



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS  
CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA**

**RODRIGO BENAION DE SOUZA**

**AVANÇOS RECENTES DE NANOPARTÍCULAS DE FIBROÍNA DE SEDA  
ASSOCIADAS A ÓLEOS DA AMAZÔNIA: POTENCIAL ATIVIDADE LARVICIDA  
CONTRA *Aedes aegypti***

**MACAPÁ-AP  
2026**

**RODRIGO BENAION DE SOUZA**

**AVANÇOS RECENTES DE NANOPARTÍCULAS DE FIBROÍNA DE SEDA  
ASSOCIADAS A ÓLEOS DA AMAZÔNIA: POTENCIAL ATIVIDADE LARVICIDA  
CONTRA *Aedes aegypti***

Monografia apresentada ao Curso de Licenciatura  
em Química da Universidade Federal do Amapá,  
como requisito na obtenção do grau de Licenciado  
em Química.

Orientador: Prof. Dr. Irlon Maciel Ferreira

**MACAPÁ-AP**

**2026**

Souza, Rodrigo Benaion de.

S729a Avanços recentes de nanopartículas de fibroína de seda associadas a óleos da amazônia potencial atividade larvicida contra *Aedes aegypti* / Rodrigo Benaion de Souza. - Macapá, 2026.

1 recurso eletrônico.

30 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Amapá, Coordenação do Curso de Química, Macapá, 2026.

Orientador: Prof. Dr. Irlon Maciel Ferreira.

Modo de acesso: World Wide Web.

Formato de arquivo: Portable Document Format (PDF).

1. Fibroína de seda. 2. Nanopartículas. 3. Óleos amazônicos. I. Ferreira, Irlon Maciel, orientador. II. Universidade Federal do Amapá. III. Título.

CDD 23. ed. – 615.321



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS  
CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA**

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

**RODRIGO BENAION DE SOUZA**

**AVANÇOS RECENTES DE NANOPARTÍCULAS DE FIBROÍNA DE SEDA  
ASSOCIADAS A ÓLEOS DA AMAZÔNIA: POTENCIAL ATIVIDADE  
LARVICIDA  
CONTRA *Aedes aegypti***

Monografia apresentada ao Curso de Licenciatura em Química da Universidade Federal do Amapá, como requisito na obtenção do grau de Licenciado em Química.

Orientador: Prof. Dr. Irlon Maciel Ferreira

Aprovado em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

\_\_\_\_\_  
Examinador Dr. Victor Hugo de Souza Marinho  
(UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ)

\_\_\_\_\_  
Examinador MSc. Swanny Ferreira Borges  
(UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ)

\_\_\_\_\_  
Orientador Prof. Dr. Irlon Maciel Ferreira  
(UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ)

Ao meu tio, Orivaldo Benaion, que partiu sem dizer adeus. Foi um homem de coração bondoso, generoso e cheio de luz. Sua ausência é sentida todos os dias, mas sua memória permanece viva em tudo o que me ensinou e representou. Que esta conquista também seja sua. Onde quer que esteja, sei que estaria orgulhoso.

"Aonde quer que eu vá, levo você no olhar". – Paralamas do sucesso

## RESUMO

DE SOUZA, Rodrigo Benaion. **AVANÇOS RECENTES DE NANOPARTÍCULAS DE FIBROÍNA DE SEDA ASSOCIADAS A ÓLEOS DA AMAZÔNIA: POTENCIAL ATIVIDADE LARVICIDA CONTRA *Aedes aegypti***. 2026. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Licenciatura em Química. Universidade Federal do Amapá. Macapá-AP, 2026.

Este trabalho tem como objetivo revisar e analisar a aplicação de nanopartículas de fibroína de seda associadas a óleos amazônicos para o controle do *Aedes aegypti*, vetor de arboviroses como dengue, zika, chikungunya e febre amarela. A pesquisa caracterizou-se como uma revisão bibliográfica, com abordagem exploratória e descritiva, visando compilar as principais contribuições científicas na área, identificar lacunas de conhecimento e sugerir novas direções para pesquisas futuras. A coleta de dados foi realizada a partir de consultas a bases científicas como ScienceDirect, PubMed, Google Acadêmico e SciELO, utilizando descritores relacionados à nanotecnologia, fibroína de seda, óleos amazônicos e controle de vetores. A análise dos estudos revelou o crescente interesse em nanopartículas poliméricas como sistemas de liberação controlada, destacando a fibroína de seda devido à sua biocompatibilidade e propriedades de encapsulação. A combinação de óleos amazônicos, como os de andiroba, murumuru e castanha-da-Amazônia com a fibroína, mostrou-se promissora para aumentar a eficácia larvicida e minimizar impactos ambientais. Logo, os resultados apontam que as nanopartículas de fibroína associadas a esses óleos têm o potencial de melhorar a estabilidade e a dispersão de compostos bioativos, ampliando a ação larvicida e impactando o comportamento reprodutivo do *Ae. aegypti*. A pesquisa conclui que essa abordagem oferece uma alternativa sustentável e eficaz aos métodos tradicionais de controle vetorial, com potencial para aplicações práticas em saúde pública.

**Palavras-chave:** Nanopartículas. Fibroína de seda. Óleos amazônicos. *Aedes aegypti*. Biolarvicidas.

## ABSTRACT

DE SOUZA, Rodrigo Benaion. **RECENT ADVANCES IN SILK FIBROIN NANOPARTICLES ASSOCIATED WITH AMAZONIAN OILS: POTENTIAL LARVICIDAL ACTIVITY AGAINST *Aedes aegypti***. 2026. Undergraduate Thesis (Bachelor's Degree) – Chemistry Teacher Education Program. Federal University of Amapá. Macapá, Amapá, Brazil, 2026.

This work aims to review and analyze the application of silk fibroin nanoparticles associated with Amazonian oils for the control of *Aedes aegypti*, a vector of arboviruses such as dengue, Zika, chikungunya, and yellow fever. The research was characterized as a literature review, with an exploratory and descriptive approach, aiming to compile the main scientific contributions in the area, identify knowledge gaps, and suggest new directions for future research. Data collection was carried out through consultations with scientific databases such as ScienceDirect, PubMed, Google Scholar, and SciELO, using descriptors related to nanotechnology, silk fibroin, Amazonian oils, and vector control. The analysis of the studies revealed the growing interest in polymeric nanoparticles as controlled release systems, highlighting silk fibroin due to its biocompatibility and encapsulation properties. The combination of Amazonian oils such as andiroba, murumuru, and Brazil nut oils, with fibroin has shown promise in increasing larvicidal efficacy and minimizing environmental impacts. Therefore, the results indicate that fibroin nanoparticles associated with these oils have the potential to improve the stability and dispersion of bioactive compounds, amplifying larvicidal action and impacting the reproductive behavior of *Ae. aegypti*. The research concludes that this approach offers a sustainable and effective alternative to traditional vector control methods, with potential for practical applications in public health.

**Keywords:** Nanoparticles. Silk fibroin. Amazonian oils. *Aedes aegypti*. Biolarvicides.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>12</b>
2.1 Objetivo geral .....	12
2.2 Objetivos específicos .....	12
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>13</b>
3.1 Nanotecnologia e sistemas de liberação controlada aplicados ao controle do <i>Aedes aegypti</i> .....	13
3.2 Fibroína de seda como biomaterial para nanopartículas e sistemas de entrega de compostos bioativos .....	14
3.3 Óleos amazônicos como fontes de compostos bioativos com potencial larvicida .....	15
3.4 Nanopartículas de fibroína de seda associadas a óleos amazônicos: atividade larvicida e efeitos na oviposição do <i>Aedes aegypti</i> .....	16
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>19</b>
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>21</b>
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>27</b>
REFERÊNCIAS .....	

## 1 INTRODUÇÃO

As arboviroses transmitidas pelo mosquito *Aedes aegypti*, como dengue, chikungunya, zika e febre amarela, configuram-se como um dos principais desafios contemporâneos de saúde pública, especialmente em países tropicais como o Brasil. A elevada adaptabilidade ecológica desse vetor, aliada a fatores como urbanização desordenada, mudanças climáticas e falhas estruturais no saneamento básico, tem contribuído para a persistência e a expansão dessas doenças, exigindo estratégias de controle mais eficazes, sustentáveis e ambientalmente seguras (Who, 2023; Zara et al., 2016).

Considerando o processo histórico, o controle do *Aedes aegypti* tem se baseado, sobretudo, no uso de inseticidas sintéticos das classes dos organofosforados, piretroides e carbamatos. Entretanto, a aplicação contínua e indiscriminada desses compostos tem levado ao desenvolvimento de resistência em populações do mosquito, além de impactos negativos sobre organismos não alvo e riscos à saúde humana (Benelli; Mehlhorn, 2016; Baldacchino et al., 2015). A partir dessa realidade, torna-se imprescindível o desenvolvimento de alternativas inovadoras que conciliem eficiência larvicida, seletividade biológica e menor impacto ambiental.

Assim, a nanotecnologia surge como uma ferramenta promissora para a saúde pública, especialmente no desenvolvimento de sistemas avançados de liberação controlada de compostos bioativos. Nanopartículas poliméricas têm demonstrado capacidade de aumentar a estabilidade, a biodisponibilidade e a eficácia de agentes ativos, ao mesmo tempo em que reduzem sua toxicidade sistêmica (Mitchell et al., 2021; Pelaz et al., 2017). Entre os biopolímeros de interesse, destaca-se a fibroína de seda, uma proteína natural extraída principalmente do casulo do *Bombyx mori*, amplamente reconhecida por sua biocompatibilidade, biodegradabilidade, baixa imunogenicidade e versatilidade estrutural (Qi et al., 2017; Ma et al., 2020).

A fibroína de seda tem sido aprovada pela Food and Drug Administration (FDA) como biomaterial seguro para aplicações biomédicas, incluindo sistemas de administração de fármacos. Logo, sua composição rica em aminoácidos como glicina, alanina e serina confere propriedades físico-químicas que permitem a formação de diferentes arquiteturas nanoestruturadas, como nanopartículas, hidrogéis e filmes, capazes de encapsular e liberar substâncias ativas de forma controlada (Wang et al., 2022; Guo et al., 2024). Essas características tornam a fibroína de seda um material estratégico para aplicações que extrapolam

o campo biomédico, alcançando também áreas como a biotecnologia ambiental e o controle de vetores.

Paralelamente aos avanços nanotecnológicos, a biodiversidade amazônica apresenta um vasto potencial para a obtenção de compostos naturais com atividade inseticida. Óleos vegetais extraídos de espécies como *Carapa guianensis* (andiroba), *Astrocaryum murumuru* (murumuru) e *Bertholletia excelsa* (castanha-da-Amazônia) são ricos em ácidos graxos e metabólitos secundários com reconhecida atividade biológica, incluindo efeitos larvicidas e repelentes contra o *Aedes aegypti* (Lima; Pauletto, 2021; Marinho et al., 2022). Além disso, esses óleos representam produtos florestais não madeireiros de elevado valor socioeconômico, alinhados aos princípios da bioeconomia e do desenvolvimento sustentável da Amazônia.

A aplicação direta de óleos vegetais em ambientes aquáticos apresenta limitações relacionadas à baixa solubilidade, instabilidade e dispersão inadequada, o que compromete sua eficácia larvicida. Nesse sentido, a associação desses óleos a nanopartículas de fibroína de seda configura uma estratégia inovadora, capaz de superar tais limitações por meio da nanoencapsulação, promovendo maior estabilidade, melhor dispersão em meio aquoso e liberação controlada dos compostos bioativos (Sarquis et al., 2020; Marinho et al., 2023).

A integração entre nanotecnologia, biomateriais e recursos naturais amazônicos desponta como uma abordagem promissora para o desenvolvimento de biolarvicidas mais eficientes e ambientalmente responsáveis. Assim, o presente trabalho propõe uma revisão e análise crítica dos avanços recentes no uso de nanopartículas de fibroína de seda associadas a óleos da Amazônia, com foco no potencial larvicida contra o *Aedes aegypti*, contribuindo para a ampliação do conhecimento científico e para a proposição de estratégias sustentáveis no controle de vetores de importância em saúde pública.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 GERAL

Apresentar as principais tendências no uso da fibroína de seda (FS) como biomaterial, associada a óleos amazônicos, para a avaliação da oviposição e toxicidade larval contra o *Aedes aegypti*.

### 2.2 ESPECÍFICOS

- Revisar a importância da fibroína de seda como um sistema de entrega de compostos bioativos.
- Discutir o potencial dos óleos amazônicos (como andiroba, castanha-da-Amazônia e murumuru) como fontes de agentes larvicidas.
- Analisar estudos recentes sobre a atividade larvicida e de oviposição de nanopartículas de FS combinadas a esses óleos contra o *Aedes. aegypti*.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 NANOTECNOLOGIA E SISTEMAS DE LIBERAÇÃO CONTROLADA APLICADOS AO CONTROLE DO *aedes aegypti*

A nanotecnologia tem se consolidado como uma área estratégica para o desenvolvimento de soluções inovadoras em saúde pública, especialmente no enfrentamento de doenças transmitidas por vetores. No contexto do controle do *Aedes aegypti*, a aplicação de sistemas nanoestruturados surge como alternativa promissora aos métodos convencionais baseados em inseticidas sintéticos, cuja eficácia tem sido progressivamente reduzida em decorrência do desenvolvimento de resistência populacional, além de apresentarem impactos ambientais e riscos toxicológicos significativos (Benelli; Mehlhorn, 2016; Zara et al., 2016).

Nanopartículas podem ser definidas como estruturas com dimensões geralmente inferiores a 1000 nm, capazes de apresentar propriedades físico-químicas diferenciadas em função do seu tamanho, área superficial elevada e possibilidade de modulação química. Essas características permitem a encapsulação, proteção e liberação controlada de compostos bioativos, aumentando sua estabilidade e eficiência biológica (Pelaz et al., 2017). No controle vetorial, tais sistemas são particularmente relevantes, pois possibilitam a dispersão eficaz de agentes larvicidas em ambientes aquáticos, etapa essencial do ciclo de vida do *Aedes aegypti*.

Os sistemas de liberação controlada baseados em nanopartículas visam otimizar a biodisponibilidade dos compostos ativos, prolongar o tempo de ação e reduzir a necessidade de reaplicações frequentes. Além disso, esses sistemas podem minimizar a toxicidade para organismos não alvo, uma vez que permitem o uso de menores concentrações efetivas e promovem uma liberação gradual do agente larvicida (Mitchell et al., 2021). Essa abordagem representa um avanço significativo frente aos inseticidas de ação imediata, que frequentemente apresentam baixa seletividade ecológica.

Diversos estudos demonstram que nanopartículas poliméricas são especialmente adequadas para aplicações ambientais e sanitárias, devido à sua biodegradabilidade e menor impacto ecotoxicológico quando comparadas a nanopartículas metálicas ou inorgânicas (Najahi-Missaoui et al., 2021). No controle do *Aedes aegypti*, essas nanopartículas podem atuar tanto na mortalidade larval quanto na interferência de processos comportamentais, como a oviposição, ampliando o espectro de ação das formulações.

Adicionalmente, a nanotecnologia aplicada ao controle vetorial alinha-se aos princípios da sustentabilidade e da química verde, ao possibilitar a incorporação de compostos naturais e renováveis em matrizes nanoestruturadas. Dessa forma, o uso de sistemas de liberação

controlada baseados em nanopartículas representa uma estratégia integrada que articula avanços tecnológicos, proteção ambiental e promoção da saúde pública, configurando-se como uma abordagem inovadora e necessária frente aos desafios contemporâneos impostos pelas arboviroses.

### 3.2 FIBROÍNA DE SEDA COMO BIOMATERIAL PARA NANOPARTÍCULAS E SISTEMAS DE ENTREGA DE COMPOSTOS BIOATIVOS

A fibroína de seda é uma proteína fibrosa natural extraída principalmente do casulo do bicho-da-seda (*Bombyx mori*), amplamente estudada e aplicada como biomaterial devido às suas propriedades físico-químicas e biológicas singulares. Sua estrutura molecular é composta majoritariamente por sequências repetitivas de aminoácidos, com predominância de glicina, alanina e serina, que conferem elevada estabilidade estrutural, resistência mecânica e flexibilidade conformacional (Qi et al., 2017; Li et al., 2023).

Uma das principais vantagens da fibroína de seda enquanto biomaterial é sua elevada biocompatibilidade associada à biodegradabilidade controlada, características que justificam sua aprovação pela Food and Drug Administration (FDA) para aplicações médicas. Além disso, a fibroína apresenta baixa imunogenicidade e reduzido potencial alergênico, o que amplia sua segurança para aplicações que envolvem contato com sistemas biológicos e ambientais (Ma et al., 2020).

Do ponto de vista tecnológico, a fibroína de seda pode ser processada em diferentes formas estruturais, incluindo filmes, hidrogéis, microesferas e nanopartículas. A obtenção de nanopartículas de fibroína de seda é particularmente relevante para sistemas de entrega de compostos bioativos, pois permite o encapsulamento de substâncias hidrofóbicas e hidrofílicas, protegendo-as da degradação e promovendo liberação controlada (Wang et al., 2022). Essa versatilidade decorre da presença de grupos funcionais reativos na cadeia proteica, que possibilitam interações físico-químicas com uma ampla variedade de compostos.

No contexto dos sistemas de entrega, nanopartículas de fibroína de seda têm demonstrado elevada eficiência na veiculação de fármacos, antioxidantes, agentes anti-inflamatórios e compostos naturais, com melhora significativa da estabilidade e do desempenho biológico dos princípios ativos (Guo et al., 2024). Essas propriedades tornam a fibroína uma matriz estratégica para aplicações além da área biomédica, incluindo o desenvolvimento de biopesticidas e agentes larvicidas.

Quando aplicadas ao controle do *Aedes aegypti*, as nanopartículas de fibroína de seda apresentam vantagens adicionais, como a capacidade de dispersão em meio aquoso,

compatibilidade ambiental e potencial redução da toxicidade para organismos não alvo. Além disso, a fibroína atua como um carreador eficiente para compostos lipofílicos, como óleos vegetais e seus derivados, superando limitações relacionadas à baixa solubilidade e instabilidade desses agentes em ambientes aquáticos (Sarquis et al., 2020).

A fibroína de seda consolida-se como um biomaterial promissor para a formulação de nanopartículas destinadas a sistemas de liberação controlada de compostos bioativos, reunindo propriedades estruturais, biológicas e ambientais que sustentam sua aplicação no desenvolvimento de estratégias inovadoras e sustentáveis para o controle de vetores de importância em saúde pública.

### 3.3 ÓLEOS AMAZÔNICOS COMO FONTES DE COMPOSTOS BIOATIVOS COM POTENCIAL LARVICIDA

A região amazônica é reconhecida mundialmente pela sua excepcional biodiversidade, que inclui um vasto repertório de espécies vegetais produtoras de óleos fixos com potencial bioativo. Óleos vegetais derivados de sementes e frutos de espécies como *Carapa guianensis* (andiroba), *Astrocaryum murumuru* (murumuru) e *Bertholletia excelsa* (castanha-da-Amazônia) têm sido objeto de interesse crescente em pesquisas entomológicas e fitoquímicas devido à composição rica em ácidos graxos insaturados, lactonas e metabolitos secundários com atividades biológicas diversas, incluindo ação larvicida e repelente (Lima; Pauletto, 2021; Marinho et al., 2022).

Do ponto de vista químico, os óleos vegetais amazônicos são constituídos principalmente por triglicerídeos de ácidos graxos como ácido oleico (C18:1), ácido linoleico (C18:2) e ácido palmítico (C16:0), além de compostos menores com propriedades farmacológicas e toxicológicas. Essas moléculas são responsáveis por mecanismos de ação variados, que podem incluir desestabilização de membranas celulares, inibição de enzimas essenciais e interferência no processo respiratório das larvas de insetos (Silva et al., 2018; De Melo et al., 2020). Tais características sustentam a investigação de fracionamentos e derivados desses óleos como alternativas naturais aos inseticidas químicos convencionais.

Especificamente, o óleo de *Carapa guianensis* tem sido amplamente estudado por suas propriedades inseticidas e repelentes. Compostos como andirobina, gedunina e outros limonoides presentes nesse óleo exibem atividade significativa contra diversas espécies de insetos, incluindo o *Aedes aegypti* em diferentes estágios de desenvolvimento (Silva et al., 2018; Sarquis et al., 2020). Essa atividade está correlacionada não apenas com a composição

química geral, mas também com a interação sinérgica entre seus constituintes, o que justifica a investigação detalhada de frações e ésteres derivados.

O óleo de *Astrocaryum murumuru*, extraído da semente do murumuru, apresenta uma alta proporção de ácido láurico (C12:0) e outros ácidos graxos de cadeia média que têm sido associados a efeitos disruptivos sobre processos fisiológicos de larvas de mosquitos. Estudos demonstraram que fracionamentos ricos em ésteres de ácido láurico podem apresentar ação larvicida mais acentuada do que o óleo bruto, indicando a importância da definição da composição de ésteres na eficácia biológica (Marinho et al., 2022).

Adicionalmente, o óleo de *Bertholletia excelsa* é composto por uma mistura complexa de ácidos graxos, incluindo ácido oleico e ácido linoleico em proporções significativas, que têm demonstrado ação repelente e toxicológica em diferentes modelos experimentais com insetos. Alguns estudos também exploram atividades antioxidantes e anti-inflamatórias desses extratos, sugerindo potencial uso multifuncional em formulações que visem minimizar impactos ambientais e riscos à saúde humana (Gomes et al., 2021).

Apesar dos resultados promissores, a aplicação direta desses óleos em ambientes aquáticos enfrenta desafios técnicos importantes. A baixa solubilidade em meio aquoso, a tendência à formação de filmes superficiais e a degradação rápida reduzem a eficácia larvicida prática. Além disso, a variabilidade da composição química em função da origem geográfica, sazonalidade e métodos de extração pode impactar a reprodutibilidade dos resultados biológicos (Lima; Pauletto, 2021; De Melo et al., 2020). Essas limitações reforçam a necessidade de estratégias de formulação que permitam maior estabilidade, melhor dispersão e controle de liberação dos compostos bioativos nos ambientes de teste.

O estudo de óleos amazônicos como fontes de compostos bioativos com potencial larvicida não se restringe à simples avaliação de mortalidade larval, mas também envolve a caracterização química detalhada, a identificação de mecanismos de ação e o desenvolvimento de formulações que possam superar as limitações físico-químicas inerentes ao uso de óleos em sistemas aquosos. Essa abordagem integrada é essencial para avançar do ensaio in vitro para aplicações de campo e para maximizar a contribuição da biodiversidade amazônica em soluções sustentáveis para o controle do *Aedes aegypti*.

#### 3.4 NANOPARTÍCULAS DE FIBROÍNA DE SEDA ASSOCIADAS A ÓLEOS AMAZÔNICOS: ATIVIDADE LARVICIDA E EFEITOS NA OVIPOSIÇÃO DO *aedes aegypti*

A associação entre nanopartículas de fibroína de seda e óleos amazônicos representa uma estratégia inovadora no desenvolvimento de biolarvicidas, ao integrar um biomaterial biocompatível e biodegradável com compostos naturais de reconhecida atividade inseticida. Essa abordagem busca superar limitações físico-químicas dos óleos vegetais, como baixa solubilidade em meio aquoso e instabilidade ambiental, por meio da nanoencapsulação, possibilitando maior eficiência biológica e controle da liberação dos princípios ativos (Sarquis et al., 2020; Marinho et al., 2022).

Estudos recentes demonstram que nanopartículas de fibroína de seda funcionam como matrizes eficazes para o carreamento de óleos e derivados lipofílicos, promovendo melhor dispersão em ambientes aquáticos, condição essencial para o controle de larvas de *Aedes aegypti*. A nanoestruturação favorece o contato prolongado entre o agente larvicida e as larvas, aumentando a taxa de mortalidade mesmo em concentrações relativamente baixas, quando comparadas ao uso dos óleos em sua forma bruta (Marinho et al., 2023).

Sarquis et al. (2020) avaliaram a atividade larvicida de ésteres etílicos do óleo de *Carapa guianensis* associados à fibroína de seda, observando taxas expressivas de mortalidade larval e valores reduzidos de  $LC_{50}$  e  $LC_{90}$  após 24 e 48 horas de exposição. Os resultados indicaram que a nanoformulação potencializou a ação dos compostos bioativos, além de demonstrar estabilidade em meio aquoso e ausência de toxicidade significativa quando utilizada apenas a matriz de fibroína como controle negativo.

Resultados semelhantes foram reportados por Marinho et al. (2022), que investigaram nanopartículas de fibroína de seda associadas a diferentes ésteres graxos derivados da gordura de *Astrocaryum murumuru*. O estudo evidenciou que o comprimento da cadeia alquílica dos ésteres influencia diretamente a eficácia larvicida, sendo observadas taxas de mortalidade superiores a 90% em determinadas formulações após 48 horas. Esses achados reforçam a importância da modulação química dos compostos encapsulados para otimização da atividade biológica.

Além da mortalidade larval, estudos mais recentes ampliaram a avaliação biológica dessas nanoformulações para efeitos comportamentais, como a inibição da oviposição. Marinho et al. (2023) demonstraram que nanopartículas de fibroína de seda associadas a ésteres butílicos dos óleos de *Carapa guianensis* e *Bertholletia excelsa* reduziram significativamente a preferência das fêmeas grávidas de *Aedes aegypti* por locais de postura, quando comparadas aos grupos controle contendo apenas água ou solução de fibroína. Esse efeito sugere um potencial adicional dessas formulações como agentes repelentes ou desestimuladores reprodutivos.

A combinação da atividade larvicida com a interferência na oviposição amplia o espectro de ação das nanopartículas de fibroína associadas a óleos amazônicos, tornando-as ferramentas promissoras para estratégias integradas de controle vetorial. Ademais, ensaios de toxicidade em organismos não alvo, como embriões de *Danio rerio*, indicaram baixa toxicidade das nanoformulações nas concentrações efetivas, contrastando com os efeitos severos observados para inseticidas sintéticos convencionais (Marinho et al., 2023).

Os estudos analisados evidenciam que a associação entre fibroína de seda e óleos amazônicos potencializa a atividade larvicida, melhora a estabilidade das formulações e contribui para a redução de impactos ambientais, consolidando essa abordagem como uma alternativa sustentável e tecnicamente viável no controle do *Aedes aegypti*.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho caracteriza-se como uma pesquisa de natureza bibliográfica, com abordagem exploratória e descritiva, voltada à análise e sistematização da produção científica relacionada ao uso da fibroína de seda associada a óleos amazônicos no desenvolvimento de sistemas nanoestruturados para o controle do vetor *Aedes aegypti*. A opção por esse delineamento metodológico fundamenta-se na necessidade de compreender o estado do conhecimento sobre o tema, identificar tendências, lacunas e avanços científicos, bem como estabelecer uma base teórica consistente para a discussão dos resultados.

Logo, a pesquisa bibliográfica, conforme discutido por Lakatos e Marconi (2003), não se limita à simples reprodução de conhecimentos previamente estabelecidos, mas permite ao pesquisador reinterpretar e reorganizar informações sob novas perspectivas, ampliando a compreensão do fenômeno investigado. Nesse sentido, o estudo buscou examinar criticamente a literatura existente, articulando conhecimentos das áreas de química, nanotecnologia, biomateriais e saúde pública. De forma complementar, Gil (2002) destaca que a pesquisa bibliográfica é elaborada a partir de materiais já publicados, como livros, artigos científicos e documentos eletrônicos, o que possibilita acesso a um conjunto amplo e diversificado de informações relevantes.

### 4.1 PROCEDIMENTO DE COLETA DE DADOS

A coleta de dados foi realizada por meio da consulta a bases de dados científicas reconhecidas, incluindo ScienceDirect, PubMed, Google Acadêmico e SciELO, selecionadas por sua abrangência e relevância nas áreas de ciências da saúde, química e tecnologia. A busca concentrou-se principalmente em artigos científicos revisados por pares, capítulos de livros e publicações técnicas que abordassem a intersecção entre nanotecnologia, biomateriais e controle de vetores, com ênfase em estudos que investigassem sistemas de liberação controlada e o uso de compostos naturais com atividade larvicida.

A análise bibliométrica foi realizada com base na quantificação e organização das publicações selecionadas, considerando indicadores como evolução temporal das publicações, distribuição institucional, áreas de conhecimento e recorrência de autores. Os dados foram organizados manualmente em planilhas eletrônicas a partir das informações disponíveis nas bases de dados consultadas. Posteriormente, realizou-se a categorização dos estudos conforme critérios temáticos previamente definidos, permitindo a construção de gráficos e a identificação de tendências científicas relacionadas ao uso da fibroína de seda e sua associação com compostos bioativos de origem amazônica. O recorte temporal adotado

priorizou publicações dos últimos quinze anos, período que contempla avanços significativos no desenvolvimento de biomateriais e técnicas de nanoencapsulação. Contudo, obras clássicas e referências fundamentais para a compreensão dos conceitos de polímeros naturais, fibroína de seda e processos de obtenção de óleos vegetais também foram consideradas, sempre que necessárias para o embasamento teórico do estudo. Essa estratégia permitiu equilibrar atualidade científica e fundamentação conceitual sólida.

#### 4.2 CRITÉRIOS DE SELEÇÃO E ANÁLISE

A estratégia de busca foi realizada por meio da utilização de descritores previamente definidos, combinados com operadores booleanos (AND e OR), visando ampliar a abrangência e a precisão dos resultados. As principais palavras-chave utilizadas foram: “silk fibroin nanoparticles”, “fibroína de seda”, “nanopartículas de fibroína”, “*Aedes aegypti*”, “larvicidal activity”, “controle vetorial”, “Amazonian oils”, “óleos amazônicos”, “andiroba”, “murumuru” e “castanha-da-Amazônia”.

As buscas foram conduzidas nas bases de dados ScienceDirect, PubMed, Google Acadêmico e SciELO. A partir dessa estratégia, foram inicialmente identificados 58 trabalhos científicos relacionados à temática da fibroína de seda e suas aplicações em nanotecnologia e controle de vetores.

Após a aplicação dos critérios de inclusão — como relevância temática, presença de dados experimentais, relação com nanopartículas e disponibilidade do texto completo — e exclusão — como duplicidade, baixa aderência ao tema e estudos fora do escopo — foram selecionados 12 artigos para análise detalhada.

Dentre esses, 4 estudos abordaram diretamente a aplicação de nanopartículas de fibroína de seda associadas a óleos amazônicos no controle do *Aedes aegypti*, constituindo o núcleo principal da discussão deste trabalho. Os demais estudos foram utilizados como suporte teórico para fundamentação sobre propriedades da fibroína de seda, nanotecnologia e atividade larvicida de compostos naturais.

Depois da seleção, os materiais foram submetidos a uma leitura analítica e interpretativa, com organização das informações de acordo com eixos temáticos relacionados ao potencial dos óleos amazônicos, às propriedades da fibroína de seda como sistema de entrega e à eficácia das formulações nanoestruturadas nos ensaios biológicos descritos na literatura. Essa etapa permitiu a comparação crítica dos resultados apresentados pelos diferentes autores, bem como a identificação de convergências, divergências e lacunas de pesquisa, contribuindo para a construção de uma análise integrada e coerente com os objetivos propostos.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos a partir da análise bibliométrica permitiram uma leitura sistemática e aprofundada da produção científica relacionada ao uso da fibroína de seda associada a óleos vegetais no desenvolvimento de sistemas nanoestruturados aplicados ao controle do *Aedes aegypti*. A adoção dessa abordagem mostrou-se metodologicamente adequada, uma vez que possibilitou a organização quantitativa dos dados, a identificação de padrões recorrentes e a interpretação crítica das tendências científicas emergentes no campo da nanotecnologia aplicada à saúde pública.

Os resultados apresentados neste estudo são sustentados por evidências experimentais reportadas na literatura recente, especialmente por pesquisas que investigam a associação entre nanopartículas de fibroína de seda e compostos bioativos de origem vegetal. Estudos conduzidos por Sarquis et al. (2020) demonstraram que a incorporação de ésteres etílicos do óleo de *Carapa guianensis* em nanopartículas de fibroína promove aumento significativo da atividade larvicida, com redução dos valores de LC<sub>50</sub> após 48 horas de exposição.

**Tabela 1.** Valores de LC<sub>50</sub> e LC<sub>90</sub> para *Aedes aegypti* em contato com as formulações.

Formulações	24 h		48 h		Autor/Ano
	LC <sub>50</sub> (µg.mL <sup>-1</sup> )	LC <sub>90</sub> (µg.mL <sup>-1</sup> )	LC <sub>50</sub> (µg.mL <sup>-1</sup> )	LC <sub>90</sub> (µg.mL <sup>-1</sup> )	
FAEE 1-FS	212.33	93.73	129.45	94.27	Sarquis et al. (2020)
FAEE 2-FS	94.45	47.11	16.79	38.30	Sarquis et al. (2020)
FAEE-FS	45.42	83.56	21.28	41.26	Marinho et al. (2022)
FAPE-FS	40.29	64.69	31.28	57.02	Marinho et al. (2022)
FABE-FS	32.00	65.61	21.35	45.52	Marinho et al. (2022)
FABE-Cg-FS-NPs	40.88	68.22	27.45	51.87	Marinho et al. (2023)
FABE-Be-FS-NPs	52.99	95.57	21.14	41.11	Marinho et al. (2023)
E. Hexânico	23.2	39.98	5.45	16.43	Araújo et al. (2020)
E. Hidroetanólico	28.42	63.45	9.53	28.70	Araújo et al. (2020)
E. Metanólico	39.67	63.34	28.16	44.40	Araújo et al. (2020)

Fonte: Elaborado pelo autor, a partir de Sarquis et al. (2020); Marinho et al. (2022; 2023); Araújo et al. (2020).

De forma complementar, Marinho et al. (2022) observaram que nanopartículas de fibroína associadas a ésteres graxos derivados de *Astrocaryum murumuru* apresentaram taxas de mortalidade superiores a 90%, evidenciando elevada eficiência larvicida em concentrações reduzidas. Esses resultados indicam que a modificação estrutural dos

compostos lipídicos influencia diretamente a atividade biológica das formulações.

Adicionalmente, Marinho et al. (2023) demonstraram que nanopartículas contendo ésteres butílicos dos óleos de *Carapa guianensis* e *Bertholletia excelsa* foram capazes de promover elevada mortalidade larval, além de reduzir significativamente a oviposição, indicando efeito simultâneo sobre o ciclo reprodutivo do vetor. Esse comportamento foi observado pela diminuição expressiva da preferência das fêmeas por ambientes tratados, quando comparados aos grupos controle.

**Tabela 2.** Efeitos de nanopartículas de fibroína de seda (FABE-Be-SF-NPs e FABE-Cg-SF-NPs) na ação de oviposição de fêmeas de *Ae. aegypti*.

	AO (%) Water	AO (%) Silk Fibroin 2%	AO (%) 100 µg.mL <sup>-1</sup>	AO (%) 50 µg.mL <sup>-1</sup>	AO (%) 25 µg.mL <sup>-1</sup>	P value
<b>FABE-Cg-SF-NPs</b>	39	25.3	6	11.1	14.6	p<0.0001
<b>FABE-Be-SF-NPs</b>	39	28.8	8	11.6	15.1	p<0.0001

AO = Atividade de oviposição.

Fonte: Marinho et al. (2023)

A Tabela 2 apresenta os efeitos das nanopartículas de fibroína de seda (FABE-Be-SF-NPs e FABE-Cg-SF-NPs) sobre a oviposição de fêmeas de *Aedes aegypti*. Observa-se que ambas as formulações promoveram redução expressiva na atividade de oviposição (AO) em comparação ao controle (água), evidenciando efeito significativo na inibição do comportamento reprodutivo do vetor.

Os resultados indicam que, à medida que a concentração das nanopartículas aumenta, ocorre uma diminuição acentuada da oviposição, com valores mínimos registrados nas maiores concentrações testadas (100 µg.mL<sup>-1</sup>). Esse comportamento sugere uma relação dose-dependente, em que maiores concentrações estão associadas a maior eficácia na inibição da postura de ovos.

Além disso, os valores de  $p$  ( $< 0,0001$ ) demonstram que as diferenças observadas são estatisticamente significativas, reforçando a eficiência das nanopartículas como agentes com potencial para o controle populacional de *Ae. aegypti*. Esses resultados corroboram a ação de compostos naturais veiculados em sistemas nanoestruturados, os quais podem interferir diretamente no comportamento reprodutivo do vetor.

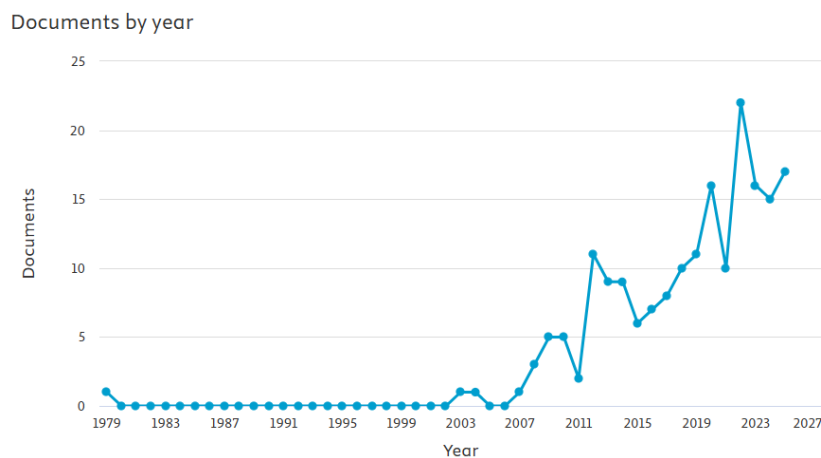
De maneira complementar, Araújo et al. (2020) também evidenciaram que compostos naturais solubilizados em fibroína de seda apresentam atividade larvicida relevante, reforçando o papel desse biomaterial como sistema eficiente de entrega de

compostos bioativos.

Assim, os estudos analisados convergem ao demonstrar que a nanoencapsulação em fibroína de seda melhora a estabilidade, a dispersão em meio aquoso e a eficiência dos compostos bioativos, potencializando sua ação larvicida e ampliando seu efeito sobre o comportamento do *Aedes aegypti*, o que corrobora os resultados observados neste trabalho .

A busca estruturada realizada em bases de dados científicas consolidadas, com o uso de descritores específicos e operadores booleanos, resultou em um conjunto representativo de publicações alinhadas ao escopo do estudo. Na figura 1, o recorte temporal adotado permitiu observar a evolução da produção científica ao longo dos anos, revelando um crescimento progressivo e estatisticamente significativo no número de artigos publicados, especialmente a partir da última década. Esse aumento pode ser interpretado como reflexo direto do avanço das pesquisas em nanotecnologia, bem como da intensificação dos desafios epidemiológicos associados às arboviroses transmitidas pelo *Aedes aegypti*.

**Figura 1.** evolução temporal da produção científica sobre fibroína de seda no Brasil (1979-2025)



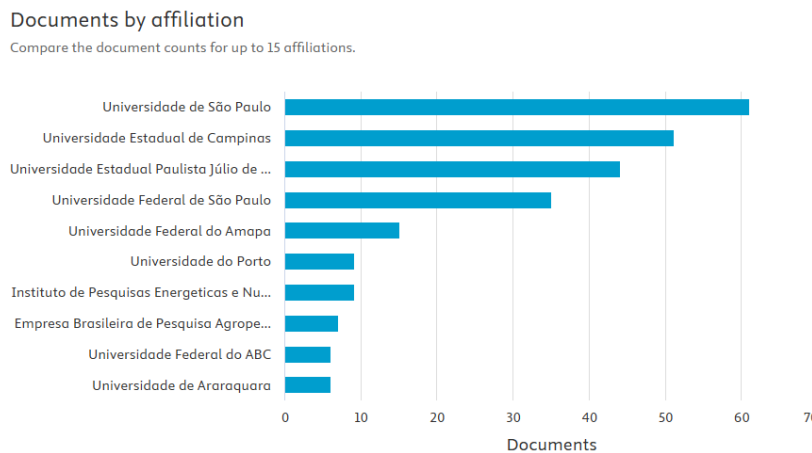
Fonte: O autor

A tendência de crescimento observada não se limita a um aumento numérico isolado, mas indica um processo de consolidação científica do tema. O aumento da frequência de publicações em anos recentes sugere que a associação entre biomateriais e compostos naturais tem se firmado como uma linha de pesquisa estratégica, impulsionada tanto pela necessidade de alternativas aos inseticidas sintéticos quanto pelo amadurecimento das técnicas de nanoencapsulação. Sob uma perspectiva estatística, esse comportamento indica que o campo se encontra em expansão, com ampliação do número de pesquisadores,

instituições envolvidas e diversidade metodológica.

A análise da distribuição institucional das publicações evidencia a predominância de universidades e centros de pesquisa públicos, com destaque para instituições localizadas em países tropicais. No contexto brasileiro, observa-se uma participação expressiva de universidades situadas na região amazônica, como a Universidade Federal do Amapá (UNIFAP), o que pode ser associado à disponibilidade de recursos naturais e à relevância epidemiológica das arboviroses na região. Esse dado revela não apenas uma concentração geográfica da produção científica, mas também uma articulação entre pesquisa acadêmica e demandas sociais locais.

**Figura 2.** Ranking das universidades brasileiras com maior volume de publicações sobre fibroína de seda



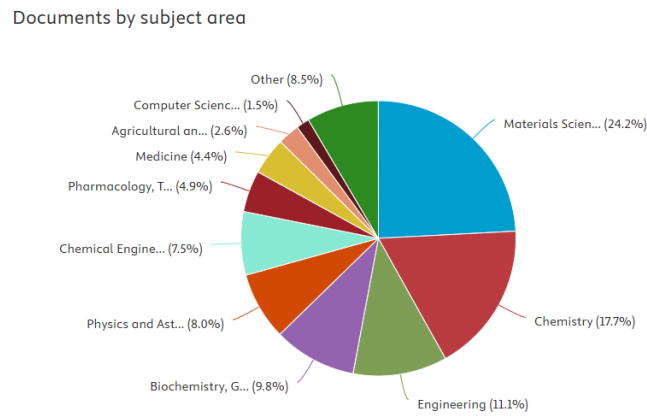
Fonte: O autor

Do ponto de vista analítico, a presença destacada de instituições amazônicas reforça a coerência do enfoque adotado neste estudo, que integra nanotecnologia, química e biodiversidade regional. A valorização de óleos vegetais amazônicos como fontes de compostos bioativos reflete uma tendência de alinhamento entre inovação tecnológica e sustentabilidade, aspecto cada vez mais exigido em pesquisas voltadas à saúde pública.

A análise temática das publicações evidencia uma concentração significativa de estudos voltados ao desenvolvimento de nanopartículas poliméricas e biomateriais para sistemas de liberação controlada. Nesse contexto, a fibroína de seda destaca-se como um biomaterial recorrente, em razão de suas propriedades físico-químicas favoráveis, como biocompatibilidade, biodegradabilidade e versatilidade estrutural. A frequência com que esse material aparece na literatura analisada confirma sua relevância como sistema de

entrega de compostos bioativos, atendendo diretamente a um dos objetivos específicos deste trabalho.

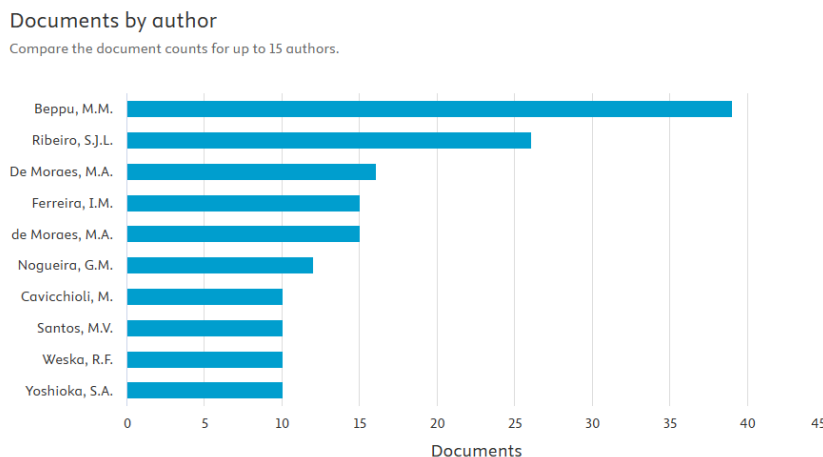
**Figura 3.** Distribuição percentual das publicações sobre fibroína de seda por área de conhecimento



Fonte: O autor

Por outro lado, observa-se um número expressivo de estudos dedicados à investigação de óleos vegetais como agentes larvicidas naturais, com destaque para espécies amazônicas. Os resultados indicam que, embora esses óleos apresentem atividade biológica relevante, seu uso isolado é limitado por fatores como baixa solubilidade em meio aquoso e instabilidade ambiental. A literatura analisada demonstra que a associação desses óleos a nanopartículas de fibroína de seda promove melhorias significativas na eficiência larvicida, indicando um efeito sinérgico entre o biomaterial e os compostos bioativos encapsulados.

**Figura 4.** Autores com maior número de publicações científicas sobre fibroína de seda vinculados a instituições brasileiras



Fonte: O autor

A Figura 4 evidencia os autores com maior número de publicações científicas relacionadas à fibroína de seda no contexto das instituições brasileiras. Observa-se uma distribuição assimétrica da produção científica, caracterizada pela concentração de publicações em um número reduzido de pesquisadores, enquanto a maioria dos autores apresenta quantitativos mais modestos de trabalhos publicados.

Esse padrão é recorrente em áreas científicas emergentes e altamente especializadas, como a pesquisa envolvendo nanopartículas de fibroína de seda, indicando a existência de grupos consolidados de pesquisa que atuam como polos de desenvolvimento científico e tecnológico. Os autores com maior número de publicações provavelmente estão vinculados a programas de pós-graduação bem estruturados, com acesso a financiamento, infraestrutura laboratorial adequada e redes de colaboração nacionais e internacionais.

A predominância desses pesquisadores sugere que eles exercem papel central na consolidação do conhecimento sobre a fibroína de seda no Brasil, especialmente no que se refere às suas aplicações em nanotecnologia, liberação controlada de fármacos, adsorção de corantes e biomateriais. Além disso, a recorrência de seus nomes na literatura indica continuidade das linhas de pesquisa, o que contribui para o aprofundamento metodológico e para a evolução das abordagens experimentais descritas nos estudos.

Por outro lado, a presença de diversos autores com menor número de publicações demonstra que o tema vem despertando interesse crescente em diferentes instituições brasileiras, ainda que muitos desses trabalhos estejam em estágios iniciais de investigação. Esse cenário reflete a expansão gradual do campo, com a incorporação de novos pesquisadores e grupos de pesquisa, o que tende a favorecer a diversificação de aplicações da fibroína de seda e o surgimento de abordagens interdisciplinares.

No contexto específico das nanopartículas de fibroína de seda, esses resultados reforçam que o Brasil possui produção científica relevante e em crescimento, embora ainda concentrada em determinados núcleos acadêmicos. Tal concentração pode ser interpretada tanto como um indicativo de excelência desses grupos quanto como uma oportunidade para a ampliação de colaborações interinstitucionais, visando à descentralização do conhecimento e ao fortalecimento da pesquisa nacional.

Assim, os dados apresentados corroboram a relevância científica da fibroína de seda como biomaterial promissor e evidenciam que os avanços recentes na área são impulsionados, principalmente, por autores-chave e instituições de referência, que desempenham papel fundamental no desenvolvimento e na difusão desse campo de pesquisa no Brasil.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo analisar, por meio de uma abordagem bibliométrica, a produção científica relacionada ao uso da fibroína de seda associada a óleos vegetais no desenvolvimento de sistemas nanoestruturados aplicados ao controle do *Aedes aegypti*. A partir dos resultados obtidos, foi possível compreender de forma sistemática a evolução, a organização e as principais tendências da pesquisa científica nesse campo interdisciplinar, que integra nanotecnologia, biomateriais e saúde pública.

A análise evidenciou um crescimento progressivo da produção científica ao longo das últimas décadas, especialmente a partir dos anos mais recentes, indicando a consolidação da fibroína de seda como biomaterial de interesse estratégico em aplicações biotecnológicas. Esse avanço acompanha tanto o desenvolvimento das técnicas de nanoencapsulação quanto a necessidade crescente de alternativas sustentáveis aos inseticidas sintéticos tradicionalmente utilizados no controle vetorial.

Observou-se que a fibroína de seda apresenta destaque recorrente na literatura científica devido às suas propriedades físico-químicas favoráveis, como biocompatibilidade, biodegradabilidade, estabilidade estrutural e versatilidade funcional. Tais características justificam sua ampla aplicação em sistemas de liberação controlada, favorecendo a proteção e o aumento da eficiência de compostos bioativos, incluindo óleos vegetais com potencial larvicida.

Os resultados também demonstraram que os óleos vegetais, particularmente aqueles provenientes da biodiversidade amazônica, constituem alternativas promissoras no controle do *Aedes aegypti*, embora apresentem limitações relacionadas à baixa estabilidade e solubilidade quando utilizados isoladamente. Nesse contexto, a associação com nanopartículas de fibroína de seda surge como estratégia tecnológica capaz de potencializar a atividade biológica desses compostos, promovendo maior estabilidade, liberação controlada e aumento da eficiência larvicida.

Do ponto de vista institucional, verificou-se predominância de universidades públicas e centros de pesquisa situados em regiões tropicais, com participação relevante de instituições brasileiras, incluindo aquelas localizadas na região amazônica. Esse cenário evidencia a relação direta entre produção científica e demandas epidemiológicas regionais, além de reforçar o papel estratégico da pesquisa nacional na busca por soluções sustentáveis voltadas à saúde pública.

A análise da autoria científica revelou ainda a existência de grupos consolidados responsáveis por parcela significativa das publicações, característica comum em áreas

emergentes e altamente especializadas. Ao mesmo tempo, a presença crescente de novos pesquisadores indica expansão gradual do campo, favorecendo a diversificação temática e o fortalecimento de abordagens interdisciplinares.

Assim, conclui-se que a literatura científica analisada sustenta o potencial da fibroína de seda associada a óleos vegetais como abordagem inovadora, sustentável e cientificamente fundamentada para o controle do *Aedes aegypti*, evidenciando a relevância e atualidade do tema investigado neste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, R. S. et al. **Larvicidal activity of *Acmella oleracea* extracts solubilized in silk fibroin against *Aedes aegypti***. *Journal of Applied Entomology*, v. 144, n. 7, p. 523–531, 2020.
- BALDACCHINO, F. et al. **Control methods against invasive *Aedes* mosquitoes in Europe: a review**. *Pest Management Science*, v. 71, n. 11, p. 1471–1485, 2015.
- BENELLI, G.; MEHLHORN, H. **Declining malaria, rising dengue and Zika virus: insights for mosquito vector control**. *Parasitology Research*, v. 115, n. 5, p. 1747–1754, 2016.
- DE MELO, D. B. et al. **Atividade larvicida de óleos vegetais amazônicos contra *Aedes aegypti***. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, v. 22, p. 45–53, 2020.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- GOMES, F. R. et al. **Composição química e atividades biológicas de óleo de castanha-da-Amazônia (*Bertholletia excelsa*)**. *Journal of Natural Products*, v. 84, n. 11, p. 2903–2913, 2021.
- GUO, C. et al. **Silk fibroin-based biomaterials for advanced biomedical applications**. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 252, p. 126319, 2024.
- LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.
- LI, M. et al. **A comprehensive review on silk fibroin-based biomaterials: structure, properties and applications**. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 24, n. 4, p. 3561, 2023.
- LIMA, M. A. S.; PAULETTO, D. **Potencial larvicida do óleo de *Carapa guianensis* contra *Aedes aegypti***. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, v. 23, p. 875–884, 2021.
- MA, Y. et al. **Silk fibroin-based biomaterials for biomedical applications**. *Advanced Healthcare Materials*, v. 9, n. 5, e1901580, 2020.
- MARINHO, E. S. et al. **Larvicidal activity of fatty acid esters from *Astrocaryum murumuru* associated with silk fibroin nanoparticles against *Aedes aegypti***. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 10, n. 3, p. 107467, 2022.
- MARINHO, E. S. et al. **Silk fibroin nanoparticles combined with Amazonian oils: larvicidal activity and oviposition deterrence against *Aedes aegypti***. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 30, p. 112345–112360, 2023.
- MITCHELL, M. J. et al. **Engineering precision nanoparticles for drug delivery**. *Nature Reviews Drug Discovery*, v. 20, p. 101–124, 2021.
- NAJAH-MISSAOUI, W. et al. **Nanoparticles for drug delivery: overview and perspectives**. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, v. 61, p. 102–111, 2021.

SARQUIS, R. S. et al. **Larvicidal activity of fatty acid ethyl esters from *Carapa guianensis* oil associated with silk fibroin against *Aedes aegypti*.** *Journal of Applied Entomology*, v. 144, n. 9, p. 700–709, 2020.

PELAZ, B. et al. **Diverse applications of nanomedicine.** *ACS Nano*, v. 11, n. 3, p. 2313–2381, 2017.

QI, Y. et al. **Silk fibroin-based biomaterials.** *International Journal of Molecular Sciences*, v. 18, n. 3, p. 237, 2017.

WANG, Y. et al. **Structure–property relationships of silk fibroin-based materials.** *Materials Science and Engineering C*, v. 131, p. 112520, 2022.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Global vector control response 2017–2030: progress report.** Geneva: WHO, 2023.

ZARA, A. L. S. A. et al. **Estratégias de controle do *Aedes aegypti*: desafios e perspectivas.** *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, v. 25, n. 2, p. 391–404, 2016.