ANÁLISE DE LUBRICIDADE DO BIODIESEL ORIUNDO DE ÓLEO DE ALGODÃO COM ADIÇÃO DE ÓLEO DIESEL

Ellen Gomes Silva[1], Jhonatan Guilherme Felisberto da Silva[2], Lilia Basilio de Caland[2], Natalia Sabrina de Lima Nunes[1]

[1]Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil
(ellengomes0202@gmail.com)
[2]Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil

Resumo: O trabalho avalia o efeito da lubricidade do biodiesel de algodão e suas misturas com diesel (B15, B50 e B75) sobre peças metálicas de um motor. Os ensaios tribológicos indicaram que o biodiesel possui boas propriedades lubrificantes, com formação de filme similar e atrito inferior ao diesel. As peças metálicas expostas ao biodiesel sofreram menor desgaste. A mistura B50 apresentou maior eficiência. Conclui-se que o uso desse biodiesel é uma alternativa viável à utilização de óleo diesel.

Palavras-chave: Biodiesel; Lubricidade; Tribologia; Formação de Filme; Desgaste abrasivo

INTRODUÇÃO

A energia consumida pela maior parte do mundo, em especial no setor automobilístico, provém principalmente de fontes fósseis e não renováveis, como óleo diesel mineral (Gondim *et al*., 2017). O uso contínuo desses combustíveis gera sérios impactos ambientais, destacando-se o aquecimento global impulsionado pela emissão de gases do efeito estufa. Diante dessa problemática, a busca por uma matriz energética sustentável tem estimulado, cada vez mais, a utilização do biodiesel, que, segundo Parente (2003), é um biocombustível renovável e de queima mais limpa, capaz de substituir parcial ou totalmente o diesel convencional. O Brasil, com vasta capacidade agrícola, possui diversas fontes oleaginosas para essa finalidade, destacando-se o óleo de algodão, uma matéria-prima altamente disponível, de baixo custo e com ótimo rendimento energético (Carvalho, 2018; Azevedo, 2017).

No contexto operacional, esses combustíveis são utilizados em motores de combustão interna (ciclo Diesel) e entram em contato direto com uma grande variedade de componentes e peças metálicas, como bicos injetores, bombas, cilindros e pistões, os quais são feitos de diferentes ligas metálicas (Fazal; Haseeb; Masjuki, 2012). A capacidade de lubrificação de um combustível está relacionada, principalmente, à habilidade do combustível em evitar fricção entre duas superfícies metálicas em contato. Devido a esse atrito constante, a lubricidade se torna uma propriedade físico-química indispensável. Ela é responsável por formar um filme protetor que minimiza a fricção entre as superfícies metálicas, prevenindo desgastes severos, superaquecimento e falhas no motor (Silva, 2018; Mattos, 2012). Com a redução obrigatória do teor de enxofre no diesel convencional por razões ambientais, a sua capacidade lubrificante caiu drasticamente (Sulek; Kulczycki; Malysa, 2010). O biodiesel, por sua vez, possui excelente lubricidade, atuando como um poderoso aditivo capaz de recuperar e otimizar essa propriedade no óleo mineral, mesmo quando utilizado em baixas proporções (Knothe; Gerpen; Krahl, 2005). Surge, então, a preocupação sobre a adequação dos materiais expostos ao biodiesel, necessitando-se verificar a eficiência tribológica do biodiesel de algodão e das suas misturas (Aquino, 2012)

Diante disso, o objetivo geral deste trabalho é avaliar o efeito da lubricidade do biodiesel oriundo do óleo vegetal de algodão, e de suas respectivas misturas com óleo diesel, sobre as peças metálicas que compõem um motor.

MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia deste trabalho consistiu em uma pesquisa experimental focada na síntese e avaliação tribológica do biocombustível. Para atingir os objetivos, foram seguidas as seguintes etapas:

1) Síntese e Caracterização do Biodiesel: o biodiesel de algodão foi produzido em laboratório através do processo de transesterificação por via metílica, utilizando hidróxido de potássio (KOH) como catalisador. A qualidade do biodiesel foi validada através do cálculo do seu rendimento e da determinação do seu índice de acidez por meio de titulação.

2) Obtenção das Misturas: a partir do biodiesel sintetizado e do óleo diesel S500, foram preparadas misturas binárias nas proporções de 15% (B15), 50% (B50) e 75% (B75).

3) Preparação e Caracterização da Amostra Metálica: para a simulação, foram utilizados discos e esferas de aço AISI 52100. Os discos passaram por usinagem, lixamento e polimento com alumina para garantir uma superfície extremamente lisa. Antes dos testes, avaliou-se a dureza dos materiais (métodos Vickers e Rockwell) e mediu-se a rugosidade média (Ra) dos discos com um rugosímetro portátil.

4) Ensaio de Lubricidade (HFRR): a avaliação tribológica das amostras (B0, B15, B50, B75 e B100) foi utilizando o equipamento *High Frequency Reciprocating Rig* (HFRR), de acordo com a norma ASTM D6079. O teste consistiu no deslizamento rápido da esfera contra o disco, ambos submersos no combustível a 60ºC, permitindo monitorar o coeficiente de atrito e o percentual de filme lubrificante formado.

5) Avaliação dos Desgastes: nas esferas foi utilizada a Microscopia Óptica (MO) para medir e calcular o Diâmetro Médio da Escara de Desgaste (WSD), principal indicativo do poder lubrificante do fluido. Nos discos, realizou-se uma nova medição da rugosidade superficial. Em seguida, a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) identificou os mecanismos e a extensão das ranhuras de desgaste e a Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS) quantificou os elementos químicos ali presentes, verificando possíveis oxidações ou transferências de material.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

1) Caracterização Físico-Química do Biodiesel de Algodão:

A síntese do biodiesel de óleo de algodão foi bem-sucedida e validada através de dois parâmetros principais: Rendimento e Índice de Acidez (IA).

O rendimento obtido foi de 81,02%. Esse valor atende ao limite mínimo estabelecido pela Agência Nacional de Petróleo (ANP), que exige um rendimento igual ou superior a 80%. Ao comparar com a literatura, o resultado foi levemente superior ao de Gonçalves et al., 2019 (79,5%) e inferior ao obtido por Bau, 2022 (97%), diferença que é atribuída aos diferentes métodos de síntese e tratamentos prévios da matéria-prima empregada pelos autores.

Tabela 1. Resultados das replicatas do índice de acidez.

Replicata	Índice de Acidez (NaOH/g)
1	0,28
2	0,27

Tabela 2. Resultados dos cálculos de média e desvio padrão.

Média	0,28
Desvio Padrão	0,01

O IA médio indicado na Tabela 1 foi de 0,28 NaOH/g. Este valor também encontra-se bem abaixo do limite máximo da ANP (0,5 NaOH/g), indicando que o biocombustível apresenta alta qualidade, baixa presença de ácidos graxos livres e menor suscetibilidade a reações de degradação e corrosão de peças.

2) Ensaios de Lubricidade (HFRR):

A avaliação tribológica de referência (B0) e das misturas de biodiesel (B15, B50 e B75 e B100) foi conduzida em equipamento HFRR a 60ºC por 4500 segundos. Os valores de formação de filme, coeficiente de atrito e diâmetro de desgaste (WSD) obtido nas triplicatas estão resumidos na tabela abaixo:

Combustível	Coeficiente médio de Atrito	Formação média de Filme (%)	WSD médio (µm)
B0	0,112	91	482,823
B15	0,108	91,33	448,353
B50	0,113	93,67	375,05
B75	0,137	88,67	410,66
B100	0,111	90	395,34

Figura 1. Tabela média de formação de filme e WSD.

Na Figura 1, mostra que os coeficientes de atrito viraram entre 0,10 e 0,14, estes resultados apresentam similaridade com os resultados obtidos por Gerbig et al. (2004), que realizaram um estudo de lubricidade com dezesseis diferentes tipos de óleos vegetais puros e concluíram que sob condições de desgaste abrasivo, todos os óleos apresentaram valores de atrito estáveis e baixos, com uma faixa situada entre 0,11 e 0,13.

A mistura B50 destacou-se ao apresentar o maior percentual de formação de película protetora, atingindo 93,67%. Os demais combustíveis geraram

níveis ligeiramente inferiores, como o B15 (91,33%), B0 (91%), B100 (90%) e o B5 (88,67%).

Em relação ao desgaste gerado (WSD), o diesel de referência (B0) causou a maior escara de desgaste, no valor de 482,823µm. Em contrapartida, todas as amostras contendo biodiesel reduziram esse dano, com destaque novamente para o B50, que gerou a menor marca de desgaste com 375,05 µm. O B100 e o B75 também apresentaram bons desempenhos.

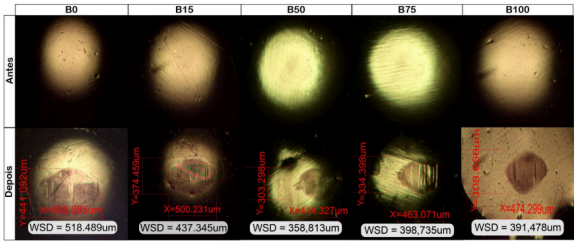

Figura 2. Escaras de desgaste resultantes dos ensaios de lubricidade no HFRR.

Analisando a figura acima, observa-se que todas as amostras de combustíveis apresentaram WSD inferiores a 520 µm e, portanto, têm lubricidade adequada conforme a norma EN 590. Ademais, somente as amostras como % de biodiesel, com o valor mínimo de 15% (B15) apresentaram dentro do estabelecido para a EN 590 e ASTM D975, o que podemos sugerir que a presença do biocombustível na mistura, reforça a propriedade lubrificante do diesel.

Por fim, os dados das Figuras 1 e 2 comprovam que a adição de biodiesel melhora as propriedades do combustível, sendo o B50 a amostra de maior destaque, pois garantiu simultaneamente a maior quantidade de filme formado, a menor escara de desgaste mecânico e um baixo atrito.

3) Análise da rugosidade superficial dos discos

Conforme Stachowiak e Batchelor (2016), a rugosidade superficial, de qualquer elemento, denota que grande parte de uma superfície plana é composta por picos e vales com uma amplitude na faixa de um micrômetro, geralmente. A rugosidade resulta em uma descontinuidade na área de contato, de modo que área de contato real apresenta apenas uma parte da área de contato aparente e, a relação entre elas duas é, principalmente, influenciada pelos materiais em contato, pela rugosidade da superfície e pela carga normal que é aplicada.

Para análise de rugosidade, vários parâmetros são considerados, mas a métrica mais comumente utilizada é a rugosidade aritmética média (Ra). A rugosidade média dos discos foi avaliada antes e após cada ensaio de lubricidade, devido à consistência e semelhança entre os resultados de Ra correspondentes a um disco para cada combustível avaliado.

Disco de aço AISI 52100	Área não desgastada	Área desgastada
AMOSTRA	Ra ± DP	Ra ± DP
B0	0,051 ± 0,003	0,243 ± 0,033
B15	0,054 ± 0,003	0,219 ± 0,040
B50	0,061 ± 0,000	0,192 ± 0,020
B75	0,055 ± 0,004	0,223 ± 0,025
B100	0,055 ± 0,003	0,183 ± 0,029

Figura 3. Tabela das médias de rugosidade superficial dos discos antes e após ensaio de lubricidade.

Observando a Figura 3, nota-se que para todas as amostras analisadas, a região desgastada do disco ofereceu os maiores valores de Ra, como dito anteriormente. Este aumento nas rugosidades é consequência das crateras formadas devido ao contato e deslizamento da esfera sobre o disco no HFRR, formando texturas mais ásperas que a região de não-contato do disco.

Conforme Bahari (2017), uma rugosidade superficial mais alta pode contribuir para um coeficiente de atrito mais alto. No entanto os resultados obtidos com relação ao percentual médio de filme, coeficiente médio de atrito e Ra média, não observa-se diferenças consideráveis, resultando apenas em pequenas distinções nos resultados dos parâmetros avaliados.

O diesel (B0) foi o que mais danificou a superfície, resultando na maior rugosidade média final (Ra = 0,243µm). As adições de biodiesel suavizaram os danos. O biodiesel puro (B100) e a mistura B50 registraram as menores rugosidades (0,183 µm e 0,192 µm, respectivamente). Estes resultados indicam que a adição de biodiesel nas misturas diminuiu as rugosidades médias após os ensaios de lubricidade, consequentemente, menos ásperas e profundas resultaram as áreas de contato após submetidas aos ensaios de lubricidade com atrito severo, como resultado, menor desgaste.

CONCLUSÃO

1) O biodiesel de óleo de algodão e suas misturas possuem capacidade igual ou superior à do óleo diesel convencional. A adição de biodiesel nas misturas favorece a formação de uma película lubrificante adequada reduzindo o desgaste e o coeficiente de atrito.

2) A mistura B50 foi a de maior eficiência, apresentando a maior formação média de filme lubrificante (93,67%) e o menor índice médio de desgaste (WSD).

3) A mistura B15 demonstrou menor coeficiente médio de atrito (0,108) aliado a uma boa formação média de filme (91,33%).

4) O diesel convencional obteve uma formação média de filme de 91%. Apesar disso, exibiu o maior

índice médio de desgaste dentre todos os combustíveis avaliados

5) Todos os combustíveis testados apresentaram índices de desgaste (WSD) dentro da norma, provando possuir alta performance de lubrificação.

6) O biodiesel de óleo de algodão e suas misturas são considerados uma opção viável para substituir o óleo diesel convencional sem a necessidade de realizar modificações nos motores automotivos.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do PIBIC. Agradecemos a Universidade do Federal do Rio Grande do Norte pelas instalações laboratoriais cedidas, essenciais para a realização dos ensaios.

REFERÊNCIAS

AQUINO, I. P. Avaliação da Corrosividade do Biodiesel por Técnicas Gravimétricas e Eletroquímicas. 2012. 243p. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia Química, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

AZEVEDO, S. H. G. Produção de biodiesel em reator de fluxo contínuo a partir do óleo de algodão em condições supercríticas. 2017. 125 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

BAU, W. Avaliação do uso de óleo residual de algodão na produção de biodiesel. 2022. 26 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Erechim, 2022.

CARVALHO, A. Caracterização físico-química do biodiesel de algodão. 50 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2018.

FAZAL, M. A.; HASEEB, A. S. M. A.; MASJUKI, H. H. Degradation of automotive materials in palm biodiesel. Energy, [s. l.], v. 40, n. 1 p. 76-83, 2012.

GERBIG, Y. et al. Suitability of vegetable oils as industrial lubricants. Journal of Synthetic Lubrication, [s. l.], v. 21, ed. 3, p. 177-191, 2004.

GONÇALVES, M. D. et al. Production and characterization of biodiesel produced from unitary oils and binary mixtures. Revista Brasileira De Ciências Ambientais, [s. l.], n. 53, p. 33-50, 2019.

GONDIM, A. D. et al. Produção de biodiesel por transesterificação utilizando catalisador heterogêneo (KOH/Al2O3). HOLOS - ISSN 1807-1600, [S. l.], v. 1, p. 241–254, 2017.

KNOTHE, G.; GERPEN, J. V.; KRAHL, J. The biodiesel handbook. AOCS Press, 2005. 303 p.

MATTOS, C. V. L. Estudo da Correlação das Propriedades do Diesel, Biodiesel e suas Blendas com a Lubricidade. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

PARENTE, E. J. S. BIODIESEL: Uma Aventura Tecnológica num País Engraçado. Fortaleza: Tecbio, 2003. 66 p.

SILVA, M. T. S. S. Estudo do Comportamento Tribológico do Lubrificante Mineral 15W40 Contaminado por Biodiesel e suas Misturas com Diesel. 2018. 86 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

STACHOWIAK, G.; BATCHELOR, A. W. Engineering Tribology. 4. ed. [S. l.]: Butterworth-Heinemann, 2016. 884p.

SULEK, M.W.; KULCZYCKI, A.; MALYSA, A. Assessment of lubricity of compositions of fuel oil with biocomponents derived from rape-seed. Wear, v. 268, 2010, pp. 104–108.