



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA**

GABRIEL DA CRUZ DA CONCEIÇÃO

**AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE LARVICIDA E DE OVIPOSIÇÃO DO ÓLEO
ESSENCIAL DE *Eryngium foetidum* L. COMBINADO COM FIBROÍNA DE SEDA
FRENTE ÀS LARVAS DE *Aedes aegypti***

**MACAPÁ
2025**

GABRIEL DA CRUZ DA CONCEIÇÃO

**AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE LARVICIDA E OVIPOSIÇÃO DO ÓLEO
ESSENCIAL DE *Eryngium foetidum* L. COMBINADO COM FIBROÍNA DE SEDA
FRENTE ÀS LARVAS DE *Aedes aegypti***

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao
Colegiado do Curso de Licenciatura em Química
da UNIFAP, como requisito parcial para a
obtenção do título de Licenciado em Química.

Orientador: Dr. Victor Hugo de Souza Marinho
Coorientador: Dr. Irlon Maciel Ferreira

**MACAPÁ
2025**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central/UNIFAP-Macapá-AP
Elaborado por Cristina Fernandes – CRB-2 / 1569

C744a Conceição, Gabriel da Cruz da.
Avaliação da atividade larvicida e oviposição do óleo essencial de *Eryngium foetidum* L. combinado com fibroína de seda frente às larvas de *Aedes aegypti* / Gabriel da Cruz da Conceição. - Macapá, 2025.
1 recurso eletrônico.
38 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Amapá, Coordenação do Curso de Licenciatura em Química, Macapá, 2025.
Orientador: Dr. Victor Hugo de Souza Marinho.
Coorientador: Dr. Irlon Maciel Ferreira.

Modo de acesso: World Wide Web.
Formato de arquivo: Portable Document Format (PDF).

1. Chicória. 2. Compostos bioativos. 3. Bioinseticida. I. Marinho, Victor Hugo de Souza, orientador. II. Ferreira, Irlon Maciel, coorientador. III. Universidade Federal do Amapá. IV. Título.

CDD 23. ed. – 615.321

CONCEIÇÃO, Gabriel da Cruz da. **Avaliação da atividade larvicida e oviposição do óleo essencial de *Eryngium foetidum* L. combinado com fibroína de seda frente às larvas de *Aedes aegypti*.** Orientador: Dr. Victor Hugo de Souza Marinho. Coorientador: Dr. Irlon Maciel Ferreira. 2025. 38 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Química. Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2025.

GABRIEL DA CRUZ DA CONCEIÇÃO

**AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE LARVICIDA E OVIPOSIÇÃO DO ÓLEO
ESSENCIAL DE *Eryngium foetidum* L. COMBINADO COM FIBROÍNA DE SEDA
FRENTE ÀS LARVAS DE *Aedes aegypti***

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao
Colegiado do Curso de Licenciatura em Química
da UNIFAP, como requisito parcial para a
obtenção do título de Licenciado em Química.

Orientador: Dr. Victor Hugo de Souza Marinho
Coorientador: Dr. Irlon Maciel Ferreira

DATA DE APROVAÇÃO: 13/06/2025

BANCA EXAMINADORA

Dr. Victor Hugo de Souza Marinho - Orientador - UNIFAP.

Prof. Dr. Irlon Maciel Ferreira - Co-Orientador - UNIFAP.

Prof. Dr. Alex Bruno Lobato Rodrigues - UNIFAP.

Prof. Me. Paulo Gibson Farias Bezerra - UNIFAP.

Discente: Gabriel da Cruz da Conceição

**MACAPÁ
2025**

No xadrez, como na vida, não é o erro que define o fim – mas sim a coragem de pensar o próximo lance.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que é o alicerce de tudo na minha vida, por estar sempre presente e me conduzir em cada passo da minha trajetória.

Aos meus pais, Maria de Jesus lobato da Cruz e Raimundo Borges da Conceição, por todo amor, encorajamento e dedicação constantes.

Aos meus irmãos, pela presença constante e apoio incondicional.

Ao Prof. Dr. Victor Hugo de Souza Marinho, pela orientação, ensinamentos, confiança, benevolência e suporte na construção deste trabalho, além de sua valiosa amizade.

Ao Prof. Dr. Irlon Maciel Ferreira, pelas contribuições, sugestões e incentivo ao longo do desenvolvimento deste estudo.

Aos colegas do Laboratório de Biocatálise e Síntese Orgânica Aplicada, pelo apoio e amizade na caminhada acadêmica.

Aos amigos do Centro Acadêmico de Licenciatura em Química, pela parceria, convivência e por compartilharem comigo tantos momentos que tornaram a jornada mais leve e agradável.

Aos Professores do curso de Licenciatura em Química, pelo apoio técnico e por contribuírem valorosamente com seus conhecimentos para nossa formação.

RESUMO

O *Aedes aegypti* é um vetor de importantes arboviroses, como dengue, chikungunya, Zika e febre amarela, representando um grave problema de saúde pública. O uso indiscriminado de inseticidas sintéticos tem levado ao desenvolvimento de resistência nos mosquitos, além de causar impactos ambientais e prejudicar organismos não-alvo. Diante desse cenário, este trabalho teve como objetivo avaliar a atividade larvicida e o efeito sobre a oviposição de uma nanoformulação contendo óleo essencial de *Eryngium foetidum* e fibroína de seda contra larvas de terceiro instar de *Ae. aegypti*. A nanoformulação apresentou tamanho médio de partícula de $314,4 \pm 70,47$ nm, índice de polidispersão de $0,521 \pm 0,24$ e potencial zeta de $-37,8 \pm 2,42$ mV, demonstrando estabilidade adequada. Os resultados revelaram uma atividade larvicida promissora, com CL_{50} de $55,73 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ após 24 horas de exposição, além de inibição significativa da oviposição pelas fêmeas. Esses achados sugerem que a nanoformulação desenvolvida pode ser uma alternativa sustentável e eficaz no controle desse vetor, destacando-se como um biomaterial com grande potencial para aplicações em saúde pública.

Palavras-Chave: Chicória, compostos bioativos, bioinseticida, controle larvicida.

ABSTRACT

The Aedes aegypti mosquito is a vector for significant arboviruses, including dengue, chikungunya, Zika, and yellow fever, posing a major public health challenge. The indiscriminate use of synthetic insecticides has led to mosquito resistance, along with environmental harm and adverse effects on non-target organisms. In this context, this study aimed to evaluate the larvicidal activity and oviposition behavior of a nanoformulation containing *Eryngium foetidum* essential oil and silk fibroin against third-instar *Ae. Aegypti* larvae. The nanoformulation exhibited a mean particle size of 314.4 ± 70.47 nm, a polydispersity index of 0.521 ± 0.24 , and a zeta potential of -37.8 ± 2.42 mV, indicating suitable stability. Results demonstrated promising larvicidal activity, with an LC_{50} of $55.73 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ after 24 hours of exposure, as well as significant inhibition of female oviposition. These findings suggest that the developed nanoformulation could serve as a sustainable and effective alternative for vector control, emerging as a highly promising biomaterial for public health applications.

Keywords: Chicory, bioactive compounds, bioinsecticide, larvicidal control.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - <i>Eryngium foetidum</i> L (Chicória)	15
Figura 2 - Ciclo de vida do <i>Ae. aegypti</i>	18
Figura 3 - Molécula do inseticida 1, 1, 1 – tricloro – 2,2 di(p–clorofenil), DDT	21
Figura 4 - Atividade larvícida da nanoformulação EF-FS-NPs contra <i>Ae. aegypti</i>	28
Figura 5 - Efeito da nanoformulação EF-FS-NPs sobre a atividade de oviposição de fêmeas de <i>Ae. aegypti</i>	29
Figura 6 - Imagem de microscopia ótica das larvas de <i>Ae. aegypti</i> . (A) larva exposta ao controle contendo solução de fibroína de seda a 2%. (B) larva tratada com a nanoformulação de <i>E. foetidum</i> mostrando danos como escurecimento, distorção e contração no segmento das larvas.....	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição química do óleo essencial das folhas e raízes de <i>E. foetidum</i> , determinada por análise de CG-MS	26
Tabela 2. Valores de CL ₅₀ e CL ₉₀ para <i>Ae. aegypti</i> em contato com a nanoformulação EF-FS-NPs	27
Tabela 3. Teste de oviposição da nanoformulação EF-FS-NPs frente às fêmeas grávidas de <i>Ae. aegypti</i> com média de postura de ovos nos tempos de 24 a 96 h	29

Sumário

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	14
2.1	Objetivo geral	14
2.2	Objetivos específicos.....	14
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
3.1	<i>Eryngium foetidum</i> L.	15
3.2	Fibroína de seda: base para a produção de biomateriais	16
3.3	Arboviroses e <i>Aedes aegypti</i>	17
3.4	Óleos essenciais e atividade larvicida frente ao vetor <i>Ae. Aegypti</i>	19
3.5	A importância do ensino das funções orgânicas para o desenvolvimento de inseticidas naturais	20
4	METODOLOGIA	22
4.1	Material vegetal.....	22
4.2	Obtenção do óleo essencial de <i>E. foetidum</i>	22
4.3	Composição química do óleo de <i>E. foetidum</i>	22
4.4	Preparação da solução de fibroína de seda.....	22
4.5	Preparação da nanoformulação de <i>E. foetidum</i> combinado à solução de fibroína de seda	23
4.5.1	Análise do espalhamento dinâmico de luz da nanoformulação de <i>E. foetidum</i> combinado com fibroína de seda.....	23
4.6	Atividade larvicida e de oviposição do óleo essencial de <i>E. foetidum</i> combinado à fibroína de seda.	24
4.7	Análise da morfologia externa das larvas.....	24
4.8	Análise estatística	24
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	26
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	32
7	REFERÊNCIAS	33

1 INTRODUÇÃO

Hodiernamente, métodos alternativos para o controle do mosquito *Aedes aegypti* faz-se necessário, tendo em vista que o mosquito é vetor de várias arboviroses, como a febre amarela, dengue, Chikungunya e Zika vírus que afetam milhares de pessoas em vários países do mundo (Singh et al., 2019; Wagemakers et al., 2015). Somente no início do ano de 2024, o Brasil apresentou um expressivo aumento no número de casos de dengue. O controle da dengue e do *Ae. aegypti* estão entre os maiores desafios do país e do mundo, reforçando a importância das ações de todas as esferas da gestão pública e da sociedade (Boletim epidemiológico, 2024).

Desde o início de 2024, já foram notificados ao menos 973 mil casos suspeitos de dengue no país, casos estes, concentrados nas regiões sul, sudeste e Centro-Oeste, com 195 óbitos e 672 em investigação (Boletim epidemiológico, 2024). Estes dados reforçam a importância para o controle do *Ae. aegypti*, vários são os métodos utilizados para o controle de mosquitos, como inseticidas sintético, manejo de insetos-praga, técnicas genéticas e outras (Horstick et al., 2010; Weeratunga et al., 2017). Entretanto, o método mais utilizado para o controle desses vetores é o realizado por inseticidas sintéticos. Contudo, esses inseticidas apresentam vários problemas, como desenvolvimento de resistência, toxicidade a animais não-alvo e ao meio ambiente, além de efeitos secundários (Braga e Valle, 2007).

Estudos com produtos naturais provenientes da região amazônica tem se apresentado como alternativas eficazes para o controle de mosquitos vetores de doenças. Sarquis et al., (2020) avaliaram a ação larvicida de ésteres etílicos de *Carapa guianensis* combinados a solução de fibroína de seda e obtiveram bons resultados em larvas de 3º instar de *Ae. aegypti*. Marinho et al., (2023, 2022) investigaram a ação larvicida e de oviposição dos ésteres butílicos obtidos a partir da gordura de *Astrocaryum murumuru* e dos óleos de *C. guianensis* e *Bertholletia excelsa* com bons resultados frente ao *Ae. aegypti*. Ribeiro et al., (2024) relataram ação larvicida para o destilado do óleo de palma, material rico em ácidos graxos saturados, contra larvas de *Ae. aegypti*.

Nesse contexto, a espécie vegetal *Eryngium foetidum*, pertencente à família botânica Apiaceae Lindl., desperta interesse científico por sua importância econômica derivada de seu óleo essencial. A *E. foetidum* é conhecida popularmente como chicória-da-Amazônia e chicória-do-Pará, a espécie é muito utilizada como erva condimentar em diversos pratos típicos da região (Paul et al., 2011). Além disso, a espécie vegetal apresenta várias atividades biológicas, como atividade antielmíntica, anticonvulsivante, anti-bacteriana, entre outros (Dawilai et al., 2013;

Paul et al., 2011; Roumy et al., 2007). Entretanto, não há referência científica na literatura sobre a atividade larvicida e de oviposição para o seu óleo essencial frente ao vetor *Ae. aegypti*.

Frente ao exposto, este estudo tem por objetivo avaliar a atividade larvicida e de oviposição da nanopartícula de fibroína de seda combinada com óleo essencial de *E. foetidum* contra o vetor *Ae. aegypti*.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a atividade bioinseticida do óleo essencial de *E. foetidum* combinado a fibroína de seda frente às larvas de 3º instar de *Ae. aegypti*.

2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar por Cromatografia gasosa acoplada a espectrômetro de massas o óleo essencial de *E. foetidum*.
- Desenvolver um bioinseticida à base de óleo essencial de *E. foetidum* combinado a fibroína de seda.
- Caracterizar o bioinseticida quanto aos seus aspectos físico-químicos através das técnicas de dispersão dinâmica da luz (DLS).
- Avaliar o perfil das atividades larvicida e de oviposição do bioinseticida frente às larvas de 3º instar de *Ae. aegypti*.
- Analisar por microscopia ótica a morfologia externa das larvas após exposição ao bioinseticida.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 *Eryngium foetidum* L.

A espécie vegetal *Eryngium foetidum* L., pertence à família Apiaceae é conhecida popularmente como coentro-da-índia, chicória, chicória-do-Amazonas, chicória-do-Pará, entre outras (Villachica et al., 1996). É uma planta aromática com aroma forte e característico que lembra o coentro (*Coriandrum sativum*), possui propriedades fitoterápicas, amplamente utilizada como hortaliça condimentar. A origem da espécie é incerta, mas há especulações que seja nativa da América do sul, sendo distribuída entre países como: Argentina, Brasil, Colômbia, Guianas, Paraguai, Peru, Uruguai e Venezuela (Chelotti et al., 2023).

Figura 1. *Eryngium foetidum* L (Chicória).



Fonte: Autor.

A avaliação fitoquímica das folhas da chicória apresenta alta concentração de compostos fenólicos (taninos, antocianinas e flavonoides), além da presença de saponinas, carotenoides, ácido ascórbico e triterpenoides que apresentam atividades antioxidante (Wong et al., 2006; Singh et al., 2013; Paul et al., 2011). O óleo essencial de *E. foetidum* apresentam compostos como aldeídos e sesquiterpenos tanto nas folhas como em suas raízes. Estudos adicionais de seus constituintes bioativos, tem mostrado que o composto majoritário, eryngial, deve melhorar o valor econômico da espécie (Rodrigues et al., 2020).

A utilização da espécie vai além do seu uso para fins culinários, ela é empregada ainda nas indústrias de perfumaria e cosméticos (Ignacimuthu et al., 1999). O seu óleo essencial possui alto valor econômico no comércio internacional (Ignacimuthu et al., 1999). Apesar de

ser muito utilizada na culinária pouco se sabe sobre as supostas propriedades farmacológicas da espécie. A maioria das investigações está relacionada ao seu óleo essencial, entretanto, as informações sobre tais propriedades ainda são muito escassas (Rodrigues et al., 2020).

O uso medicinal para *E. foetidum* são relatados na América tropical e nas Índias para tratar febres, resfriados, gripes e outros (Duke et al., 2009; Noumi et al., 1999). No Brasil, o chá da erva é utilizado para facilitar o parto, entretanto, é contra indicada durante a gravidez por provocar contração uterina (Rodrigues, 2007). Na Costa Rica a planta é considerada afrodisíaca, mas não faz menção ao sexo afetado (Duke et al., 2009). Outras doenças para as quais a planta é utilizada são: hipertensão, reumatismo, asma, malária, doenças venéreas, entre outras (Duke et al., 2009; Leonti et al., 2003; Halberstein, 2005; Zamora-Martinez et al., 1992).

O uso etnomedicinal da espécie já são numerosos, contudo, apenas algumas de suas propriedades medicinais foram estudadas e comprovadas. As análises de seus constituintes químicos já são bem elucidadas o que torna a espécie uma forte candidata para estudos de novos compostos bioativos (Rodrigues et al., 2020).

3.2 Fibroína de seda: base para a produção de biomateriais

O *Bombyx mori*, bicho-da-seda, é responsável pela produção de fios de seda compostos principalmente pelas proteínas fibroína e sericina. A fibroína de seda é uma proteína estrutural formados entre outros pelos aminoácidos glicina, alanina e sericina. Além disso, ela é um polímero natural que apresenta características interessantes como biocompatibilidade, biodegradabilidade, baixa resposta inflamatória, propriedades mecânicas adequadas, além de alta permeabilidade para oxigênio e vapor de água (Lu et al., 2010; Yang et al., 2007).

Segundo a revista *Biomaterials*, um biomaterial é uma substância projetada para adquirir uma forma específica, seja sozinha ou como parte de um sistema complexo, com o objetivo de direcionar ou controlar interações com sistemas vivos em procedimentos terapêuticos ou diagnósticos (Allo et al., 2012). O uso de biomateriais não é recente: há milhares de anos, civilizações já os utilizavam. Um exemplo são os dentes de marfim encontrados em múmias egípcias, além de suturas feitas com ouro e linho no Antigo Egito (Silver & Christiansen, 1999).

Na atualidade o desenvolvimento de biomateriais exige conhecimentos em diversas áreas, como bioquímica, anatomia, biologia, imunologia, engenharia e ciência dos materiais. Além de se conhecer profundamente as biomoléculas e suas propriedades, pois são elas que

desempenham o papel essencial na manutenção das estruturas e atividades funcionais dos organismos vivos (Datta et al., 2020).

Diante desse contexto, a fibroína de seda tem sido utilizada para diversas aplicações, devido a sua versatilidade como biomaterial. Dentre as aplicações destacam-se a liberação controlada de drogas (Huang et al., 2017), enxertos musculares (Suzuki, 2016), curativos, (Cai et al., 2010), dispositivos bioeletrônicos (Wang et al., 2020), dispositivos para regeneração vascular e nervosa (Wenk et al., 2011). Recentemente a fibroína de seda vem sendo utilizada como veículo para diversos agentes larvicidas como os ésteres butílicos obtidos de óleos amazônicos (*Astrocaryum murumuru*, *Bertholletia excelsa* e *Carapa guianensis*), os ésteres etílicos oriundos do óleo de andiroba (Sarquis et al., 2020; Marinho et al., 2023), e os extratos hexânico, metílico e etílico das folhas de *Acmella oleracea* (Araújo et al., 2020).

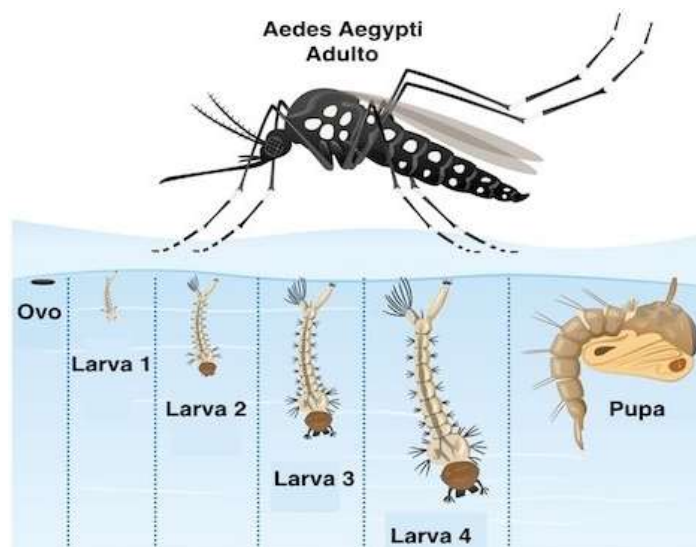
Diante disso, a fibroína de seda pode ser utilizada para essas e outras aplicações na forma de hidrogéis, micropartículas, nanopartículas, revestimentos, (Coatings), estruturas porosas (Scaffolds), membranas, compósitos e blendas, cada um desempenhando funções diferentes e com propriedades distintas e adequadas à sua aplicação específica (Yang et al., 2018).

3.3 Arboviroses e *Aedes aegypti*

O *Aedes aegypti* é vetor de várias arboviroses, sendo identificado pela primeira vez como causador de doenças em 1900, em Cuba por Walter Reed, Carlos Finlay e James Carrol (Christophers, 1960). É um mosquito antropofílico causador de doenças como: dengue, Chikungunya, febre amarela e Zika vírus. O controle dessa espécie é de interesse de várias nações, incluindo o Brasil (Souza-Neto et al., 2019).

Por possuir características específicas esta espécie se estabeleceu com facilidade no ambiente urbano. A fêmea desta espécie é capaz de depositar ovos em múltiplos recipientes por ciclo gonotrófico (Colton et al., 2003; Corbet & Chadee, 1993), otimizando a proliferação do vetor. Os ovos uma vez postos, são resistentes à dessecação no ambiente, entretanto, a viabilidade exata dos ovos depende da umidade relativa (Sota & Mogi, 1992). A metamorfose do mosquito ocorre de forma completa, e seu ciclo de vida compreende quatro fases: ovo, larva (quatro estágios larvários), pupa e mosquito (Cardoso et al., 2015).

Figura 2. Ciclo de vida do *Ae. aegypti*.



Fonte: <http://educaedes.federalcubatao.com.br/index.php/noticia/16-fases-do-aedes-aegypti>. Acesso em 14/12/2024.

Os primeiros programas para controlar o *Ae. aegypti* surgiu na segunda mundial (Bradley & Atchley, 1955). O Disease Center (CDC) foi encarregado de desenvolver e implementar programas de controle eficazes para conter o mosquito, resultando em uma onda de pesquisas sobre *Ae. aegypti* durante aquela época. Contudo, o programa não recebeu financiamento adequado desde o início (Schliessmann, 1967) e, finalmente, o programa foi interrompido com pouco reconhecimento devido à falta de financiamento (Slosek, 1986).

As principais classes de inseticidas utilizadas para o controle do *Ae. aegypti* são todas neurotóxicas, como os organoclorados, organofosforados, carbamatos e piretróides (Ware & Whitacre, 2004). Entretanto, o uso excessivo desses inseticidas sintéticos tornou o mosquito resistente a alguns desses inseticidas (Seetharaman et al., 2018; Roni et al., 2015). Além disso, esses inseticidas sintéticos causam danos ao meio ambiente e a animais não-alvo (Kumar et al., 2012).

A literatura já relata o uso de inseticidas bioativos desenvolvidos para erradicar ou controlar vetores de doenças. Inseticidas à base de compostos naturais são amplamente empregados na prevenção e no manejo de pragas, mas, além dessa finalidade, busca-se que essas formulações apresentem baixa toxicidade ao meio ambiente e a animais não-alvo. Tais compostos destacam-se por atuar especificamente em alvos moleculares exclusivos do vetor.

3.4 Óleos essenciais e atividade larvícida frente ao vetor *Ae. Aegypti*

Os óleos essenciais têm se mostrado promissores no controle do *Ae. aegypti*, vetor de doenças como dengue, Zika e Chikungunya. Estudos comprovam que esses bioativos vegetais, ricos em compostos voláteis como terpenos e fenóis, podem atuar como larvicidas, repelentes e até inibidores do desenvolvimento do mosquito. Sua ação neurotóxica age no sistema nervoso das larvas, enquanto seu aroma repele os adultos, reduzindo a infestação. Além disso, por serem biodegradáveis e de baixa toxicidade a mamíferos, apresentam vantagens em relação a inseticidas sintéticos (Murugan et al., 2007; Vargas et al., 2022).

A Organização Mundial da Saúde, nos últimos anos tem incentivado o estudo de extratos de plantas medicinais para avaliar a atividade inseticida, bactericida e fungicida destas (Pavela e Benelli, 2016). Nesse contexto, a procura por compostos larvicidas advindos de espécies vegetais, como os óleos essenciais extraídos de algumas plantas, tem se intensificado. Os óleos essenciais são uma mistura de vários compostos químicos com importantes propriedades e atividades biológicas. Essas características tornam os óleos essenciais uma alternativa promissora o controle vetorial de vários insetos e microrganismos (Pavela et al., 2019; Pavela e Benelli, 2016).

O óleo essencial de *Zingiber officinale Roscoe* apresentou excelente atividade larvícida contra larvas de 3º instar de *Ae. aegypti* (Gomes et al., 2016). Os óleos essenciais de *Eugenia Uniflora* e *Lantana camara* foram fortemente ativos contra as larvas de 3º instar de *Ae. aegypti* (Luz et al., 2022). O óleo essencial de *Myristica fragans Houtt*, apresentou alta toxicidade contra larvas de 3º instar de *Ae. aegypti*, bem como na fase adulta do mosquito (Voris, 2018).

O valor de CL_{50} (Concentração letal) qualifica a eficiência dos agentes larvicida (Cheng et al., 2003). São considerados bons agentes larvicidas substâncias com valor de CL_{50} abaixo de $100 \mu\text{g.mL}^{-1}$. Além disso, a potencialidade dos óleos essenciais varia segundo a espécie vegetal, a origem, a composição química do óleo e os mecanismos de ação contra o inseto-praga estudado (Leyva et al., 2020, 2009).

Contra o *Ae. aegypti* estudos sugerem que componentes terpênicos, álcoois e aldeídos oriundos de óleos essenciais são os principais responsáveis por suas atividades larvicidas e inseticidas (Lee, 2006; Lucia et al., 2007; Panella et al., 2005). Desse modo, compostos com maior lipofilicidade geralmente apresentam melhor atividade larvícida, pois podem romper a matriz lipoproteica da larva mais facilmente (Gomes et al., 2016; Luz et al., 2022).

3.5 A importância do ensino das funções orgânicas para o desenvolvimento de inseticidas naturais

O desenvolvimento da agricultura no final do século XVII trouxe a introdução de novas práticas agrícolas, por exemplo, a utilização de grandes quantidades de fertilizantes, bem como uso de máquinas para plantar, colher e processar de alimentos. Entretanto, junto com essas inovações surgiram vários problemas, como o aumento de insetos-praga na metade do século XIX. No intuito de controlar esses insetos, vários estudos científicos foram realizados com diversos compostos químicos, como compostos inorgânicos e extratos vegetais eram muito utilizados na época (Braibante & Zappe, 2012).

No final século XIX e início do século XX, iniciou-se o desenvolvimento de inseticidas orgânicos sintéticos. O marco para o desenvolvimento de compostos orgânicos sintéticos se deu a partir dos achados de Friedrich Wöhler em 1828, que transformou o composto inorgânico cianeto de amônio em ureia, que por sua vez é um composto nitrogenado encontrado na urina. Vale ressaltar que na época acreditava-se que não poderiam ser sintetizados compostos orgânicos em laboratórios (Vidal & Porto, 2011). Os compostos orgânicos são agrupados em grupos denominados como funções orgânicas (Guinati et al., 2014).

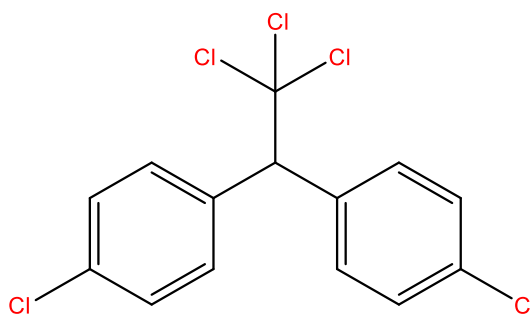
Deste modo, as funções orgânicas são grupos de compostos orgânicos que apresentam propriedades químicas semelhantes de acordo com o grupo funcional a que pertence. Com o intuito de tornar o ensino das funções orgânicas mais didático, elas foram separadas em: hidrocarbonetos, funções oxigenadas, funções nitrogenadas, funções halogenadas e outras.

O ensino de funções orgânicas é fundamental para compreender a ação de inseticidas contra mosquitos vetores, como o *Ae aegypti*. Compostos como ésteres, fenóis e terpenos – presentes em inseticidas naturais e sintéticos – atuam de forma específica no sistema nervoso ou no metabolismo do inseto, e seu mecanismo de ação está diretamente relacionado a seus grupos funcionais. Ao estudar essas estruturas químicas, os alunos podem entender como moléculas como a permetrina ou o eugenol interferem no vetor, além de avaliar sua seletividade e toxicidade. (Guinati et al., 2014).

Os inseticidas orgânicos sintéticos começaram a ser produzidos em grande escala a partir da década de 1940, durante a segunda guerra mundial, para proteger os soldados nas regiões tropicais e subtropicais da África e da Ásia contra as pragas transmissoras da doença do sono, malária e outras. Diante dessa necessidade vários outros inseticidas foram formulados para este fim, resultando em outros agrotóxicos que são utilizados até os dias atuais (Braibante & Zappe, 2012).

Foi nesse período da história que foi descoberta a atividade inseticida do 1, 1, 1 – tricloro – 2,2 di(p-clorofenil) (Figura 3), conhecido como DDT. Esse inseticida foi utilizado pela primeira vez em 1943 para combater piolhos que infestavam as tropas norte-americanas na Europa (Cassiano & Melo, 2014). Os inseticidas organoclorados tem como características a insolubilidade em água, sendo solúveis somente em compostos apolares como éter, clorofórmio e em óleos e gorduras, trazendo várias consequências como acúmulo no tecido adiposo dos organismos vivos, alta estabilidade, levando um longo período para degradar no meio ambiente, devido à baixa reatividades das ligações químicas presentes no composto em condições normais (Peres & Moreira, 2003).

Figura 3. Molécula do inseticida 1, 1, 1 – tricloro – 2,2 di(p-clorofenil), DDT.



Fonte: Autor.

Diante dessas características dos organofosforados foi necessário o desenvolvimento de outros compostos orgânicos sintéticos contra insetos-praga, como os carbamatos e os organofosforados. Entretanto, esses inseticidas também apresentam problemas e algumas limitações no seu uso, pois com o passar do tempo os organismos alvo desses inseticidas adquiriram resistência a eles, o que tornou imperioso a pesquisa por novos produtos para controlar as mais diversas pragas daninhas, insetos, fungos e outros organismos causadores de doenças como o mosquito *Ae. aegypti*. (Lopes, 2015).

A abordagem de temas socialmente relevantes, como o uso de inseticidas sintéticos no controle de vetores, no ensino de Química representa uma estratégia pedagógica transformadora. Ao vincular o estudo das propriedades químicas desses compostos aos seus impactos ambientais e à saúde pública, promove-se não apenas o aprendizado técnico, mas também o desenvolvimento da cidadania consciente. Essa contextualização permite aos estudantes refletir criticamente sobre aspectos éticos, como o compromisso com a sustentabilidade e a responsabilidade social no desenvolvimento e aplicação de tecnologias químicas. (Pereira & Santos, 2011).

4 METODOLOGIA

4.1 Material vegetal

As folhas e raízes de *E. foetidum* serão adquiridas no distrito da Fazendinha na cidade de Macapá, estado do Amapá, em outubro de 2024.

4.2 Obtenção do óleo essencial de *E. foetidum*

As folhas e raízes de *E. foetidum* foram secas a temperatura ambiente por 7 dias, após foram fragmentadas com auxílio de liquidificador industrial (Vitallex, Modelo: LQI-04). Em seguida, as amostras foram submetidas ao processo de hidrodestilação em sistema de vidro do tipo Clevenger, durante 3 h, acoplado a um sistema de refrigeração para manutenção da água de condensação em torno de 12 °C (Rodrigues et al., 2020).

4.3 Composição química do óleo de *E. foetidum*

O óleo essencial de *E. foetidum* foi analisado por meio de cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC-MS). Essas análises foram realizadas em um sistema Shimadzu GC2010 com um detector de massas seletivo (Shimadzu MS2010 plus) no modo de ionização de elétrons (EI, 70 eV). O sistema foi equipado com uma coluna RTX-5MS (30 m × 0,25 mm × 0,25 µm). As condições de GC-MS começaram com uma temperatura de forno de 130 °C, que foi mantida por 2 min e então aumentada para 290 °C a uma taxa de 5 °C.min⁻¹, a temperatura final foi mantida por 2 min. O tempo total de análise foi de 36 min. As temperaturas do injetor e do detector foram mantidas a 210 °C; 1 µL de amostra foi injetado com divisão de 1:15; e hélio foi usado como gás de arraste a uma vazão de 1,0 mL.min⁻¹. Os íons foram monitorados de 3 a 36 min para m/z 40–500. Os componentes presentes nas amostras foram identificados pela comparação de dados espectrais com aqueles descritos na biblioteca Wiley.

4.4 Preparação da solução de fibroína de seda

A solução de fibroína de seda foi preparada com base no método desenvolvido por (Ferreira et al., 2017). 3,0 g de casulos de bicho-da-seda (Bratac, Brasil) foram degomados numa solução em ebulição de Na₂CO₃ (2%, p/v) durante 30 min. As fibras resultantes foram filtradas e lavadas com água destilada (3 x 500 mL). Subsequentemente, as fibras de seda foram

dissolvidas numa solução ternária de H₂O: EtOH: CaCl₂ (proporção 8: 2: 1, 50 mL) a 30 °C por 4 h. Esta mistura foi então dialisada (tubo de celulose com um limite de exclusão de 16 kDa, de Viskase, Brasil) durante 3 dias a temperatura ambiente, e a água foi trocada a cada 24 h. A solução de fibroína foi centrifugada (6000 rpm durante 10 min) para remover as impurezas e partículas maiores. A concentração da solução de fibroína de seda foi ajustada para 2% (w/w).

4.5 Preparação da nanoformulação de *E. foetidum* combinado à solução de fibroína de seda

A nanoformulação foi preparada a partir da combinação do óleo essencial de *E. foetidum* com a solução de fibroína de seda (2%). Em resumo, a solução de fibroína de seda (1,25%) foi homogeneizada com o surfactante Tween 80 (0,62%) (m/m) em vórtex por 10 min a 300 rpm. Em seguida, o óleo essencial (1,25%) foi adicionado a mistura inicial e agitado por mais 30 min em vórtex. Após, água destilada (96,9%) foi adicionada a mistura e agitado por 10 min em agitador magnético. A nanoformulação foi nomeada com o código (EF-FS-NPs).

4.5.1 Análise do espalhamento dinâmico de luz da nanoformulação de *E. foetidum* combinado com fibroína de seda

A nanoformulação (EF-FS-NPs) foi caracterizada por meio de espalhamento dinâmico de luz usando o equipamento Zetasizer Nano ZS (Malvern Pananalytical, Malvern, Reino Unido), com aplicação de retroespalhamento não invasivo (ângulo de espalhamento de 173°) a temperatura de 25 °C. A nanoformulação foi diluída (1:10) com água ultrapura antes das medições. O tamanho médio de partícula (média Z) e o índice de polidispersão (PDI) foram obtidos por meio de análise cumulativa nos dados de espalhamento registrados pelo software do instrumento e os resultados foram expressos como médias e desvios padrão. O potencial zeta foi determinado por meio da mobilidade eletroforética (Zetasizer Nano ZS; Pananalytical, Malvern, Reino Unido), a equação de Helmholtz-Smoluchowski foi usada para calcular o potencial zeta (pZ), no software do instrumento, conforme descrito por Anarjan e Tan (2013). As análises foram realizadas em triplicata.

4.6 Atividade larvicida e de oviposição do óleo essencial de *E. foetidum* combinado à fibroína de seda.

A nanoformulação (EF-FS-NPs) foi preparada em diferentes concentrações (100, 75, 50, 25, 12.5 $\mu\text{g.mL}^{-1}$) a partir de uma solução estoque de 10.000 $\mu\text{g.mL}^{-1}$ para os testes larvicidas em *Ae. aegypti*. O ensaio foi realizado em quintuplicata com 10 larvas para cada concentração. O controle negativo foi realizado com a solução de fibroína de seda sem o óleo, e o controle positivo foi realizado com uma solução de diclorvos (6.25 ng.mL^{-1}). A taxa de mortalidade das larvas foi verificada após 24 e 48 h de incubação a temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ e umidade de $75 \pm 5\%$. As larvas foram consideradas mortas quando não respondiam a nenhum estímulo ou não se moviam na superfície da solução, em comparação com o controle. O ensaio foi realizado de acordo com (WHO, 2005).

A avaliação da dissuasão da oviposição foi realizada de acordo com as diretrizes da Organização Mundial da Saúde (WHO, 2005). Para este ensaio, 50 fêmeas grávidas (alimentadas com sangue) foram transferidas para gaiolas de 40 cm $\times$ 40 cm $\times$ 40 cm em condições de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $75 \pm 5\%$ e fotoperíodos de 12 horas. As gaiolas continham ovitrampas escuras contendo o bioinseticida do óleo de *E. foetidum* combinado com a fibroína de seda nas concentrações de 100, 50 e 25 $\mu\text{g.mL}^{-1}$. A solução controle para este ensaio foi preparada com água destilada e fibroína de seda (2%). A resposta de oviposição foi determinada pela contagem do número de ovos depositados em papéis de filtro. O teste foi realizado em quadruplicata e o número de ovos foi determinado após 96 h com a ajuda de uma lupa estereoscópica.

4.7 Análise da morfologia externa das larvas

Após o ensaio larvicida, as larvas foram fixadas em solução de formalina (10%, v/v). Sua morfologia externa foi analisada em microscópio ótico e fotografada com uma câmera digital (MDCE-SC USB 2.0) com auxílio do programa Scopelimage 9.0 (Araújo et al., 2020).

4.8 Análise estatística

A análise Probit foi realizada com um intervalo de confiança de 95% para determinar as concentrações letais (LC_{50} e LC_{90}), e o teste do Qui-quadrado foi efetuado utilizando o pacote de software Statgraphics Centurion XV versão 15.2.11 (Statpoint Technologies, Inc.,

Warrenton, VA). Se a mortalidade do grupo controle dos grupos se situar entre 5% e 20% dos grupos tratados, a análise será corrigida de acordo com a fórmula de mortalidade (%) = $X - Y / X \times 100$, em que X = percentagem de sobrevivência no grupo controle não tratado e Y = percentagem de sobrevivência no grupo tratado.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Caracterização do óleo essencial de *E. foetidum*

A análise de CG-MS mostrou que o 2-dodecenal é o composto majoritário, apresentando uma concentração relativa de 43,02% nas folhas, comparado a 39.8% nas raízes. O 14-metil-8-hexadecenal aparece como o segundo mais abundante, com 40.95% nas folhas e 37.5% nas raízes. Já o 2,4,5-trimetilbenzaldeído é mais concentrado nas raízes (19.6%) do que nas folhas (10.5%). Por fim, o tetradecanal apresenta valores de 5.52% nas folhas e 3.1% nas raízes (Tabela 1).

Tabela 1. Composição química do óleo essencial das folhas e raízes de *E. foetidum*, determinada por análise de CG-MS.

Compostos	Tempo de retenção (min)	Similaridade (%)	Concentração Relativa (%) Folhas	Concentração Relativa (%) Raízes
2,4,5-trimetilbenzaldeído	8.7	92	10.5	19.6
Tetradecanal	9.3	94	5.52	3.1
2-dodecenal	10.45	94	43.02	39.8
14-metil-8-hexadecenal	14.2	93	40.95	37.5

^a Base de dados MS (NIST 5.0). ^b Valores selecionados através da integração dos picos.

Os compostos identificados no presente trabalho mostram-se semelhante com os resultados de (Thomas et al., 2017), que analisaram a composição química do óleo essencial de *E. foetidum*, e detectaram a presença do (E)-2-Dodecenal como principal componente extraído das folhas representando 28,43%. De forma complementar, os dados obtidos por (Chowdhury et al., 2007) identificaram o (E)-2-dodecenal e o ácido dodecanóico como os principais constituintes do óleo essencial, com concentrações de 37,4% e 10,7%, respectivamente.

5.2 Análise do espalhamento dinâmico de luz da nanoformulação (EF-FS-NPs)

O espalhamento dinâmico de luz (DLS) é uma técnica que analisa as flutuações na intensidade da luz espalhada por partículas em solução para determinar seu tamanho hidrodinâmico. Baseia-se no princípio de que partículas menores se movem mais rapidamente devido ao movimento browniano, causando variações mais rápidas no sinal espalhado (Zielinska et al., 2020).

A EF-FS-NPs apresentou tamanho de partícula de 314.4 (± 70.47) nm, estudos afirmam que partículas nanométricas entre 1-1000 nm têm maior permeabilidade em tecidos e barreiras

biológicas. O tamanho influencia a superfície específica e a cinética de liberação, ou seja, quanto menor for a nanopartícula mais rápido será liberado o fármaco devido a maior razão área/volume (Zielinska et al., 2020). O índice de polidispersão da formulação foi de 0.521 (± 0.24), este valor é um parâmetro crítico na caracterização de nanoformulação e indica a homogeneidade da distribuição do tamanho das partículas na amostra (McClements & Jafari, 2018). O valor do potencial zeta da nanoformulação foi de -37.8 (± 2.42) mV, este parâmetro é fundamental para avaliar a estabilidade física e o comportamento coloidal das nanoformulações. Ele mede a magnitude da carga elétrica das partículas quando imersas em um líquido, refletindo as forças de repulsão ou atração entre elas (Azarmi et al., 2006).

5.3 Atividade larvícida e de oviposição da nanoformulação (EF-FS-NPs)

Nas concentrações de 12.5 e 100 $\mu\text{g.mL}^{-1}$ testadas, os resultados mostraram que a nanoformulação (EF-FS-NPs) apresentou significativa atividade larvícida contra as larvas do *Ae. aegypti*. Na concentração de 100 $\mu\text{g.mL}^{-1}$, foi observada uma mortalidade de 100% em 24h. Em contraste, na menor concentração de 12.5 $\mu\text{g.mL}^{-1}$ não houve mortalidade em ambos os períodos de avaliação 24 e 48 h.

Foram determinados os valores para as concentrações letais de CL_{50} e CL_{90} usando a análise Probit (Tabela 2) (Figura 4). A nanoformulação do óleo essencial da *E. foetidum* L combinado com a fibroína de seda aqui testado foi eficaz contra as larvas de *Ae. aegypti* no 3º instar, com valores de CL_{50} de 55.73 $\mu\text{g.mL}^{-1}$ em 24 h e de 45.74 $\mu\text{g.mL}^{-1}$ em 48 h. Enquanto os valores de CL_{90} foram de 88,25 $\mu\text{g.mL}^{-1}$ em 24h e 75,77 $\mu\text{g.mL}^{-1}$ em 48h.

Tabela 2. Valores de CL_{50} e CL_{90} para *Ae. aegypti* em contato com a nanoformulação EF-FS-NPs.

Agente	24 horas			
	CL_{50} ($\mu\text{g.mL}^{-1}$) (LCL-UCL)	CL_{90} ($\mu\text{g.mL}^{-1}$) (LCL-UCL)	χ^2 (df=4)	P
EF-FS-NPs	55.73 (50.79 – 61.02)	88.25 (80.84 – 98.28)	15.2493	0.004
	48 horas			
	CL_{50} ($\mu\text{g.mL}^{-1}$) (LCL-UCL)	CL_{90} ($\mu\text{g.mL}^{-1}$) (LCL-UCL)	χ^2 (df=4)	P
	45.74 (41.13 – 50.85)	75.77 (69.07 – 84.75)	18.0060	0.001

* CL - Concentração letal (50% e 90%); LCL – limite inferior de confiança; LCU – limite superior de confiança; χ^2 – Qui-quadrado; df – grau de liberdade; significativo em $P < 0.05$.

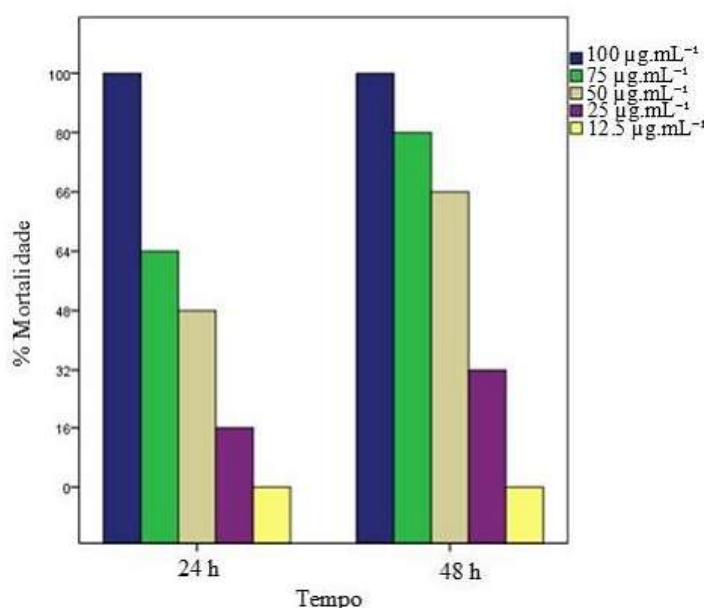


Figura 4 - Atividade larvicida da nanformulação EF-FS-NPs contra *Ae. aegypti*

Os resultados obtidos por (Bailão et al., 2022) demonstraram atividade larvicida significativa do óleo essencial de *Citrus limettoides* contra *Ae. aegypti*, com valores de CL₅₀ e CL₉₀ de 18.14 µg.mL⁻¹ e 24.67 µg.mL⁻¹, respectivamente, após 24 horas de exposição. Esses achados corroboram os de (Martins et al., 2020), que reportaram atividade larvicida relevante para o óleo essencial de *Pimenta dioica* contra larvas de *Ae. aegypti*, com CL₅₀ de 26.91 µg.mL⁻¹ no mesmo período de exposição.

De forma semelhante, Sarquis et al., (2020) relataram que a nanoemulsão contendo fibroína de seda e ésteres etílicos do óleo de *C. guianensis* apresentou atividade larvicida eficaz contra larvas de 3º estágio de *Ae. aegypti*, com CL₅₀ de 16.79 µg.mL⁻¹ após 48 horas de exposição. Em estudo complementar, Marinho et al., (2022) observaram que os ésteres butílicos da gordura de *A. murumuru* exibiram atividade larvicida com CL₅₀ de 45.42 µg.mL⁻¹ em 24 horas. Já Araújo et al., (2020) demonstraram que o extrato hexânico das folhas de *Acmella oleracea*, quando solubilizado em solução de fibroína de seda, apresentou a melhor eficácia larvicida entre os extratos testados, com CL₅₀ de 2.23 µg.mL⁻¹ após 24 horas de avaliação.

No ensaio de dissuasão de oviposição, observou-se que a nanoformulação de fibroína de seda (FS) combinadas ao óleo essencial de *E. foetidum* inibiram significativamente a oviposição por fêmeas grávidas de *Ae. aegypti*. Os resultados demonstraram que a nanoformulação (EF-FS-NPs), nas concentrações de 100, 50 e 25 µg.mL⁻¹, reduziu o número de ovos depositados em comparação aos controles de fibroína de seda (CTL-FS) e água (CTL-H₂O).

A quantificação dos ovos nas ovitrampas foi realizada até 96 horas. Para a concentração de $100 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ da EF-FS-NPs, registrou-se uma média de postura de $2.5 (\pm 1.2)$ ovos após 96 h. Nas concentrações de 50 e $25 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$, as médias foram de $3.7 (\pm 3.8)$ ovos e $4.0 (\pm 4.2)$ ovos, respectivamente. No controle com fibroína de seda a 2% (CTL-FS), a média foi de $2.0 (\pm 0.8)$ ovos, enquanto no controle com água (CTL-H₂O) observou-se $12.2 (\pm 11.0)$ ovos (Tabela 3) (Figura 5).

Tabela 3. Teste de oviposição da nanoformulação EF-FS-NPs frente às fêmeas grávidas de *Ae. aegypti* com média de postura de ovos nos tempos de 24 a 96 h.

	24h	48h	72h	96h
CTL-H₂O	103.7 ± 64.1	36 ± 11.4	32 ± 16.3	12.2 ± 11
CTL-FIB	45.7 ± 35.9	35.5 ± 15.2	14.7 ± 18.6	2.0 ± 0.8
EF-FS-NPs-100 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$	2.25 ± 2.0	1.75 ± 1.2	1.5 ± 1.9	2.5 ± 1.2
EF-FS-NPs-50 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$	4.25 ± 3.2	2.25 ± 2.2	4 ± 3.6	3.7 ± 3.8
EF-FS-NPs-25 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$	10.75 ± 6.2	11.75 ± 8.3	7.0 ± 3.4	4.0 ± 4.2

Valor de $P < 0.05$.

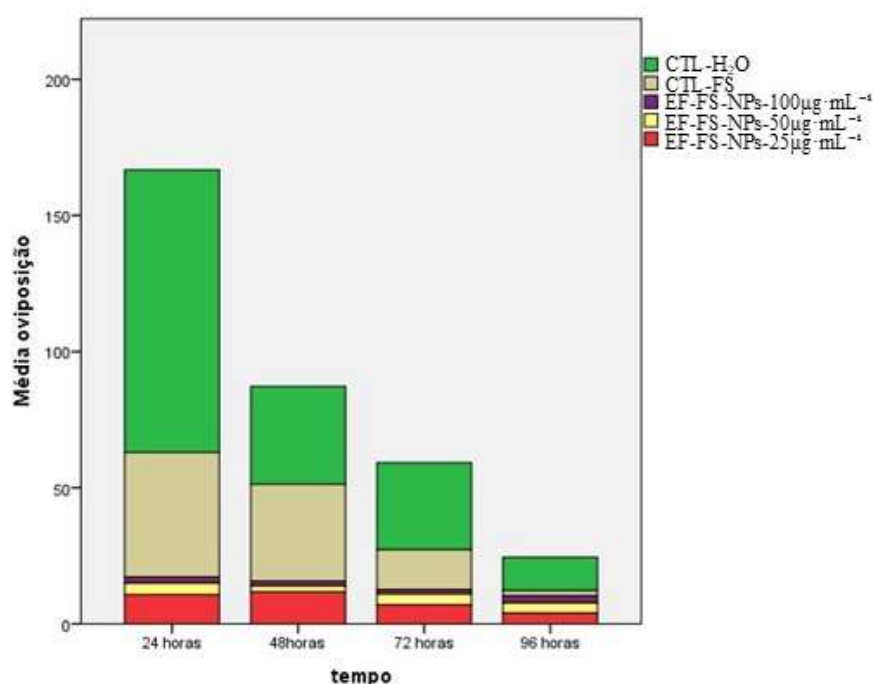


Figura 5. Efeito da nanoformulação EF-FS-NPs sobre a atividade de oviposição de fêmeas de *Ae. aegypti*.

O óleo essencial de *Eucalyptus globulus* demonstrou significativa atividade repelente de oviposição contra *Ae. aegypti*, reduzindo em 78,3% o número de ovos depositados em comparação ao grupo controle (Santos et al., 2024). Paralelamente, o óleo de *Piper aduncum*

na concentração de $50 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ apresentou efeito inibitório ainda mais pronunciado, suprimindo 92% da oviposição, com média de postura de $5,7 (\pm 2,1)$ ovos frente a $68,3 (\pm 4,7)$ ovos no controle (Oliveira et al., 2013). De forma semelhante, Marinho et al., (2023) relataram significativa atividade de dissuasão de oviposição por nanopartículas poliméricas de fibroína de seda associadas a ésteres butílicos contra *Ae. aegypti*, as fêmeas demonstraram apenas 6% de preferência por ovitrampas contendo a nanoformulação na concentração de $100 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$.

5.4 Análise morfológica das larvas de *Ae. aegypti*

Na Figura 6, observou-se o efeito morfológico da nanoformulação de *E. foetidum* em larvas de *Ae. aegypti*. A microscopia óptica revelou a deposição de precipitados da nanoformulação no corpo das larvas, com evidente dano à integridade cuticular. Essas alterações estruturais podem ter facilitado a internalização da nanoformulação, conforme evidenciado pelo escurecimento, distorção e contração das larvas. Tais alterações morfológicas foram ausentes no grupo controle tratado com solução de fibroína de seda a 2% (CTL-FS).

Estes achados corroboram com os encontrados por Sarquis et al., (2020) que reportaram danos cuticulares semelhantes em larvas de 3º instar de *Ae. aegypti* tratadas com nanopartículas de fibroína de seda contendo ésteres etílicos do óleo de *C. guianensis*, Marinho et al., (2022) observaram padrões morfológicos comparáveis utilizando nanopartículas de fibroína combinadas com ésteres butílicos de óleos vegetais de diferentes espécies vegetais da Amazônia.



Figura 6. Imagem de microscopia ótica das larvas de *Ae. aegypti*. **(A)** larva exposta ao controle contendo solução de fibroína de seda a 2%. **(B)** larva tratada com a nanoformulação de *E. foetidum* mostrando danos como escurecimento, distorção e contração no segmento das larvas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como objetivo desenvolver uma nanoformulação à base de óleo essencial de *E. foetidum* combinado com fibroína de seda, como um agente larvicida promissor contra larvas de *Aedes aegypti*, mosquito de grande relevância para a saúde pública devido ao seu papel como vetor de doenças humanas. A nanoformulação foi caracterizada por espalhamento dinâmico de luz (DLS), apresentando tamanho médio de partícula de 314,40 ($\pm$ 70,47) nm, índice de polidispersão de 0,521 e potencial zeta de -37,8 ($\pm$ 2,42) mV, indicando boa estabilidade. A formulação demonstrou elevada atividade larvicida, alcançando 100% de mortalidade na maior concentração após 24 horas de exposição, com um valor de CL_{50} de 55,73 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$. Além disso, a nanoformulação inibiu significativamente a oviposição de fêmeas de *Ae. aegypti* e causou danos morfológicos em múltiplos segmentos corporais das larvas. Esses resultados destacam seu potencial como uma alternativa sustentável para o controle de mosquitos, aliando eficácia a um reduzido impacto ambiental.

7 REFERÊNCIAS

- Allo, B. A., Costa, D. O., Dixon, S. J., Mequanint, K., & Rizkalla, A. S. (2012). Bioactive and Biodegradable Nanocomposites and Hybrid Biomaterials for Bone Regeneration. *Journal of Functional Biomaterials*, 3(2), 432–463.
- Anarjan, N., & Tan, C. P. (2013). Developing a three component stabilizer system for producing astaxanthin nanodispersions. *Food Hydrocolloids*, 30(1), 437–447.
- Araújo, I. F., Loureiro, H. A., Marinho, V. H. S., Neves, F. B., Sarquis, R. S. F., Faustino, S. M. M., Yoshioka, S. A., Ferreira, R. M. A., Souto, R. N. P., & Ferreira, I. M. (2020). Larvicidal activity of the methanolic, hydroethanolic and hexanic extracts from *Acmella oleracea*, solubilized with silk fibroin, against *Aedes aegypti*. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 24.
- Azarmi, S., Huang, Y., Chen, H., Mcquarrie, S., Abrams, D., Roa, W., Finlay, W. H., Miller, G. G., & Löbenberg, R. (2006). Optimization of a two-step desolvation method for preparing gelatin nanoparticles and cell uptake studies in 143B osteosarcoma cancer cells. In *J Pharm Pharmaceut Sci (www.cspsCanada.org)* (Vol. 9, Issue 1). www.cspsCanada.org
- Bailão, E. F. L. C., Pereira, D. G., Romano, C. A., Paz, A. T. de S., Silva, T. M. e., Paula, J. R. de, Gomes, C. M., & Borges, L. L. (2022). Larvicidal effect of the *Citrus limettoides* peel essential oil on *Aedes aegypti*. *South African Journal of Botany*, 144, 257–260.
- Bradley, G. H., & Atchley, F. O. (1955). *The “Aedes Aegypti” Situation in The United States*.
- Braga, I. A., & Valle, D. (2007). *Aedes Aegypti*: Inseticidas, Mechanisms of Action and Resistance Artigo de revisão *Aedes aegypti*: inseticidas, mecanismos de ação e resistência*. In *Epidemiol. Serv. Saúde, Brasília* (Vol. 16, Issue 4).
- Braibante, M. E. F., & Zappe, J. A. (2012). A Química dos Agrotóxicos. *Química Nova Na Escola*, 34, 10–15.
- Cai, Z. X., Mo, X. M., Zhang, K. H., Fan, L. P., Yin, A. L., He, C. L., & Wang, H. S. (2010). Fabrication of chitosan/silk fibroin composite nanofibers for Wound-dressing Applications. *International Journal of Molecular Sciences*, 11(9), 3529–3539.
- Cardoso, C. W., Paploski, I. A. D., Kikuti, M., Rodrigues, M. S., Silva, M. M. O., Campos, G. S., Sardi, S. I., Kitron, U., Reis, M. G., & Ribeiro, G. S. (2015). Outbreak of Exanthematous Illness Associated with Zika, Chikungunya, and Dengue Viruses, Salvador, Brazil. In *Trends in Parasitology* (Vol. 21, Issue 6, pp. 2274–2276). Elsevier Ltd.
- Cassiano, K. F. D., & Melo, C. F. S. (2014). A Saúde Humana como Eixo da Educação Ambiental: Impactos do uso de Agrotóxicos e sua relação com o TDAH. *Revista de Educação, Ciências E Matemática*.
- Chelotti, M. E., Turra, B. O., Meira, G. M., Bonotto, N. C. de A., Cruz, I. B. M. da, Ribeiro, E. E., Azzolin, V. F., & Barbisan, F. (2023). Propriedade medicinais do Óleo de coentro

- Coriandrum sativum* (L.). In *CIÊNCIAS DA SAÚDE E SUAS DESCOBERTAS CIENTÍFICAS*. Seven Editora.
- Cheng, S. S., Chang, H. T., Chang, S. T., Tsai, K. H., & Chen, W. J. (2003). Bioactivity of selected plant essential oils against the yellow fever mosquito *Aedes aegypti* larvae. *Bioresource Technology*, 89(1), 99–102.
- Chowdhury, J. U., Nandi, N. C., & Yusuf, M. (2007). Chemical Constituents of Essential Oil of the Leaves of *Eryngium foetidum* from Bangladesh. *Bangladesh J. Sci. Ind. Res.*, 347–352.
- Christophers, S. R. (1960). *Aedes aegypti* (L.), the yellow fever mosquito: Its life history, bionomics, and structure.
- Colton, Y. M., Chadee, D. D., & Severson, D. W. (2003). Natural skip oviposition of the mosquito *Aedes aegypti* indicated by codominant genetic markers. *Medical and Veterinary Entomology*, 17(2), 195–204.
- Corbet, P. S., & Chadee, D. (1993). An improved method for detecting substrate preferences shown by mosquitoes that exhibit “skip oviposition.” *Physiological Entomology*, 18, 114–118.
- Datta, L. P., Manchineella, S., & Govindaraju, T. (2020). Biomolecules-derived biomaterials. In *Biomaterials* (Vol. 230). Elsevier Ltd.
- Dawilai, S., Muangnoi, C., Praengamthanachoti, P., & Tuntipopipat, S. (2013). Anti-inflammatory activity of bioaccessible fraction from *Eryngium foetidum* leaves. *BioMed Research International*, 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/958567>
- Duke, J. A., Mary Jo Bogenschutz-Godwin, & Ottesen, A. R. (2009). *Duke's Handbook of Medicinal Plants of Latin America*.
- Epidemiológico, B. (2023). *Monitoramento das arboviroses e balanço de encerramento do Comitê de Operações de Emergência (COE) Dengue e outras Arboviroses 2024 MINISTÉRIO DA SAÚDE* (Vol. 54).
- Ferreira, I. M., Yoshioka, S. A., Comasseto, J. V., & Porto, A. L. M. (2017). Immobilization of Amano lipase from *Pseudomonas fluorescens* on silk fibroin spheres: an alternative protocol for the enantioselective synthesis of halohydrins. *RSC Advances*, 7(21), 12650–12658.
- Gomes, P. R. B., Silva, A. L. S., Pinheiro, H. A., Carvalho, L. L., Lima, H. S., Silva, E. F., Silva, R. P., Louzeiro, C. H., Oliveira, M. B., & Filho, V. E. M. (2016). Avaliação da atividade larvicida do óleo essencial do *Zingiber officinale* Roscoe (Gengibre) frente ao mosquito *Aedes aegypti*. *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*, 18(2), 597–604.
- Guinati, B. G. S., Gonçalves, M. X., & Reed, E. (2014). *Inseticidas domésticos- Composição Química, Riscos e precauções na sua manipulação**.
- Halberstein, R. A. (2005). Medicinal plants: Historical and cross-cultural usage patterns. *Annals of Epidemiology*, 15(9), 686–699.

- Horstick, O., Runge-Ranzinger, S., Nathan, M. B., & Kroeger, A. (2010). Dengue vector-control services: How do they work? A systematic literature review and country case studies. In *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene* (Vol. 104, Issue 6, pp. 379–386).
- Huang, Y., Bailey, K., Wang, S., & Feng, X. (2017). Silk fibroin films for potential applications in controlled release. *Reactive and Functional Polymers*, 116, 57–68.
- Ignacimuthu, S., Arockiasamy, S., Antonysamy, M., & Ravichandran, & P. (1999). Plant regeneration through somatic embryogenesis from mature leaf explants of *Eryngium foetidum*, a condiment. In *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* (Vol. 56).
- Kumar, S., Warikoo, R., Mishra, M., Seth, A., & Wahab, N. (2012). Larvicidal efficacy of the *Citrus limetta* peel extracts against Indian strains of *Anopheles stephensi* Liston and *Aedes aegypti* L. *Parasitology Research*, 111(1), 173–178.
- Lee, H.-S. (2006). Mosquito larvicidal activity of aromatic medicinal plant oils against *Aedes Aegypti* and *culex pipiens pallens*. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 22, 292–295.
- Leonti, M., Sticher, O., & Heinrich, M. (2003). Antiquity of medicinal plant usage in two Macro-Mayan ethnic groups (México). *Journal of Ethnopharmacology*, 88(2–3), 119–124.
- Leyva, M., Del, M., Marquetti, C., Montada, D., Payroll, J., Scull, R., Morejón, G., & Pino, O. (2020). Insecticidal activity of essential oils of *Piper aduncum* subsp. *ossanum* and *Ocimum basilicum* against *Aedes aegypti*, *Aedes albopictus* and *Culex quinquefasciatus*. In *NOVITATES CARIBAEA* (Vol. 16).
- Leyva, M., Del, M., Marquetti, C., Tacoronte, J. E., Scull, R., Tiomno, O., Mesa, A., & Montada, D. (2009). Actividad larvicida de aceites esenciales de plantas contra *Aedes aegypti* (L.) (Diptera: Culicidae). In *Rev Biomed* (Vol. 20, Issue 1). www.medigraphic.org.mx
- Lopes, M. A. (2015). O que aprendemos com o Manejo Integrado de Pragas (MIP) da agricultura para o controle do *Aedes aegypti*. *Revista de Política Agrícola*.
- Lu, Q., Hu, X., Wang, X., Kluge, J. A., Lu, S., Cebe, P., & Kaplan, D. L. (2010). Water-insoluble silk films with silk I structure. *Acta Biomaterialia*, 6(4), 1380–1387.
- Lucia, A., Gonzalez Audino, P., Seccacini, E., Licastro, S., Zerba, E., & Masuh, H. (2007). Larvicidal effect of eucalyptus grandis essential oil and turpentine and their major components on *aedes aegypti* larvae. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 23, 299–303. www.relcov.org.
- Luz, T. R. S. A., Leite, J. A. C., de Mesquita, L. S. S., Bezerra, S. A., Gomes Ribeiro, E. C., Silveira, D. P. B., Mesquita, J. W. C. de, do Amaral, F. M. M., & Coutinho, D. F. (2022). Seasonal variation in the chemical composition and larvicidal activity against *Aedes aegypti* L. of essential oils from Brazilian Amazon. *Experimental Parasitology*, 243.

- Marinho, V. H. S., Holanda, F. H., Araújo, I. F., Jimenez, D. E. Q., Pereira, R. R., Porto, A. L. M., Ferreira, A. M., Carvalho, J. C. T., Albuquerque de Freitas, A. C. G., Fernandes, C. P., Souto, R. N. P., & Ferreira, I. M. (2023). Nanoparticles from silk fibroin and Amazon oils: Potential larvicidal activity and oviposition deterrence against *Aedes aegypti*. *Industrial Crops and Products*, 203.
- Marinho, V. H. S., Neves, F. B., Jimenez, D. E. Q., Oliveira, F. R., Santos, A. V. T. L. T., Ferreira, R. M. A., Souto, R. N. P., Carvalho, J. C. T., Yoshioka, S. A., & Ferreira, I. M. (2022). Development of an environmentally friendly formulation of silk fibroin combined with fatty acid from *Astrocaryum murumuru* Mart. effective against *Aedes aegypti* larvae. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 75.
- Martins, T. G. T., Everton, G. O., Rosa, P. V. S., Arruda, M. O., Souto, L. A. da S., Fonseca, D., Silva, I. S. da, Costa, A. T., Souza, L. dos S., Souza, L. dos S., Araújo Neto, A. P. de, & Mouchrek Filho, V. E. (2020). Atividade larvica do óleo essencial de *Pimenta dioica* Lindl. frente as larvas do mosquito *Aedes aegypti*. *Research, Society and Development*, 9(8), e151985518.
- McClements, D. J., & Jafari, S. M. (2018). Improving emulsion formation, stability and performance using mixed emulsifiers: A review. In *Advances in Colloid and Interface Science* (Vol. 251, pp. 55–79). Elsevier B.V.
- Murugan, K., Murugan, P., & Noortheen, A. (2007). Larvicidal and repellent potential of *Albizzia amara* Boivin and *Ocimum basilicum* Linn against dengue vector, *Aedes aegypti* (Insecta:Diptera:Culicidae). *Bioresource Technology*, 98(1), 198–201.
- Noumi, E., Houngue, F., Lontsi, D., & Cameroon, R. (1999). Traditional medicines in primary health care: plants used for the treatment of hypertension in Bafia, Cameroon ' '. In *Fitoterapia* (Vol. 70).
- Oliveira, G. L., Cardoso, S. K., Lara Júnior, C. R., Vieira, T. M., Guimarães, E. F., Figueiredo, L. S., Martins, E. R., Moreira, D. de L., & Kaplan, M. A. C. (2013). Chemical study and larvicidal activity against *Aedes aegypti* of essential oil of *Piper aduncum* L. (Piperaceae). *Anais Da Academia Brasileira de Ciencias*, 85(4), 1227–1234.
- Panella, N. A., Dolan, M. C., Karchesy, J. J., Xiong, Y., Peralta-cruz, J., Khasawneh, M., Montenieri, J. A., & Maupin, G. O. (2005). Use of Novel Compounds for Pest Control: Insecticidal and Acaricidal Activity of Essential Oil Components from Heartwood of Alaska Yellow Cedar. In *J. Med. Entomol* (Vol. 42, Issue 3).
- Paul, J. H. A., Seaforth, C. E., & Tikasingh, T. (2011). *Eryngium foetidum* L: A review. In *Fitoterapia* (Vol. 82, Issue 3, pp. 302–308). Elsevier B.V.
- Pavela, R., & Benelli, G. (2016). Essential Oils as Ecofriendly Biopesticides? Challenges and Constraints. In *Trends in Plant Science* (Vol. 21, Issue 12, pp. 1000–1007). Elsevier Ltd.

- Pavela, R., Maggi, F., Iannarelli, R., & Benelli, G. (2019). Plant extracts for developing mosquito larvicides: From laboratory to the field, with insights on the modes of action. In *Acta Tropica* (Vol. 193, pp. 236–271). Elsevier B.V.
- Peres, Frederico., & Moreira, J. Costa. (2003). *E veneno ou é remédio?: agrotóxicos, saúde e ambiente*. Editora Fiocruz.
- Ribeiro, A. N., Lopes, S. Q., Marinho, V. H. S., Araújo, I. F., Ramos, R. da S., Souto, R. N. P., de Oliveira, A. N., Luque, R., Nascimento, L. A. S. do, & Ferreira, I. M. (2024). Valorization of Deodorizing Distillate Palm Oil Residue for Larvicidal Activity Against *Aedes aegypti* and Synergistic Effect of Their Free Fatty Acids. *Waste and Biomass Valorization*, 15(6), 3367–3377.
- Rodrigues, E. (2007). Plants of restricted use indicated by three cultures in Brazil (Caboclo-river dweller, Indian and Quilombola). *Journal of Ethnopharmacology*, 111(2), 295–302.
- Rodrigues, T. L. M., Castro, G. L. S., Viana, R. G., Gurgel, E. S. C., Silva, S. G., de Oliveira, M. S., & Andrade, E. H. de A. (2020). Physiological performance and chemical compositions of the *Eryngium foetidum* L. (Apiaceae) essential oil cultivated with different fertilizer sources. *Natural Product Research*, 1–5.
- Roni, M., Murugan, K., Panneerselvam, C., Subramaniam, J., Nicoletti, M., Madhiyazhagan, P., Dinesh, D., Suresh, U., Khater, H. F., Wei, H., Canale, A., Alarfaj, A. A., Munusamy, M. A., Higuchi, A., & Benelli, G. (2015). Characterization and biotoxicity of *Hypnea musciformis*-synthesized silver nanoparticles as potential eco-friendly control tool against *Aedes aegypti* and *Plutella xylostella*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 121, 31–38.
- Roumy, V., Garcia-Pizango, G., Gutierrez-Choquevilca, A. L., Ruiz, L., Jullian, V., Winterton, P., Fabre, N., Moulis, C., & Valentin, A. (2007). Amazonian plants from Peru used by Quechua and Mestizo to treat malaria with evaluation of their activity. *Journal of Ethnopharmacology*, 112(3), 482–489.
- Santos, J. L. P., Pereira, A. P. M., Serejo, A. P. M., Sousa, B. A. de, Guterres, C. V. F., Matos, M. A. A., Chagas, B. J. R. das, Mouchrek Filho, V. E., & Everton, G. O. (2024). Chemical characterization and biotechnological potential of *Salvia rosmarinus* Spenn essential oil nanoemulsions. *Ciência e Natura*, 46, e73704.
- Santos, W. L. P. (2011). A Química e a formação para a cidadania. *Educación Química*, 300–305.
- Sarquis, I. R., Sarquis, R. S. F. R., Marinho, V. H. S., Neves, F. B., Araújo, I. F., Damasceno, L. F., Ferreira, R. M. A., Souto, R. N. P., Carvalho, J. C. T., & Ferreira, I. M. (2020). *Carapa guianensis* Aubl. (Meliaceae) oil associated with silk fibroin, as alternative to traditional surfactants, and active against larvae of the vector *Aedes aegypti*. *Industrial Crops and Products*,

- Schliessmann, D. J. (1967). Initiation of the *Aedes aegypti* Eradication Programme of the USA. In *Bull. Org. mond. Sante* (Vol. 36).
- Seetharaman, P. K., Chandrasekaran, R., Gnanasekar, S., Chandrakasan, G., Gupta, M., Manikandan, D. B., & Sivaperumal, S. (2018). Antimicrobial and larvicidal activity of eco-friendly silver nanoparticles synthesized from endophytic fungi *Phomopsis liquidambaris*. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 16, 22–30.
- Silver, F. H., & Christiansen, D. L. (1999). *Biomaterials Science and Biocompatibility*.
- Singh, S., Singh, D. R., Banu, S., & Salim, K. M. (2013). Determination of bioactives and antioxidant activity in *Eryngium foetidum* L.: A traditional culinary and medicinal herb. *Proceedings of the National Academy of Sciences India Section B - Biological Sciences*, 83(3), 453–460.
- Slosek, J. (1986). *Aedes Aegypti* Mosquitoes in the Americas: A Review of Their Interactions with the Human Population. In *Sac. Sci. Med* (Vol. 23, Issue 3).
- Sota, T., & Mogi, M. (1992). Interspecific variation in desiccation survival time of *Aedes* (*Stegomyia*) mosquito eggs is correlated with habitat and egg size. In *Oecologia* (Vol. 90).
- Souza-Neto, J. A., Powell, J. R., & Bonizzoni, M. (2019). *Aedes aegypti* vector competence studies: A review. In *Infection, Genetics and Evolution* (Vol. 67, pp. 191–209). Elsevier B.V.
- Suzuki, Y. (2016). Structures of silk fibroin before and after spinning and biomedical applications. In *Polymer Journal* (Vol. 48, Issue 11, pp. 1039–1044). Nature Publishing Group.
- Thomas, P., Essien, E., Ntuk, S., & Choudhary, M. (2017). *Eryngium foetidum* L. Essential Oils: Chemical Composition and Antioxidant Capacity. *Medicines*, 4(2), 24.
- Vargas, L. D. L., Ferreira, S. M. B., Souza, M. D., Silva, C. A. L. da, & Shimoya-bittencourt, W. (2022). Resistência das populações de *Aedes* (*Stegomyia*) *aegypti* (Linnaeus, 1762) (Insecta, Diptera, Culicidae) aos inseticidas utilizados para o controle. *Revista de Ciências Médicas e Biológicas*, 21(1), 98–116.
- Vidal, P. H., & Porto, P. A. (2011). *Algumas contribuições do episódio histórico da síntese artificial da ureia para o ensino de química*. 4, 13–23.
- Villachica, hugo. (1996). *Frulales y Hortalizas Promisorios de la Amazônia*.
- Voris, D. G. R. (2018). *Estudos Etnofarmacológicos de Óleos essenciais como inseticidas e repelentes contra o mosquito Aedes Aegypti*.
- Wagemakers, A., Staarink, P. J., Sprong, H., & Hovius, J. W. R. (2015). *Borrelia miyamotoi*: A widespread tick-borne relapsing fever spirochete. In *Trends in Parasitology* (Vol. 31, Issue 6, pp. 260–269). Elsevier Ltd.

- Wang, Q., Yan, S., Han, G., Li, X., You, R., Zhang, Q., Li, M., & Kaplan, D. L. (2020). Facile production of natural silk nanofibers for electronic device applications. *Composites Science and Technology*, 187.
- Ware, G. W., & Whitacre, D. M. (2004). *Published by MeisterPro Information Resources, A division of Meister Media Worldwide.*
- Weeratunga, P., Rodrigo, C., Fernando, S. D., & Rajapakse, S. (2017). Control methods for *Aedes albopictus* and *Aedes aegypti*. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2017(8).
- Wenk, E., Merkle, H. P., & Meinel, L. (2011). Silk fibroin as a vehicle for drug delivery applications. In *Journal of Controlled Release* (Vol. 150, Issue 2, pp. 128–141). <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2010.11.007>
- WHO. (2005). Guidelines for laboratory and field testing of mosquito larvicides. *World Health Organization*. <https://iris.who.int/handle/10665/69101>
- Wong, S. P., Leong, L. P., & William Koh, J. H. (2006). Antioxidant activities of aqueous extracts of selected plants. *Food Chemistry*, 99(4), 775–783.
- Yang, K., Han, Q., Chen, B., Zheng, Y., Zhang, K., Li, Q., & Wang, J. (2018). Antimicrobial hydrogels: Promising materials for medical application. In *International Journal of Nanomedicine* (Vol. 13, pp. 2217–2263). Dove Medical Press Ltd.
- Yang, Y., Chen, X., Ding, F., Zhang, P., Liu, J., & Gu, X. (2007). Biocompatibility evaluation of silk fibroin with peripheral nerve tissues and cells in vitro. *Biomaterials*, 28(9), 1643–1652.
- Zamora-Martinez, M. C., & Pola, C. N. de P. (1992). Medicinal plants used in some rural populations of Oaxaca, Puebla and Veracruz, Mexico. In *Journal of Ethnopharmacology* (Vol. 35).
- Zielinska, A., Carreiró, F., Oliveira, A. M., Neves, A., Pires, B., Nagasamy Venkatesh, D., Durazzo, A., Lucarini, M., Eder, P., Silva, A. M., Santini, A., & Souto, E. B. (2020). Polymeric Nanoparticles: Production, Characterization, Toxicology and Ecotoxicology. In *Molecules* (Vol. 25, Issue 16). MDPI AG.