

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL LARVICIDA DO ÓLEO DE *MORINGA OLEIFERA* LAM. E SEUS DERIVADOS NO COMBATE AO *AEDES AEGYPTI*

Rayane Andrade Santana Freitas¹

Wagner Carlos de Alcantara Carvalho²

Jefferson Cleriston Barros dos Santos³

Adriana de Jesus Santos⁴

Cleide Mara Faria Soares⁵

Biomedicina



ISSN IMPRESSO 1980-1769

ISSN ELETRÔNICO 2316-3151

RESUMO

A atividade larvicida do extrato aquoso de sementes de *Moringa oleifera* Lam. contra *Aedes aegypti* já foi avaliada. Contudo, ainda não foram avaliados os efeitos biológicos do óleo de *Moringa oleifera* Lam. obtido por extração por *Soxhlet* e dos ácidos graxos (AGLs) sobre ovos e larvas de *Aedes aegypti*. Os ácidos graxos (AGLs) foram obtidos por reação de hidrólise enzimática, usando dois tipos de biocatalisadores: lipase de *Candida rugosa* (LCR) e a Eversa[®] Transform 2.0. A conversão de AGLs na reação de hidrólise do óleo foi de 80% com a LCR e 40% com a Eversa[®] Transform 2.0. Neste trabalho, os efeitos biológicos do óleo e dos AGLs sobre ovos e larvas foram avaliados, mas não demonstraram efeitos larvicidas sobre *Aedes aegypti*. Portanto, o extrato aquoso tem propriedades larvicidas que pode conter compostos bioativos polares, como proteínas, alcalóides, saponinas ou flavonóides. Já estes compostos podem não ser extraídos ou podem estar presentes em concentrações muito baixas no óleo extraído por *Soxhlet* e AGLs. Logo, o ácido oleico e o ácido linoleico presentes no óleo de *Moringa oleifera* Lam. e na mistura de AGLs são importantes para a saúde cardiovascular e a função celular.

PALAVRAS-CHAVE

Aedes Aegypti. Ácidos Graxos. Lipases. *Moringa Oleifera* Lam.

ABSTRACT

The larvicidal activity of the aqueous extract of *Moringa oleifera* seeds against *Aedes aegypti* has been evaluated. However, the biological effects of *Moringa oleifera* Lam. oil obtained by Soxhlet extraction and the fatty acids (AGLs) on *Aedes aegypti* eggs and larvae have not yet been assessed. The fatty acids (AGLs) were obtained through enzymatic hydrolysis using two types of biocatalysts: *Candida rugosa* lipase (LCR) and Eversa® Transform 2.0. The conversion of AGLs in the hydrolysis reaction of the oil was 80% with LCR and 40% with Eversa® Transform 2.0. This study evaluated the biological effects of the oil and AGLs on eggs and larvae, but no larvicidal effects on *Aedes aegypti* were demonstrated. Therefore, the aqueous extract, which has larvicidal properties, may contain polar bioactive compounds such as proteins, alkaloids, saponins, or flavonoids. These compounds may not be extracted or may be present in very low concentrations in the oil extracted by Soxhlet and AGLs. Hence, oleic and linoleic acids present in *Moringa oleifera* Lam. and the AGL mixture are important for cardiovascular health and cellular function.

KEYWORDS

Aedes Aegypti; Fatty Acids, Lipases, *Moringa oleifera* Lam.

1 INTRODUÇÃO

As problemáticas ambientais atuais e a crescente resistência dos vetores aos inseticidas convencionais impulsionam a busca por alternativas ecologicamente corretas no controle de pragas, como o *Aedes aegypti*, vetor de doenças graves como dengue, zika e chikungunya (De Jesus Santos *et al.*, 2022). Nesse contexto, surgem iniciativas que visam explorar matérias-primas vegetais renováveis para obter bioprodutos biodegradáveis com potencial de atividade biológica, incluindo atividade larvicida, com aplicações variadas em saúde pública (BanceSSI *et al.*, 2020).

Entre as matérias-primas, destaca-se a *Moringa oleifera* Lam., uma planta com alto valor nutritivo e rica em compostos bioativos. Essas substâncias, presentes em diferentes partes da planta, como folhas, casca, caule e sementes, possuem propriedades biológicas, incluindo potencial antimicrobiano, larvicida, entre outros (Ferreira *et al.*, 2009; Kumar *et al.*, 2022).

A extração do óleo das sementes da *Moringa oleifera* Lam., é um aspecto central, pois seus componentes majoritários, como o ácido oleico, que está presente em sua composição em torno de 70% dos ácidos graxos totais, têm demonstrado propriedades biológicas por suas propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias (Ferreira *et al.*, 2009; Abdulmalek; Yan, 2022). Embora Ferreira *et al.* (2009) não se concentra na atividade do ácido oleico como um dos compostos bioativos da planta e seus potenciais

propriedades benéficas como a atividade larvicida do extrato aquoso de sementes de *Moringa oleifera* Lam. frente ao *Aedes aegypti*.

Apesar de uma grande gama de compostos metabólicos com ação biológica para a produção de novos bioprodutos, outro aspecto relevante que se deve observar é a escolha da técnica de extração do óleo vegetal, o que pode partir de técnicas convencionais, como a extração por Soxhlet, e não convencionais, como a extração em meio aquoso (Jha; Sit, 2022). Cada técnica tem um princípio diferente, e essa diferença entre as técnicas pode alterar a composição final do óleo extraído, principalmente quando se visa aplicações biológicas, onde na maioria dos casos, os compostos bioativos responsáveis por atividades biológicas são termosensíveis (De Sousa *et al.*, 2024).

Por exemplo, a extração em meio aquoso pode preservar compostos hidrossolúveis e bioativos que podem ser sensíveis ao calor, enquanto a extração por Soxhlet, sendo uma técnica baseada em solventes orgânicos, pode extrair compostos lipofílicos, mas também pode afetar a estabilidade de alguns bioativos. Essa característica pode tornar uma técnica de extração não vantajosa para seu uso em determinadas aplicações, onde o óleo pode perder parte ação biológica, reduzindo as propriedades antimicrobianas de *Moringa*. Trabalhos na literatura já abordaram a mudança de compostos quando se utilizam diferentes técnicas de extração (Kessler *et al.*, 2024).

Embora a literatura indique que óleos vegetais podem atuar como inseticidas sustentáveis, minimizando impactos ambientais e mostrando eficácia contra *Aedes aegypti*, a aplicação específica do óleo de *Moringa oleifera* Lam. ainda é limitada. Este trabalho visa preencher essa lacuna ao explorar o potencial larvicida do óleo e seus derivados, como produtos advindo de reações enzimáticas, especialmente considerando suas possíveis vantagens como biodegradabilidade e baixa toxicidade para organismos não-alvo, como *Artemia salina* (Hu *et al.*, 2019).

Neste sentido, a biotransformação do óleo de *Moringa oleifera* Lam. por meio de reações enzimáticas, como a reação de hidrólise, representa uma alternativa para a geração de bioprodutos com potencial larvicida. Diante disso, este estudo tem como objetivo principal avaliados os efeitos biológicos do óleo de *Moringa oleifera* Lam. obtido por extração por *Soxhlet* e dos ácidos graxos (AGL) sobre ovos e larvas de *Aedes aegypti*.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 EXTRAÇÃO DO ÓLEO POR SOXHLET

As sementes maduras de *Moringa oleifera* Lam., foram cedidas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). No laboratório as sementes foram selecionadas, descascadas, limpas de impurezas (galhos, cascas e folhas), secas na estufa a 100°C por 5 horas e por fim maceradas. Na sequência foi conduzida a extração em aparelho *Soxhlet* por até 8 horas, utilizando 200 mL de n-hexano, como descrito por Bhutada (2016). O rendimento de extração (%) do óleo foi definido como a massa de óleo extraída (g) em função da massa de semente de moringa usada na extração (g) vezes cem, conforme a Equação 1.

$$\text{Rendimento de extração (\%)} = \frac{\text{Massa de óleo (g)}}{\text{Massa de sementes de moringa (g)}} \times 100 \quad (1)$$

2.2 REAÇÃO DE HIDRÓLISE

A reação de hidrólise enzimática do óleo de semente de *Moringa oleifera* Lam. foi realizada empregando a lipase Eversa® Transform 2.0 (ET 2.0) e a lipase de *Candida rugosa* (LCR) em suas formas livres. O processo foi realizado em reator tipo tanque agitado, a 37°C, 1000 rpm, com 25% do meio reacional composto por óleo de *Moringa oleifera* Lam. e 75% de água ultrapura, por um tempo reacional total de 120 min, contendo 550 U/g_{óleo} de biocatalisador, de acordo com o descrito por Barbosa *et al.* (2019).

As amostras do meio reacional foram coletadas ao longo do tempo em recipientes adequados e posteriormente foram preparadas para caracterização do produto. Os ácidos graxos obtidos foram titulados com solução de NaOH 40 mmol/L, com fenolftaleína como indicador de pH. O grau de hidrólise foi definido pela Equação 2:

$$\text{Hidrólise (\%)} = \frac{V_{\text{NaOH}} \times 1000 \times M_{\text{NaOH}} \times MM_{\text{AG}}}{m \times f} \times 100 \quad (2)$$

Onde: V_{NaOH} é o volume da solução de hidróxido de sódio requerida durante a titulação. M_{NaOH} é a concentração de NaOH (40 mmol/L), MM_{AG} é a massa molecular média dos ácidos graxos de *Moringa oleifera* Lam., m é a massa da amostra (g) e f é a fração do óleo no começo da reação (%m/m).

A produtividade para determinação da quantidade de ácidos graxos produzidos pela quantidade de enzima utilizada, foi calculada seguindo a metodologia de Silva (2022) por meio da Equação 3.

$$\text{Produtividade (\mu mol/hg)} = \frac{m_o \times H \times 10^4}{MM_{\text{AG}} \times t \times m_e} \quad (3)$$

Onde: m_o é a massa de óleo utilizada (g); H é o grau de hidrólise (%); t é o tempo reacional (h); m_e é a massa de enzima utilizada (g) e MM_{AG} é a massa molecular média dos ácidos graxos do óleo de *Moringa*.

2.3 PURIFICAÇÃO DOS ÁCIDOS GRAXOS LIVRES

A purificação do ácido graxo livres (AGL) foi concluída com a transferência do produto para um funil de decantação e a fase superior lavada por cinco vezes com uma carga de água destilada fervente (razão de volume 1:2). Em seguida, a fase orgânica (ácido graxo) foi separada da fase aquosa (água glicérol e biocatalisador). Finalmente, a fase orgânica foi transferida para uma coluna recheada com lã de vidro

e sulfato de sódio anidro para remoção das moléculas de água restantes (Barbosa *et al.*, 2021).

2.4. ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO POR TRANSFORMADA DE FOURIER

As amostras de óleo de Moringa e ácidos graxos foram analisadas por Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR), conduzidas a 25 °C em espectrômetro modelo FTIR Cary 630 (Agilent Technologies, Alemanha) equipado com um acessório ATR, utilizando o método de transmissão na faixa de comprimento de onda entre 4000 e 650 cm^{-1} , com 32 varreduras e resolução de 4 cm^{-1} (SOUZA *et al.*, 2024).

2.5. AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE LARVICIDA FRENTE AS LARVAS AEDES AEGYPTI

Os ovos de *Aedes aegypti* da cepa Rockefeller, foram obtidos do insetário do Laboratório de Entomologia e Parasitologia Tropical (LePat) da Universidade Federal de Sergipe. Para os ensaios, as tiras de papel contendo os ovos foram submersas em um recipiente retangular com água e aproximadamente 200 mg de ração de peixes. O recipiente foi mantido no Laboratório de Engenharia de Bioprocessos do Instituto de Tecnologia e Pesquisa/UNIT, sob temperatura controlada (26-28 °C) para permitir a eclosão e o desenvolvimento das larvas por quatro dias, até atingirem o estágio L3/L4.

A atividade larvicida foi avaliada utilizando soluções aquosas de óleo e ácidos graxos. Inicialmente, 100 mg de óleo e ácidos graxos foram dispersos separadamente em 0,25 mL Tween 80 em um becker de 10 mL, aos quais foram adicionados 4,75 mL de água destilada para obter soluções padrão de 20.000 ppm. Essas soluções foram então diluídas para preparar 100 mL de soluções aquosas com concentrações variando de 5 a 70 ppm. Para cada ensaio, 20 larvas de *Aedes aegypti* (cepa Rockefeller L3/L4) foram expostas a essas soluções em copos descartáveis contendo 100 mL de água mineral. Como controle, utilizou-se uma solução aquosa de 0,1 mL Tween 80 em 19,9 mL de água. Após 24 horas de exposição foi contabilizado o número de larvas mortas. Os ensaios foram realizados em triplicata, sob temperatura ambiente (De Jesus Santos *et al.*, 2022; SANTOS *et al.*, 2020).

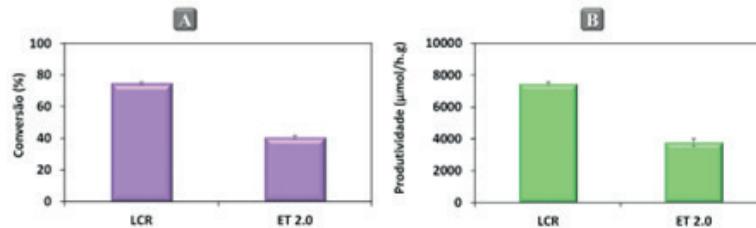
3 RESULTADOS

3.1 OBTENÇÃO DE AGLS POR REAÇÃO DE HIDRÓLISE ENZIMÁTICA DO ÓLEO DE *MORINGA OLEIFERA* LAM

O processo de extração do óleo das sementes de *Moringa oleifera* Lam. por Soxhlet foi realizado utilizando hexano como solvente. Após a extração, verificou-se

que a fração de óleo representa cerca de $44 \pm 0,2\%$ em base seca do peso total das sementes de *Moringa oleifera* Lam. O rendimento de extração está de acordo com os estudos realizados por Barbosa *et al.* (2021). Os AGLs obtidos da reação hidrólise enzimática do óleo de Moringa foi realizado de acordo com o descrito no estudo de Barbosa *et al.* (2019 e 2021), com modificações. A reação foi conduzida por um tempo reacional total de 120 minutos, utilizando as lipases de *Candida rugosa* e Eversa® Transform 2.0. A conversão de AGLs na reação de hidrólise do óleo foi de 80% com a LCR e 40% com a Eversa® Transform 2.0, conforme descrito na Figura 1.

Figura 1 – (A) Conversão e (B) produtividade das lipases para 120 minutos de reação



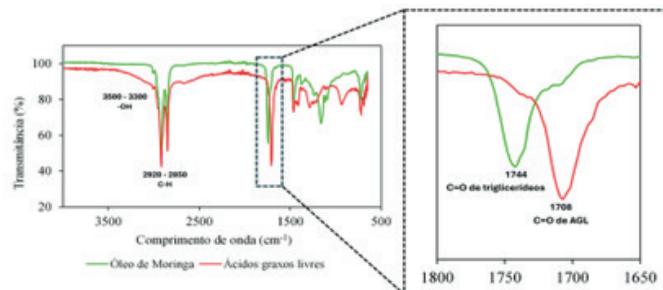
Fonte: Próprios autores, 2024.

O ácido oleico e linoleico dos AGL possuem benefícios para a saúde, incluindo as propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias presentes na planta (Kumar *et al.*, 2022). Contudo neste estudo será avaliado o potencial de atividade larvicida do óleo extração por Soxhlet e dos AGLs frente ao *Aedes aegypti*.

3.2 ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO POR TRANSFORMADA DE FOURIER

A Figura 2 apresenta o espectro das análises de Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR), utilizado para analisar os principais grupos funcionais presentes no óleo extraído das sementes de *Moringa oleifera* Lam e da biotransformação do óleo de Moringa em AGL.

Figura 2 – Comparativo da modificação dos espectros de FTIR dos AGLs (vermelho) produzidos na hidrólise em relação ao óleo de Moringa (verde)



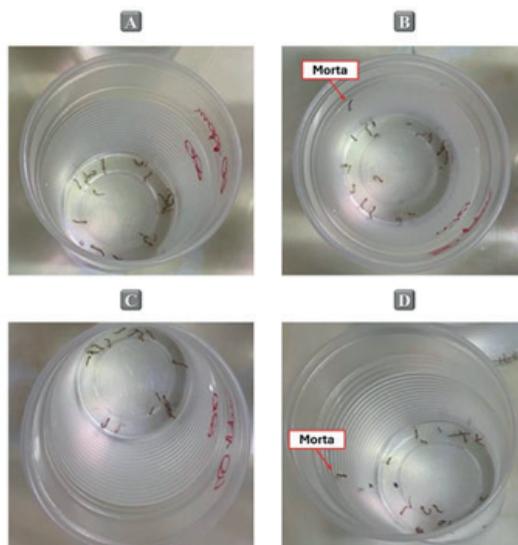
Fonte: Próprios autores, 2024.

3.3 ATIVIDADE LARVICIDA EM AEDES AEGYPTI

A atividade larvicida do óleo e dos ácidos graxos livres (AGL) sobre as larvas de *Aedes aegypti* foi avaliada, mas os resultados indicam que não houve efeitos larvicidas significativos, como demonstrado nas regiões destacadas em vermelho. Na Figura 3 pode-se observar a baixa mortalidade e larvas ao se utilizar o os ácidos graxos livres. Na imagem (A) representa a amostra com óleo de Moringa no início do processo, as larvas estão vivas.

Na imagem (B) após 24 horas de exposição ao óleo de Moringa, há pouca mortalidade observada, com apenas uma larva destacada, amostra com ácidos graxos no início do processo na imagem (C) permanecem vivas e pôr fim a imagem (D) após 24 horas de exposição aos ácidos graxos livres, observa-se novamente uma baixa mortalidade, com uma única larva identificada. Esses resultados sugerem que, nas condições experimentais utilizadas, o óleo de Moringa e os ácidos graxos livres não apresentaram uma atividade larvicida eficaz contra as larvas do *Aedes aegypti*.

Figura 3 – Fotos dos ensaios de atividade larvicida. (A) Amostra com óleo de Moringa no início do processo, (B) amostra com óleo de Moringa após as 24 horas, (C) amostra com ácidos graxos no início do processo, (D) amostra com ácidos graxos após as 24 horas



Fonte: Próprios autores, 2024.

4 DISCUSSÃO

4.1 HIDRÓLISE ENZIMÁTICA DO ÓLEO DE *MORINGA OLEIFERA* LAM.

Por intermédio da análise da Figura 1, observa-se que a E.T. 2.0 alcançou a conversão de hidrólise de 40% em 120 minutos de reação, enquanto a LCR atingiu uma conversão

média de 80% no mesmo período de tempo. Resultados os quais corroboram com estudos já descritos na literatura, onde a E.T. 2.0 é caracterizada como específica nas regiões 1,3 e com menor afinidade em meios aquosos, o que justifica a baixa conversão identificada, visto que menos de 50% dos triglicerídeos foram convertidos em AGL (Almeida *et al.*, 2018).

Ademais, um outro fator de impacto é a sensibilidade destas lipases livres à temperatura, pH, efeitos dos íons e os reagentes químicos, os quais acabam não favorecendo a conversão total do óleo em AGL (Mendes; Soares; Tardioli, 2023). Os resultados obtidos indicam que a lipase de *Candida rugosa* apresentou uma maior afinidade pelo meio reacional, conseqüentemente tendo uma produtividade e conversão quase que o dobro da ET 2.0, mostrando-se como a lipase mais eficiente para essa reação de hidrólise do óleo de *Moringa oleifera* Lam. A literatura já aborda tal comportamento da LCR na hidrólise do óleo de *Moringa*, confirmando que o comportamento identificado no estudo está dentro do esperado (Barbosa *et al.*, 2019; 2021).

4.2 ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO POR TRANSFORMADA DE FOURIER

De acordo com o espectro de IV (infravermelho), foram observados os principais perfis espectroscópicos do óleo de *Moringa oleifera* Lam. e do produto da hidrólise purificado, ambos representados na Figura 2. A técnica de FTIR consegue apresentar o perfil espectroscópico do material submetido a análise, permitindo obter informações de quais tipos de interação estão presentes na amostra segundo um certo comprimento de onda, que é expresso por uma excitação nessa região (Santos *et al.*, 2021).

Uma área de interesse para justificar as mudanças entre as etapas de extração e a reação de hidrólise é a região entre o comprimento de onda $3500-3300\text{ cm}^{-1}$, banda essa que está relacionada com a presença de grupos hidroxilas (O-H), e pode se notar uma diminuição na transmitância (aumento da banda), quando comparado os espectros do óleo e do ácido graxo, devido a possível presença de água no produto da hidrólise (Petit; Puskar, 2018). A banda da região de 3000 até 2800 cm^{-1} é representada pelo estiramento simétrico e assimétrico da ligação C-H, indicando a presença de grupos metil (CH₃), metileno (CH₂), e metino (CH), o que nos produtos obtidos apresenta a presença dessa interação (Santos *et al.*, 2021).

Ademais, a região entre ≈ 1750 até 1690 cm^{-1} representa ligações carbonila (C=O) que estão presentes no óleo e no produto de hidrólise, entretanto, a banda de estiramento para cada um tem uma intensidade diferente (óleo = 1744 cm^{-1} , AGL = 1708 cm^{-1}), em função da biotransformação entre a etapa de extração e reação hidrólise, com a respectiva etapa de purificação do ácido graxo (DE CARVALHO *et al.*, 2020).

4.3 ATIVIDADE LARVICIDA EM AEDES AEGYPTI

Após a obtenção do óleo da *Moringa oleifera* Lam e do AGL, foi realizada a avaliação do potencial larvicida de desses produtos. Inicialmente, foram realizados

ensaios em triplicata com concentrações variando entre 5 ppm e 70 ppm para cada produto testado, visando determinar a concentração letal média (CL 50) que resultaria em 50% de mortalidade das larvas em um período de 24h. No entanto, os produtos analisados não apresentaram atividade larvicida em nenhuma das concentrações testadas, não demonstraram atividade larvicida em nenhuma das concentrações analisadas, conforme mostrado na Figura 3.

Estes resultados indicam que o método de extração utilizado especificamente a extração por refluxo, pode ter influenciado negativamente a presença ou integridade dos metabólitos secundários, incluindo compostos fenólicos conjugados e livres. Dessa maneira, alterando o óleo em vários aspectos, incluindo a composição de AGL, a estabilidade oxidativa e a bioatividade, comprometendo tanto o valor nutricional quanto a eficácia em atividades biológicas específicas, como a larvicida (De Sousa *et al.*, 2024).

Além disso, a escolha dos solventes utilizados na extração, como o hexano pode ter contribuído para esses resultados. Embora o hexano seja eficaz em aumentar o rendimento de extração em comparação com outras técnicas. Todavia, são tóxicos, termolábeis e capaz de modificar a extração de alguns compostos fitoquímicos, como alcaloides e ácidos fenólicos que estão diretamente relacionados às propriedades biológicas e farmacológicas presentes no óleo (De Sousa *et al.*, 2024).

Outro ponto a ser considerado é o uso de altas temperaturas e tempos prolongados durante a extração, que podem alterar a estrutura química do óleo e limitar a extração de compostos bioativos, como os antioxidantes (KESSLER *et al.*, 2024). Além disso, esses processos podem levar a decomposição térmica dos ácidos fenólicos, flavonoides e ácidos graxos insaturados, reduzindo ainda mais o potencial biológico do óleo extraído. Situações as quais diferem de métodos de extração, assim como a extração a frio e agitação mecânica, que utilizaram temperaturas mais baixas, preservando os compostos termolábeis relacionados à bioatividade, como os tocoferóis e os carotenoides (Duarte *et al.*, 2018).

5 CONCLUSÃO

Ao fim do estudo comprovou-se a maior eficiência da LCR em meio aquoso, em comparação com a ET 2.0, dados estes que corroboram com os já descritos pela literatura. Os espectros de FTIR permitiram a confirmação da biotransformação do óleo por meio das mudanças da banda de 1744 cm^{-1} característica de duplas ligações carbono-oxigênio presentes em triglicerídeos de óleos vegetais, para a banda de 1708 cm^{-1} que reporta C=O, características de ácidos graxos. Tanto do óleo de Moringa, quanto dos ácidos graxos produzidos e avaliados no estudo, não apresentaram atividade larvicida em *Aedes aegypt*, sendo que vale ressaltar que provavelmente o método de extração do óleo utilizado (Soxhlet) pode ter degradado compostos com tal potencial, indicando que a extração aquosa até o presente momento é a mais indicada para estudos de atividade larvicida.

AGRADECIMENTOS

O estudo foi financiado em parte pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior [CAPES] - Código Financeiro 001; Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico [CNPq] e pela Fundação de Apoio à Pesquisa e à Inovação Tecnológica do Estado de Sergipe [FAPITEC/SE].

REFERÊNCIAS

ABDULMALEK, S. A.; YAN, Y. Recent developments of lipase immobilization technology and application of immobilized lipase mixtures for biodiesel production. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 16, n. 4, p. 1062-1094, 5 jul. 2022.

ALMEIDA, A. F. DE; TERRASAN, C. R. F.; TERRONE, C. C.; TAUK-TORNISIELO, S. M.; CARMONA, E. C. Biochemical properties of free and immobilized *Candida viswanathii* lipase on octyl-agarose support: Hydrolysis of triacylglycerol and soy lecithin. **Process Biochemistry**, v. 65, p. 71-80, fev. 2018.

BANCESSI, A.; PINTO, M. M. F.; DUARTE, E.; CATARINO, L.; NAZARÉ, T. The antimicrobial properties of *Moringa oleifera* Lam. for water treatment: a systematic review. **SN Applied Sciences**, v. 2, n. 3, p. 323, 3 mar. 2020.

BARBOSA, M. S.; FREIRE, C. C. C.; ALMEIDA, L. C.; FREITAS, L. S.; SOUZA, R. L.; PEREIRA, E. B.; MENDES, A. A.; PEREIRA, M. M.; LIMA, Á. S.; SOARES, C. M. F. Optimization of the enzymatic hydrolysis of *Moringa oleifera* Lam oil using molecular docking analysis for fatty acid specificity. **Biotechnology and Applied Biochemistry**, v. 66, n. 5, p. 823-832, 26 set. 2019.

BARBOSA, M. S.; FREIRE, C. C. C.; BRANDÃO, L. M. S.; PEREIRA, E. B.; MENDES, A. A.; PEREIRA, M. M.; LIMA, Á. S.; SOARES, C. M. F. Biolubricant production under zero-waste *Moringa oleifera* Lam biorefinery approach for boosting circular economy. **Industrial Crops and Products**, v. 167, p. 113542, set. 2021.

BHUTADA, P. R.; JADHAV, A. J.; PINJARI, D. V.; NEMADE, P. R.; JAIN, R. D. Solvent assisted extraction of oil from *Moringa oleifera* Lam. seeds. **Industrial Crops and Products**, v. 82, p. 74-80, abr. 2016.

DA SILVA, A. R. C.; SOARES, L. R. C.; LIMA, Á. S.; SOARES, C. M. F.; SOUZA, R. L. Strategies to Reuse of Biocatalysts in the Hydrolysis and Esterification Reactions of *Licuri* (*Syagrus coronata* (Mart.) Becc.) Oil. **ChemCatChem**, v. 14, n. 17, 7 set. 2022.

DE CARVALHO, G. C.; DE MOURA, M. F. V.; DE CASTRO, H. G. C.; DA SILVA JÚNIOR, J. DA SILVA H.; H. E. B.; DOS SANTOS, K. M.; ROCHA, Z. M. S. Influence of the

atmosphere on the decomposition of vegetable oils: study of the profiles of FTIR spectra and evolution of gaseous products. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 140, n. 5, p. 2247-2258, 4 jun. 2020.

DE JESUS, A. S.; MACÊDO, N. A. H.; CAVALCANTI, S. C.; SARMENTO, V. H. V.; MOREIRA LIRA, A. A.; DOS SANTOS, C. P.; LA CORTE SANTOS, R.; SOUZA NUNES, R. Larvicidal formulation containing N-tosylindole: A viable alternative to chemical control of *Aedes aegypti*. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 213, p. 112380, maio 2022.

DUARTE, A. M.; SANTOS, A. J.; FREITAS, R. A. S.; SOARES, C. M. F.; MENDES, A. A. A comparative study of the thermal and oxidative stability of moringa oil with olive and canola oils. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 134, n. 3, p. 1943-1952, 22 dez. 2018.

FERREIRA, P. M. P.; CARVALHO, A. F.U.; FARIAS D. F.; CARIOLANO N. G.; MELO, V. M. M.; QUEIROZ M. G. R.; MARTINS, A. M. C.; MACHADO-NETO J. G. Larvicidal activity of the water extract of Moringa oleifera seeds against *Aedes aegypti* and its toxicity upon laboratory animals **Biomedical and Medical Sciences**, v. 81, n. 2, p. 207-216, 2009.

HU, J.; HE, L.; WANG, Q.; GAO, W.; SHI, X.; ZHANG, L.; ZHANG, X. Chemical composition and biological activity against *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) of *Artemisia brachyloba* essential oil. **Industrial Crops and Products**, v. 128, p. 29-37, fev. 2019.

JHA, A. K.; SIT, N. Extraction of bioactive compounds from plant materials using combination of various novel methods: A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 119, p. 579-591, jan. 2022.

KESSLER, J. C.; SILVA, R. C.; SANTOS, A. J.; FREITAS, R. A. S.; SOARES, C. M. F.; MENDES, A. A. Advancements in conventional and supercritical CO₂ extraction of Moringa oleifera bioactives for cosmetic applications: A review. **The Journal of Supercritical Fluids**, p. 106388, ago. 2024.

KUMAR, M.; MANDAL, A.; SAHA, P.; THAKUR, S.; MANDAL, V. Moringa oleifera Lam. seed proteins: Extraction, preparation of protein hydrolysates, bioactivities, functional food properties, and industrial application. **Food Hydrocolloids**, v. 131, p. 107791, out. 2022.

MENDES, A. A.; SOARES, C. M. F.; TARDIOLI, P. W. Recent advances and future prospects for biolubricant base stocks production using lipases as environmentally friendly catalysts: a mini-review. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 39, n. 1, p. 25, 24 jan. 2023.

MONTEIRO, R. R. C.; CASTRO, H. F.; SOARES, C. M. F.; MENDES, A. A. Liquid lipase preparations designed for industrial production of biodiesel. Is it really an optimal solution? **Renewable Energy**, v. 164, p. 1566-1587, fev. 2021.

PETIT, T.; PUSKAR, L. FTIR spectroscopy of nanodiamonds: Methods and interpretation. **Diamond and Related Materials**, v. 89, p. 52-66, out. 2018.

SABI, G. J.; GAMA, R. S.; FERNÁNDEZ-LAFUENTE, R.; CANCINO-BERNARDI, J.; MENDES, A. A. Decyl esters production from soybean-based oils catalyzed by lipase immobilized on differently functionalized rice husk silica and their characterization as potential biolubricants. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 157, p. 110019, 2022.

SANTOS, L. F. S.; GONÇALVES, M. I. L.; DA SILVA, N. C.; DE OLIVEIRA, G. P.; SOUZA, R. L.; GONÇALVES, L. R. B. Decyl oleate production by enzymatic esterification using *Geotrichum candidum* lipase immobilized on a support prepared from rice husk. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 36, p. 102142, set. 2021.

SANTOS, A. J.; PINA, L. T. S.; GALVÃO, J. G.; TRINDADE, G. G. G.; NUNES, R. K. V.; SANTOS, J. S.; SANTOS, C. P.; GONSALVES, J. M. C.; LIRA, A. A. M.; CAVALCANTI, S. C. H.; SANTOS, R. L. C.; SARMENTO, V. H. V.; NUNES, R. S. Clay/PVP nanocomposites enriched with *Syzygium aromaticum* essential oil as a safe formulation against *Aedes aegypti* larvae. **Applied Clay Science**, v. 185, p. 105394, fev. 2020.

Data do recebimento: 7 de Outubro de 2024

Data da avaliação: 22 de Outubro 2024

Data de aceite: 22 de Outubro de 2024

1 Acadêmica do curso de Biomedicina, Universidade Tiradentes – UNIT/SE.

E-mail: rayane.freitas@souunit.com.br

2 Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia Industrial, Universidade Tiradentes – UNIT/SE. E-mail: doutorado_wagnercac@souunit.com.br

3 Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, Universidade Tiradentes – UNIT/SE. E-mail: jeffersoncleriston5@gmail.com

4 Professora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, Universidade Tiradentes - UNIT/SE. E-mail: drisantos_7@hotmail.com

5 Professora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, Universidade Tiradentes - UNIT/SE; Pesquisadora do Instituto de Tecnologia e Pesquisa – ITP. E-mail: cleide18@yahoo.com.br