hydrocarbons, **Annual Book of ASTM Standards**, p. 1–16, 2018.

BAROUTIAN *et al.* Blended aviation biofuel from esterified *Jatropha curcas* and waste vegetable oils, **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, v. 44, n. 6, p. 911–916, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jtice.2013.02.007>>.

BAROUTIAN, S. *et al.* Blended aviation biofuel from esterified *Jatropha curcas* and waste vegetable oils. **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, [s.l.], v. 44, n. 6, p. 911–916, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jtice.2013.02.007>>.

DAMASCENO, S. M. *et al.* Selective adsorption of fatty acid methyl esters onto a commercial molecular sieve or activated charcoal prepared from the *Acrocomia aculeata* cake remaining from press-extracting the fruit kernel oil, **AIMS ENERGY**, v. 6, n. September, p. 801–809, 2018.

DE OLIVEIRA, V. F. *et al.* Short-chain esters enriched biofuel obtained from vegetable oil using molecular distillation, **Canadian Journal of Chemical Engineering**, v. 96, n. 5, p. 1071–1078, 2018.

HARTER, L. V. L.; SANTOS, D. Q.; FABRIS, J. D. Destilação atmosférica do biodiesel derivado do óleo de macaúba ou do palmiste para obtenção da fração de ésteres leves para uso como combustível de aviação. **Química Nova**, [s.l.], 2018.

INTERNATIONAL AIR TRANSPORT ASSOCIATION. **IATA Annual Review 2017**, [s.l.], 2017.

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. **Aviation's Contribution to Climate Change**, [s.l.], 2010.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **World Energy Outlook 2016**. Paris, 2016. Disponível em: <[http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEB\\_W](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEB_W)>. Acesso em: 01 ago. 2018.

LLAMAS, A. *et al.* Biokerosene from babassu and camelina oils: Production and properties of their blends with fossil kerosene, **Energy and Fuels**, v. 26, n. 9, p. 5968–5976, 2012b.

LLAMAS, A. *et al.* Biokerosene from coconut and palm kernel oils: Production and properties of their blends with fossil kerosene, **Fuel**, v. 102, p. 483–490, 2012a.

NEULING, U.; KALTSCHMITT, M. **Biokerosene**, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2018.

RANUCCI, C. R. *et al.* Potential alternative aviation fuel from *jatropha* (*Jatropha curcas* L.), babassu (*Orbignya phalerata*) and palm kernel (*Elaeis guineensis*) as blends with Jet-A1 kerosene, **Journal of Cleaner Production**, v. 185, p. 860–869, 2018.



SERRANO-RUIZ, J. C.; RAMOS-FERNÁNDEZ, E. V.; SEPÚLVEDA-ESCRIBANO, A. From biodiesel and bioethanol to liquid hydrocarbon fuels: new hydrotreating and advanced microbial technologies, **Energy & Environmental Science**, v. 5, p. 5638–52, 2012.

WARDLE, D. A. Global sale of green air travel supported using biodiesel, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 7, n. 1, p. 1–64, 2003.