



UTILIZAÇÃO DAS FOLHAS DE *Moringa oleífera* Lam PARA A PRODUÇÃO DE UM PÓ NATURAL USADO COMO ADITIVO ANTIOXIDANTE NO BIODIESEL

ANA FLÁVIA M. SANTANA^{1*}, JOYCE O. C. SOUSA¹, DAVID M. FERNANDES¹, JOSÉ ROBERTO D. FINZER¹

¹Universidade de Uberaba, Programa de Mestrado em Engenharia Química

*e-mail: anaf11santana@gmail.com

joycecapoli@hotmail.com

RESUMO - A riqueza e importância da *Moringa oleífera* Lam está relacionada aos benefícios diversos que essa planta apresenta, sendo as folhas, a parte mais importante e essencial para estudos e pesquisas, pois podem ser utilizadas na produção de aditivos antioxidantes que retardam a degradação química dos combustíveis, de modo que se torna uma alternativa inteligente, econômica e sustentável. O biodiesel pode ser definido como um combustível biodegradável, produzido a partir de óleos vegetais extraídos de diversas fontes oleaginosas, por meio de reações de transesterificação. Para se verificar e avaliar a viabilidade da atividade antioxidante do biodiesel, foi realizada a adição do pó natural, produzido a partir das folhas de *Moringa oleífera* Lam, e a adição do extrato sintético, TBHQ, ao biodiesel de soja. As folhas da planta foram submetidas à extração da clorofila, utilizando a acetona e o acetato de etila como solventes, e à etapa de moagem, obtendo o pó natural. A análise de cor realizada no colorímetro mostrou a eficiência da extração da clorofila e as outras análises físico-químicas, como o índice de peróxido, o índice de acidez, a massa específica e a viscosidade, mostraram valores satisfatórios para demonstrar que o biodiesel com a adição do pó natural a 1000 ppm pode ser um excelente antioxidante natural, sendo eficaz ao teste de estabilidade à oxidação.

Palavras-chave: *Moringa oleífera* Lam. Antioxidante. Pó natural.

INTRODUÇÃO

A planta *Moringa oleífera* Lamarck, comumente chamada de *Moringa oleífera* Lam, é pertencente à família Moringaceae, originária dos continentes asiático e africano. Estudiosos, apontam que a mesma teve origem na Índia. A distribuição da planta alcançou os continentes europeu, americano, asiático, até que se chegou ao Brasil, na região do Norte e Nordeste do país, onde se adaptou ao clima seco e árido (FRANÇA; MENEZES; MOREIRA; SILVA; BRANDÃO, 2014).

Considerada por ser uma das árvores mais úteis do mundo, por apresentar benefícios diversos, devido ao seu poder alimentício, medicinal e industrial, pode-se utilizar todas as

partes da árvore (raízes, tronco, flores, sementes e folhas), pois são altamente ricas em nutrientes. Em outras palavras, é uma fonte rica e completa de vitaminas, proteínas e sais minerais que são essenciais para o corpo humano. De todo o conjunto da *Moringa oleífera* Lam, a parte que mais se destaca é as folhas (RIZZI, 2016).

As folhas desta árvore vêm despertando o interesse e curiosidade de estudiosos e pesquisadores. Muñoz (2015) provou que o extrato das folhas da *Moringa oleífera* Lam podem ser utilizadas na produção de aditivos antioxidantes que retardam a degradação química de biocombustíveis, no caso desta monografia, o biodiesel.

O biodiesel surgiu como uma alternativa energética aos combustíveis fósseis, principalmente ao diesel, devido à preocupação com a escassez das reservas petrolíferas, além dos aspectos econômicos, sociais e ambientais (RATHMANN; BENEDETTI; PLÁ; PADULA, 2014).

Sabe-se que o biodiesel pode ser produzido utilizando diversas fontes oleaginosas, tais como, soja, milho, canola, dendê, pinhão-mansão, algodão, dentre outras. Desse modo, o Brasil apresenta um grande potencial para utilização em larga escala desse biocombustível na sua matriz energética, pois apresenta condições favoráveis para o cultivo das matérias-primas, dentre outros fatores (RATHMANN; BENEDETTI; PLÁ; PADULA, 2014). Segundo as normas da ANP (2018), somente no Brasil, a comercialização do produtor de biodiesel ao consumidor final, permite uma mistura de 10% de biodiesel ao óleo diesel (B10).

O biodiesel é produzido principalmente por meio da reação de transesterificação de triglicerídeos de óleos vegetais na presença de catalisadores ácidos, básicos ou enzimáticos, empregando álcoois de cadeia curta, normalmente, metanol e etanol, e tendo como subproduto o glicerol (LÔBO, 2009).

Um fator importante a ser considerado quando o biodiesel é produzido, é o processo de auto-oxidação que ocorre devido à presença de metais, água, luz, dentre outros fatores, os quais diminuem o período de indução do biodiesel, ou seja, diminui o tempo que esse produto poderá ser armazenado em tanques. Sob estas condições, o biodiesel torna-se mais corrosivo devido ao aumento de sua acidez e formação de peróxidos, levando ao desgaste de materiais metálicos que compõem tanques e partes de motores dos veículos automotivos e formação de polímeros causando o entupimento de filtros. Dessa forma, a adição de antioxidantes é imprescindível para que o produto produzido tenha a sua qualidade preservada, retardando os processos de oxidação. Nesse sentido, o uso de antioxidantes naturais, tais como o α -tocoferol,

encontrado nas folhas da Moringa oleífera Lam, tem surgido como alternativa, pois possuem como vantagem o fato de não serem considerados tóxicos como os antioxidantes sintéticos e aumentarem o período de indução dos biodieseis com eficiência comparável ou maior que os antioxidantes comerciais, por exemplo, o TBHQ (LÔBO, 2009).

O presente trabalho foi dividido em partes. O item 3 se tratou de todo o procedimento experimental realizado: a produção do biodiesel, a coleta das folhas de Moringa oleífera Lam, a etapa de extração da clorofila dessas folhas, a etapa de moagem, a análise granulométrica, a obtenção do pó natural, a análise colorimétrica e as análises físico-químicas, tais como: o índice de peróxido, o índice de acidez, a massa específica e a viscosidade. Já no item 4, foi apresentado todos os resultados e discussões obtidos a partir das análises colorimétrica e físico-químicas. Por fim, no item 5, expôs a conclusão de que o pó natural obtido a partir das folhas da planta Moringa oleífera Lam adicionado em amostras de biodieseis possuem bom poder antioxidante.

Produção de biodiesel

A reação utilizada para converter triglicerídeos em ésteres foi a reação de transesterificação, tendo como produto o biodiesel a base de óleo de soja, sintetizado pela rota metálica (FERNANDES, 2011).

Inicialmente, obteve-se o metóxido de potássio, misturando-se 20 g de metanol com 1g de KOH em uma razão de 10:2 (m/v) de óleo em relação ao álcool e 1% em massa de KOH em relação ao óleo e razão molar de 6:1 óleo/álcool. Para uma melhor homogeneização, a mistura foi colocada em agitação por barra magnética, por aproximadamente 10 minutos, até que todo o hidróxido de potássio fosse dissolvido.

Em seguida, misturou-se o metóxido de potássio a 100 g de óleo de soja e colocou-se em um agitador por barra magnética para efetuar a reação de transesterificação, durante 60 minutos a temperatura ambiente.

Ao término da reação, as misturas foram transferidas para um funil de decantação, com o intuito de separar as fases. Após determinado tempo, foi possível observar duas fases bem distintas: uma fase rica em ésteres metílicos, menos densa e mais clara e uma fase rica em glicerina, mais densa e mais escura (Figura 1).



Figura 1 – Biodieseis de óleo de soja.

Posteriormente, a glicerina foi separada utilizando o funil de decantação e os biodieseis seguiram para a etapa de lavagem. Na etapa de lavagem, foram realizadas lavagens com 100 mL de água, usando água destilada a uma temperatura de aproximadamente 85°C, cujo objetivo foi retirar todas as impurezas restantes do processo de transesterificação, tais como, resíduos, subprodutos e excedentes do álcool ou catalisador. As lavagens foram realizadas no próprio funil de separação, sendo separada a água do biodiesel a cada etapa.

O biodiesel “lavado” foi armazenado em recipiente de vidro e armazenado a temperatura ambiente para posterior análise. Foram produzidos sete biodieseis seguindo a metodologia descrita acima com o intuito de adicionar o pó das folhas de *Moringa oleífera* Lam e o extrato sintético (TBHQ) em diferentes concentrações: 250 ppm, 500 ppm e 1000 ppm.

Coleta das folhas de *Moringa*

A coleta das folhas de *Moringa oleífera* Lam (Figura 2) foi realizada na cidade de Uberaba-MG (Latitude: -19.7613857 e

Longitude: -47.9372186) no mês de setembro e outubro de 2019.



Figura 2 – Folhas de *Moringa oleífera* Lam

Extração da clorofila das folhas de *Moringa*

Foi pesada uma amostra de 5,0 g de folhas da planta em um béquer (Figura 3). Repetiu-se a pesagem cinco vezes com novas amostras em béqueres distintos.



Figura 3 – Pesagem das folhas de *Moringa oleífera* Lam.

Para o teste de extração da clorofila das folhas, inicialmente, foram testados alguns solventes, tais como: Acetato de Etila P.A., Acetona P.A., Diclorometano P.A. e Hexano P.A. (Figura 4)



Figura 4 – Solventes utilizados para a extração (diclorometano, hexano, acetona e acetato de etila).

Em provetas, foram medidos 100 mL de cada reagente descrito acima, sendo estes adicionados sobre a amostra de folhas contidas no béquer. Com o auxílio de uma barra

magnética, agitou-se a mistura durante um período de 20 minutos, vedou-se com filme de plástico e deixou-se em repouso por um período de 24 a 48 horas.

Passado este período, foi realizada a filtração de todos os béqueres contendo as folhas com os solventes, com o auxílio de um funil, papel filtro e suporte universal. Observou-se que os solventes que obtiveram melhores resultados referente à extração foi o Acetato de Etila e a Acetona (Figura 5). Permaneceu-se o estudo com ambos. Repetiu-se o experimento descrito acima por mais quatro vezes, procedimento em série e quantificando-se, foi extraído quase 80% da clorofila das folhas, sendo comprovado por meio da análise de cor das folhas realizada em colorímetro, ver (Figura 11). Após a última filtração, as folhas que ficaram retidas no papel filtro foram levadas a estufa à temperatura de 80°C para a evaporação do solvente e obtenção da folha seca (Figura 6), até massa constante (FERNANDES, 2011).



Figura 5 – Aspecto das folhas após a extração com acetona (à esquerda) e acetato de etila (à direita).



Figura 6 – Folhas secas (à esquerda, as folhas extraídas com acetona e à direita, com acetato de etila).

Moagem das folhas da Moringa

Após a secagem das folhas para a evaporação dos solventes utilizados, foi

realizada a moagem em um moinho de facas da Marconi modelo MA 048 (Figura 7), obtendo-se assim, um pó natural (Figura 8), sem clorofila, extraído das folhas de Moringa oleífera Lam para ser utilizado como um aditivo antioxidante no biodiesel.



Figura 7 – Moinho de facas.



Figura 8 – Pó natural obtido após a moagem (à esquerda, pó extraído com acetona e à direita, com acetato de etila).

Análise Granulométrica

A análise granulométrica consiste na determinação da distribuição de tamanhos de uma amostra de partículas. Para isso, foi utilizada a análise usando uma série de peneiras Tyler com as peneiras 16, 100 e o prato coletor (Figura 9) para selecionar as partículas do pó natural (Figura 10) para a inserção no biodiesel.



Figura 9 – Série de peneiras Tyler.

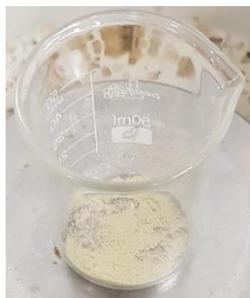


Figura 10 – Partículas (prato coletor).

Análise de cor das folhas de Moringa oleífera Lam

O pó natural obtido a partir da moagem das folhas e as folhas frescas de Moringa foram submetidos a uma análise de cor no colorímetro de refletância da Marca Eoptis, modelo CLM194 (Figura 11) para verificar o quanto de clorofila foi extraída (USER GUIDE – CLM-194).



Figura 11 – Colorímetro Eoptis CLM-194.

Uma amostra ideal para obter medições repetidas e precisas de cores com um colorímetro de refletância, como o CLM-194, deve possuir as seguintes características: ➤ Uma superfície plana; ➤ Completamente opaco sem translucidez; ➤ Limpo e seco; ➤ Uniforme em toda a área medida; ➤ Grande o suficiente para cobrir a porta de amostra do instrumento; ➤ Sua cor não é afetada pela luz (fotocrômica), umidade (higromocrômica) ou calor (termocrômica); ➤ Representar adequadamente o material ou partes sob avaliação.

Se alguma dessas qualidades não estiver presente, a amostra deve ser a mais ideal possível para uma medição correta.

A amostra de pó natural foi posicionada no amostrador (indicado como 13), conforme

ilustra a (Figura 12). O amostrador foi colocado no ponto 1 do aparelho. Em seguida, a leitura foi realizada. Este teste também foi feito com as folhas frescas de Moringa, com o intuito de comparação das folhas (padrão) com o pó, antes e depois da extração da clorofila.

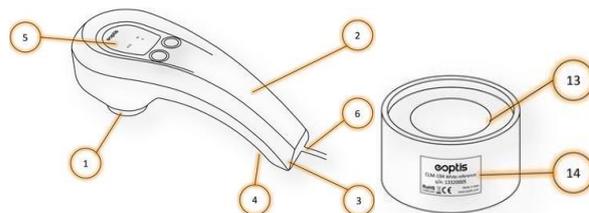


Figura 12 – Análise de cor no colorímetro Eoptis

A análise dos testes foi feita no software CLM-196, do próprio equipamento. O software expressa a cor de forma objetiva através de números. Quando as cores são ordenadas, elas podem ser expressas em termos de tonalidade, luminosidade e saturação. Com a criação de escalas para esses atributos é possível expressar cores de forma precisa.

O espaço de cor $L^*a^*b^*$ foi desenvolvido a partir da teoria de cores opostas, na qual duas cores não podem ser verdes e vermelhas ao mesmo tempo, ou amarelas e azuis ao mesmo tempo. L^* indica a luminosidade, a^* é a coordenada cromática vermelho/verde (+ a^* indica vermelho e - a^* indica verde) e b^* é a coordenada cromática amarelo/azul (+ b^* indica amarelo e - b^* indica azul).

O colorímetro mede a luz refletida da amostra em seu comprimento de onda ou em faixa específica. Então, ele quantifica os dados espectrais para determinar as coordenadas de cor da amostra no espaço de cor $L^*a^*b^*$ e apresenta a informação em termos numéricos. A escala L^* varia de 0 a 100, sendo que zero corresponde à cor preta e 100 à cor branca.

O equipamento é capaz de detectar pequenas diferenças de cor, mesmo quando duas cores parecem iguais aos olhos de uma pessoa. Por isso, é importante identificar as diferenças entre uma amostra do produto e o

padrão, antes de se iniciar uma produção em alta escala.

As diferenças de cor são definidas pela comparação numérica entre a amostra e o padrão. Ela indica as diferenças absolutas nas coordenadas de cor entre a amostra e o padrão, e são conhecidas como deltas (Δ). Os deltas para L * (ΔL), a * (Δa) e b * (Δb) podem ser negativos (-) ou positivos (+). No entanto, a diferença total, (ΔE), é sempre positiva. Elas são expressas de acordo com a Equação (1):

$$\Delta E = \sqrt{(L_1^* - L_0^*)^2 + (a_1^* - a_0^*)^2 + (b_1^* - b_0^*)^2} \quad (1)$$

na qual L_1^* , a_1^* e b_1^* são dados da amostra e L_0^* , a_0^* e b_0^* são dados do padrão. O ΔL indica a diferença em mais claro e mais escuro; Δa , a diferença em vermelho e verde; Δb , a diferença em amarelo e azul, e por fim, ΔE indica a diferença total de cor.

Índice de Peróxido – Estabilidade Oxidativa

A determinação do índice de peróxido indica todas as substâncias, chamadas de peróxidos, que são resultadas da oxidação do óleo vegetal, que oxidam o iodeto de potássio nas condições de teste. Este teste foi utilizado para analisar a estabilidade oxidativa das amostras de biodiesel com o pó natural e do extrato sintético (LUTZ, 2008).

Foram pesados 5 g da amostra em um frasco Erlenmeyer de 250 mL e adicionados 30 mL de solução ácido acético-clorofórmio 3:2 com agitação até a dissolução da amostra. Adicionou-se 0,5 mL de solução saturada de KI e a amostra foi deixada em repouso ao abrigo da luz por exatamente um minuto. Depois, foram acrescentados 30 mL de água e a titulação foi realizada com solução de tiosulfato de sódio 0,1 N, com constante agitação. Continuou a titulação até que a coloração amarela tenha quase desaparecido. Adicionou-se 0,5 mL de solução de amido indicadora e continuou a titulação até o completo desaparecimento da coloração azul. Foi preparada uma prova em branco, nas mesmas condições e titulada. O índice de peróxido é calculado de acordo com a Equação (2):

$$\text{Índice de peróxido em meq por 1000g da amostra} = \frac{(B-A) \cdot N \cdot f \cdot 1000}{P} \quad (2)$$

em que: B é o número de mL da solução de tiosulfato de sódio 0,1 N gasto na titulação do branco; A é o número de mL da solução de tiosulfato de sódio 0,1 N gasto na titulação da amostra; N é a normalidade da solução de tiosulfato de sódio; f é o fator da solução de tiosulfato de sódio e P é o número de g da amostra.

Índice de Acidez

A determinação da acidez indica a formação de ácidos graxos livres após um processo de decomposição, seja ele uma oxidação, por exemplo. Também, é importante na avaliação do estado de conservação do biodiesel (LUTZ, 2008).

Foi pesada uma amostra de 2 g em um frasco Erlenmeyer de 125 mL. Adicionaram-se 25 mL de solução de éter-álcool (2:1) neutra e duas gotas do indicador fenolftaleína. A titulação foi feita com solução de hidróxido de sódio 0,1 M até o aparecimento da coloração rósea, a qual persistiu por 30 segundos. A determinação do índice de acidez é baseada na Equação (3):

$$\text{Índice de acidez} = \frac{v \cdot f \cdot 5,61}{P} \quad (3)$$

no qual: v é o número de mL de solução de hidróxido de sódio 0,1 M gasto na titulação; f é o fator da solução de hidróxido de sódio e P é o número de g da amostra.

Massa específica

A densidade corresponde à relação massa/volume de uma amostra de um material e está diretamente ligada com a estrutura molecular das moléculas (LÔBO, 2009). Portanto, para a determinação da densidade, utilizou-se um balão volumétrico de 10 mL, que foi pesado e, em seguida, adicionou-se a amostra até o menisco do balão, pesando-o novamente, com isso obteve-se a massa real da amostra. Contudo, para o cálculo da densidade, utilizou-se a Equação (4):

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (4)$$

em que: m é a massa em gramas da amostra e v é o volume em mL da amostra.

Viscosidade

A viscosidade está relacionada com a etapa de queima na câmara de combustão do motor (LÔBO, 2009). Para a análise de viscosidade, o viscosímetro utilizado foi o viscosímetro de Ostwald.

Adicionou-se o líquido (biodiesel) no viscosímetro até completar o reservatório. Acionou-se o sistema de vácuo, succionando o líquido até ultrapassar a marca superior de medida. O líquido escoou no sentido descendente. Acionou-se o cronômetro quando o menisco do líquido ultrapassou a marca anular superior e o interrompeu quando se ultrapassou a marca inferior. Repetiu-se o procedimento duas outras vezes. Eliminou-se o biodiesel utilizado e adicionou-se água destilada no viscosímetro efetuando a lavagem três vezes. Repetiu-se o procedimento utilizando água destilada para ser usada como padrão.

A viscosidade foi quantificada pela seguinte Equação (5), em cP:

$$\frac{\mu_1}{\mu_2} = \frac{\rho_1 \cdot t_1}{\rho_2 \cdot t_2} \quad (5)$$

Em que: μ_1 e μ_2 são a viscosidade do biodiesel e da água, respectivamente; ρ_1 é a densidade do biodiesel; ρ_2 é a densidade da água; t_1 é o tempo de escoamento do biodiesel e t_2 é o tempo de escoamento da água.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A (Figura 13) ilustra as cores obtidas pela leitura do colorímetro para as amostras analisadas e para a superfície branca utilizada como padrão. A superfície branca foi usada como padrão para verificar, em relação às folhas frescas, o quanto a extração da clorofila foi eficaz.



Figura 13 – Análise de cor das amostras.

Os dados encontrados de luminosidade e coordenadas cromáticas das amostras estão dispostos na Tabela (1) e também representados no espectro de cores (Figura 14).

Tabela 1 – Resultados das análises de cor

Amostras	L^*	a^*	b^*
Superfície branca (Padrão)	93,59	- 1,68	0,11
Extração das folhas com acetona	72,89	- 5,15	23,85
Extração das folhas com acetato de etila	76,48	0,16	20,30
Mistura das folhas das duas extrações	77,22	- 1,71	22,27
Folhas frescas	34,58	- 17,52	22,16

Os resultados da Tabela (1) mostram a eficiência da extração da clorofila com os dois tipos de solventes, sendo que a amostra da mistura das folhas das duas extrações apresentou melhor resultado de luminosidade e as coordenadas cromáticas estão coerentes. Analisando o ΔE entre os dados das folhas frescas e a superfície branca, e entre os dados da mistura das folhas das duas extrações e a superfície branca, obtém-se uma diferença de cor de 64,96 e 27,55, respectivamente, comprovando a efetividade da extração realizada. Os valores encontrados do ΔE foram calculados de acordo com a Equação (1) e os dados da Tabela (1).

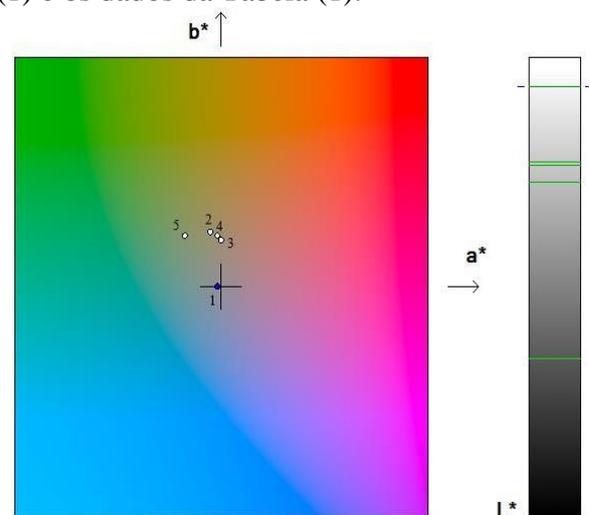


Figura 14 – Resultados das leituras no espectro de cores.

Em que: 1 – Superfície branca; 2 – Extração das folhas com acetona; 3 – Extração das folhas com acetato de etila; 4 – Mistura das folhas das duas extrações; 5 – Folhas frescas

A adequação do produto dentro das especificações preestabelecidas pela ANP, garantem a aceitação ou não do biodiesel no mercado. A essência do produto obtido pela transesterificação, ou qualquer outra rota, é fator crucial na manutenção e garantia de qualidade do biodiesel. Ainda, a caracterização torna-se parâmetro fundamental ao bom funcionamento e o tempo de vida de um motor.

O índice de peróxido foi o método utilizado para o monitoramento da degradação oxidativa do biodiesel com a adição do pó natural (foi inserido a mistura dos dois pós) obtido por meio das folhas de Moringa oleífera Lam e do TBHQ. O índice de peróxido foi analisado durante um período de 0, 1, 2, 3 e 24 horas. Os resultados obtidos são apresentados nas tabelas a seguir:

Tabela 2 – Índice de peróxido do pó natural a 250 ppm.

Tempo (h)	Índice de Peróxido (meq/1000g amostra)
0	2
1	3
2	4
3	3
24	6

Fonte: Experimental, 2019.

Tabela 3 – Índice de peróxido do pó natural a 500 ppm.

Tempo (h)	Índice de Peróxido (meq/1000g amostra)
0	2
1	4
2	4
3	4
24	2

Fonte: Experimental, 2019.

Tabela 4 – Índice de peróxido do pó natural a 1000 ppm.

Tempo (h)	Índice de Peróxido (meq/1000g amostra)
0	2
1	5
2	5
3	3
24	1

Fonte: Experimental, 2019.

Tabela 5 – Índice de peróxido do TBHQ a 250 ppm.

Tempo (h)	Índice de Peróxido (meq/1000g amostra)
0	2
1	6
2	4
3	4
24	3

Fonte: Experimental, 2019.

Tabela 6 – Índice de peróxido do TBHQ a 500 ppm.

Tempo (h)	Índice de Peróxido (meq/1000g amostra)
0	4
1	7
2	7
3	4
24	4

Fonte: Experimental, 2019.

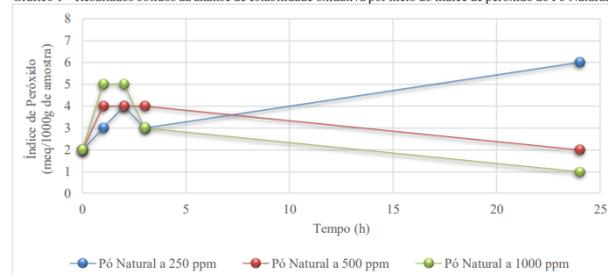
Tabela 7 – Índice de peróxido do TBHQ a 1000 ppm.

Tempo (h)	Índice de Peróxido (meq/1000g amostra)
0	7
1	6
2	6
3	4
24	4

Fonte: Experimental, 2019.

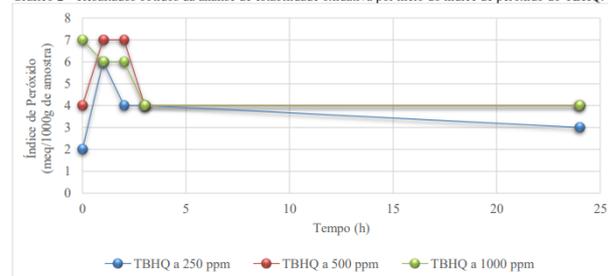
Para fim de comparação, os resultados acima foram inseridos no Gráfico (1) e Gráfico (2):

Gráfico 1 – Resultados obtidos da análise de estabilidade oxidativa por meio do índice de peróxido do Pó Natural.



Fonte: Experimental, 2019.

Gráfico 2 – Resultados obtidos da análise de estabilidade oxidativa por meio do índice de peróxido do TBHQ.



Fonte: Experimental, 2019.

A estabilidade oxidativa do biodiesel está diretamente relacionada com o grau de insaturação e a posição das duplas ligações na cadeia carbônica dos alquilésteres

presentes, de acordo com o triglicerídeo utilizado na produção do biodiesel, no caso o óleo de soja. A fim de avaliar a atividade oxidativa do biocombustível, analisa-se o número de insaturações, isto é, quanto maior esse número, mais a molécula está vulnerável à degradação oxidativa e térmica, ocasionando a formação de produtos insolúveis que acarretam problemas de formação de depósitos e entupimento do sistema de injeção de combustível do motor. Os antioxidantes naturais, como os tocoferóis presentes nas folhas de *Moringa*, proporcionam uma maior estabilidade à atividade oxidante, porém podem ser perdidos ao longo do processo de refino ou até mesmo por degradação térmica (LÔBO, 2009).

Ao averiguar os resultados obtidos a partir do método analítico da determinação do índice de peróxido, pode-se afirmar que quanto menor o índice de peróxido, maior será o poderantioxidante do biocombustível. Portanto, os valores do índice de peróxido do Pó Natural das folhas de *Moringa oleífera Lam* a 500 ppm e 1000 ppm foram os menores e mais estáveis, consequentemente, apresentou maior estabilidade à oxidação.

Em relação ao índice de acidez, os valores obtidos estão descritos na Tabela (8):

Tabela 8 – Índice de acidez das amostras de biodiesel com a adição de antioxidantes.

Amostras	Índice de Acidez (mg KOH/g)
Pó Natural a 250 ppm	0,8415
Pó Natural a 500 ppm	0,7013
Pó Natural a 1000 ppm	0,5610
TBHQ a 250 ppm	0,5610
TBHQ a 500 ppm	0,7013
TBHQ a 1000 ppm	0,5610

O índice de acidez é um parâmetro que está relacionado ao estado de oxidação do produto, de forma que, quanto maior for o índice de acidez, mais o produto está oxidado, podendo esta oxidação ser resultado de processos como hidrólise e decomposição térmica. Esse parâmetro está também relacionado com a presença de

ácidos graxos livres, de forma que, quanto maior este índice, mais intenso será o processo de corrosão de partes integrantes do motor, como bicos injetores, pistões, bronzinhas, camisas, dentre outros. Os valores encontrados estão acima do estabelecido em norma (máximo - 0,50 mg KOH/g). Esse valor indica que a quantidade de base usada na transesterificação (1% m/m) não foi suficiente para promover a conversão de triacilgliceróis em ésteres metílicos, além disso, não conseguiu neutralizar parte dos ácidos graxos livres presentes na matéria-prima.

As análises de massa específica (kg/m^3), especificadas na Tabela (9), apresentaram resultados dentro do estabelecido em norma (NBR 7148) a qual prevê valores na ordem de ($860\text{-}900 \text{ kg/m}^3$). A massa específica do biodiesel está diretamente ligada com a estrutura molecular das suas moléculas. Quanto maior o comprimento da cadeia carbônica do alquiléster, maior será a densidade, no entanto, este valor decrescerá quanto maior for o número de 33 insaturações presentes na molécula. A presença de impurezas também poderá influenciar na densidade do biodiesel como, por exemplo, o álcool ou substâncias adulterantes (LÔBO, 2009).

Tabela 9 – Massa específica das amostras de biodiesel com a adição de antioxidantes.

Amostras	Massa Específica (kg/m^3)
Pó Natural a 250 ppm	887,4
Pó Natural a 500 ppm	888,0
Pó Natural a 1000 ppm	888,8
TBHQ a 250 ppm	889,0
TBHQ a 500 ppm	890,0
TBHQ a 1000 ppm	891,5

A viscosidade pode ser definida como a resistência que o fluido oferece à deformação por cisalhamento (escoamento). De outro modo, pode-se dizer que a viscosidade corresponde ao atrito interno dos fluidos devido basicamente a interações intermoleculares, sendo associado à temperatura, de forma que ao alterá-la, a viscosidade também mudará. A medida de viscosidade é um importante parâmetro a ser

analisado na produção de biodiesel, haja visto que um biodiesel com alta viscosidade promoverá uma baixa fluidez do combustível durante a injeção na câmara de combustão do motor diesel, prejudicando o sistema de injeção e promovendo o desgaste de seus componentes, como por exemplo da bomba injetora por realizar um trabalho excessivo e pesado no momento de injeção do combustível (KNOTHE, 2005). A alta viscosidade pode significar também uma baixa conversão de ácidos graxos ou triglicerídeos em ésteres metílicos ou etílicos e ainda uma queima inadequada do combustível, aumentando a quantidade de gases poluentes na atmosfera, tais como monóxido de carbono ou mesmo carbono (fuligem), e até o entupimento dos bicos injetores. A baixa viscosidade também é um problema, pois pode causar vazamentos, desgastes às partes constituintes dos motores, como por exemplo, pistões, conexões e bombas combustíveis.

No presente trabalho, os valores da viscosidade das amostras de biodiesel estão de acordo com a Tabela (10):

Tabela 10 – Viscosidade das amostras de biodiesel com a adição de antioxidantes.

<i>Amostras</i>	<i>Viscosidade (cP)</i>
Pó Natural a 250 ppm	3,2860
Pó Natural a 500 ppm	2,9896
Pó Natural a 1000 ppm	2,8509
TBHQ a 250 ppm	3,6636
TBHQ a 500 ppm	3,5726
TBHQ a 1000 ppm	4,1173

Os resultados encontrados da viscosidade estiveram dentro dos limites estabelecidos (1,9-6,0 cP) de acordo com a norma ASTM D6751. A viscosidade do biodiesel aumenta com o comprimento da cadeia carbônica e com o grau de saturação e tem influência no processo de queima na câmara de combustão do motor (LÔBO, 2009; KNOTHE, 2005).

Portanto, os dados experimentais demonstraram a viabilidade de produção do biodiesel por rota metílica à base de óleo de soja com a adição do antioxidante natural a concentração de 1000 ppm.

De acordo com a leitura do colorímetro, a etapa de extração da clorofila contribuiu para melhorar a aparência do pó natural, minimizando a coloração verde obtida sem a extração da clorofila. Os reagentes utilizados para a remoção da clorofila, passaram por avaliações e testes analíticos e concluiu-se que, a Acetona e o Acetato de Etila foram os mais eficientes. Não se descarta a possibilidade desses reagentes extrair outros compostos essenciais da planta.

Para o controle de qualidade do biodiesel e para garantir o funcionamento e a vida útil do motor, as análises realizadas apontam que o biodiesel produzido rota metílica à base de óleo de soja com a adição do antioxidante natural a 1000 ppm pode diminuir a degradação química do biocombustível.

Os valores de índice de peróxido do pó natural a 1000 ppm durante o período de análise foram os menores e mais constantes, apresentando maior estabilidade à oxidação. Já o resultado do índice de acidez, apesar de ter sido o menor (0,5610 mg KOH/g), ainda está acima dos limites estabelecidos em norma (máximo - 0,50 mg KOH/g) e a parte química de eliminação dos ácidos graxos deve ser aperfeiçoada. Em relação à massa específica, verificou que todos os resultados se encontraram dentro dos limites especificados em norma (860-900 kg/m³). Os valores da viscosidade também estiveram dentro dos limites estabelecidos em norma (1,9 a 6,0 cP), sendo que o pó natural a 1000 ppm apresentou o menor valor (2,8509 cP), o que favorece o funcionamento e a manutenção do motor. Logo, a partir de todos os resultados obtidos e discussões, pôde-se afirmar que o pó natural a 1000 ppm foi melhor antioxidante que o TBHQ.

Contudo, o pó natural a 1000 ppm, além de diminuir a degradação química do biocombustível, aumentando seu tempo de vida e garantindo a boa funcionalidade do motor, também contribui com os fatores econômicos e ambientais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Acredita-se que o resultado desta pesquisa possa contribuir para a qualidade do biodiesel.

NOMENCLATURA

ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.
 KI – Iodeto de potássio.
 KOH – Hidróxido de potássio.
 P.A. – Para análise.
 PPM – Parte por milhão.
 TBHQ – Terc-butil-hidroquinona.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍVEIS (ANP). **Percentual obrigatório de biodiesel passa para 10%**. 2018. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/noticias/4333-percentual-obrigatorio-de-biodiesel-passa-para-10>>. Acesso em: 22 abr. 2019.

EOPTIS, **User Guide CLM-194 Digital Handheld Colorimeter**. Italy. Rev. 1.06, 12/2014, 31p.

FERNANDES, David Maikel. **Obtenção e Caracterização Físico-Química dos Biodieséis Metílico e Etilico de Algodão (*Gossypium hirsutum*)**. 2011. 100 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

FRANÇA et al. **Potencial da Moringa oleífera Lam (Moringaceae) como fonte de antioxidante natural para biocombustível**. 2014. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/300657376_Potencial_da_Moringa_oleifera_Lam_Moringaceae_como_fonte_de_antioxidante_natural_para_biocombustivel>. Acesso em: 13 mar. 2019.

Instituto Adolfo Lutz (São Paulo). **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. Coordenadores Odair Zenebon, Neus Sadocco Pascuet e Paulo Tiglea. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1020 p.

LÔBO, Ivon Pinheiro; FERREIRA, Sérgio Luis Costa; CRUZ, Rosenira Serpa. Biodiesel: parâmetros de qualidade e métodos analíticos. **Química Nova**, v. 32, n. 6, p. 1596-1608, 2009.

KNOTHE, G. Dependence of biodiesel fuel properties on the structure of fatty acid alkyl esters. **Fuel processing technology**, v. 86, n. 10, p. 1059-1070, 2005.

MUÑOZ, Rodrigo. Biodiesel de moringa. **Revista Pesquisa FAPESP**, São Paulo, n. 231, p.16, 2015.

RATHMANN, Régis; BENEDETTI, Omar; PLÁ, Juan Algorta; PADULA, Antonio Domingos. **Biodiesel: uma alternativa estratégica na matriz energética brasileira?** 2014. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Regis_Rathmann/publication/228352496_Biodiesel_uma_alternativa_estrategica_na_matriz_energetica_brasileira/links/00b495387ea4fc6b25000000.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2019.

RIZZI, Fabio Ricardo. **Otimização do processo de extração de compostos bioativos a partir das folhas de Moringa oleífera**. 2016. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6986/1/PB_DAQUI_2016_2_5.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2019.