



**UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA SAÚDE**  
**PAULA FASSICOLO VARIZA**

**ECOEPIDEMIOLOGIA DO *Aedes (Stegomyia) aegypti* (Linnaeus, 1762) e *Aedes (Stegomyia) albopictus* (Skuse, 1894) (DIPTERA: CULICIDAE) NO BRASIL**

Tubarão

2022

**PAULA FASSICOLO VARIZA**

**ECOEPIDEMIOLOGIA DO *Aedes (Stegomyia) aegypti* (Linnaeus, 1762) e *Aedes (Stegomyia) albopictus* (Skuse, 1894) (DIPTERA: CULICIDAE) NO BRASIL**

**LINHA DE PESQUISA: Investigação de agravos à saúde de origem infecciosa**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde para obtenção do título de Doutora em Ciências da Saúde.

Orientadora: Profa. Josiane Somariva Prophiro, Dra.

Coorientadora: Profa. Camila Lorenz, Dra.

Tubarão

2022

V43 Variza, Paula Fassicolo, 1988 -  
Ecoepidemiologia do Aedes (Stegomyia) aegypti (Linnaeus, 1762) e  
Aedes (Stegomyia) albopictus (Skuse, 1894) (Diptera: Culicidae) no  
Brasil / Paula Fassicolo Variza. – 2022.  
42 f. : il. color. ; 30 cm

Tese (Doutorado) – Universidade do Sul de Santa Catarina, Pós-  
graduação em Ciências da Saúde.

Orientação: Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Josiane Somariva Prophiro

Coorientadora: Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Camila Lorenz

1. Ecoepidemiologia. 2. Arboviroses. 3. Vetores de doença - Controle.  
4. Aedes aegypti. 5. Aedes albopictus. I. Prophiro, Josiane Somariva. II.  
Lorenz, Camila. III. Universidade do Sul de Santa Catarina. IV. Título.

CDD (21. ed.) 614.4323

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA SAÚDE - DOUTORADO**

Título da Tese

Ecoepidemiologia de *Aedes (Stegomyia) aegypti* (Linnaeus, 1762) e *Aedes (Stegomyia) albopictus* (Skuse, 1894) (Diptera: Culicidae) no Brasil

**PAULA FASSICOLO VARIZA**

**AUTOR**

Aprovada pela Banca Avaliadora de Defesa da Tese em 24 de fevereiro de 2022.

Doutora Josiane Somariva Prophiro (Orientador) 

Doutora Flávia Virginio Fonseca (Avaliador externo - Instituto Butantan) – *presente por videoconferência*

Doutora Tamara Nunes de Lima Camara (Avaliador externo – FSP/USP) – *presente por videoconferência*

Doutora Betine Pinto Mochlecke Iser (Avaliador interno – PPGCS) – *presente por videoconferência*

Doutor Gabriel Oscar Cremona Parma (Avaliador interno - PPGCS) – *presente por videoconferência*



*Professor Doutor Jefferson Luiz Traibert*

**COORDENADOR DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA SAÚDE - UNISUL**

- **Unisul - Universidade do Sul de Santa Catarina, Sede, Reitoria** - Av. José Acácio Moreira, 787, Bairro Dehon - 88704-900, Tubarão, SC - Fone 48 3621.3000
- **Unisul Região Sul**
  - **Campus Tubarão** - Avenida José Acácio Moreira, 787, Bairro Dehon, Caixa Postal 370 - 88704-900, Tubarão, SC - Fone 48 3621.3000
  - **Campus Araranguá** - Rodovia Governador Jorge Lacerta, 3201, Bairro Urussanguinha - 88905-355, Araranguá, SC - Fone 0800 970 7000 - 48 3521-3000
  - **Campus Braço do Norte** - Rodovia SC 370, 1023, Rio Bonito - 88750-000, Braço do Norte, SC - Fone 0800 970 7000 - 48 3621-3925
  - **Campus Içara** - Rua Linha Três Ribeirões, Loteamento Centenário, 250, Bairro Liri - 88820-000, Içara, SC - Fone 0800 970 7000 - 48 3621-3460
- **Unisul Região Grande Florianópolis**
  - **Campus Pedra Branca** - Avenida Pedra Branca, 25, Cidade Universitária Pedra Branca, 88137-270, Palhoça, SC - Fone 48 3279.1000
  - **Campus Florianópolis** - Rua DIB Mussi, 366, Centro - 88015-110, Florianópolis, SC - Fone 48 3279.1000
    - Rua Trajano, 219, Centro - 88010-010, Florianópolis, SC - Fone 48 3279.1000
- **Campus Unisul Digital** - Av. Pedra Branca, 25 - Cidade Universitária Pedra Branca - 88137-900, Palhoça, SC - Fone 48 3279.1200

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente e de forma bem especial a toda a minha família por sempre ter me apoiado e ouvido as minhas lamentações. Minha mãe Rosana Fassicolo por sempre ter apoiado as minhas escolhas. Meu noivo Mateus Felipe Garcia pela compreensão, pela companhia em todos os momentos e por sempre estar presente dando apoio e atenção. A minha filha Júlia Fassicolo De Villa que nasceu no meio da minha jornada acadêmica e acabou sendo uma companheira fiel nas minhas atividades.

A minha orientadora Dra. Josiane Somariva Prophiro um agradecimento mais que especial pela ajuda, dedicação, paciência e pelas palavras de apoio e suporte que sempre davam aquela levantada quando estávamos com dificuldade ou achando que não íamos dar conta do recado. Sempre fez questão que nos lembrar o quanto somos capazes e que damos conta do recado sim.

A coorientadora Dra. Camila Lorenz por ter se disponibilizado e abraçado conosco essa jornada. Muito solícita e disposta a ajudar, sempre tendo muitas ideias e dando sugestões que enriqueceram o nosso trabalho.

Ao professor Dr. Sérgio Antônio Netto por sempre estar disposto a nos dar suporte e tirar dúvidas nos passando sempre uma energia boa, fazendo com que tudo fosse feito com leveza.

As colegas que se tornaram amigas Joice Guilherme Oliveira e Millena Fernandes me faltam palavras para dizer o quanto sou agradecida. Sempre dispostas a ajudar, desde o mestrado, e no doutorado estiveram ainda mais presentes. Não sei o que teria sido de mim sem vocês!

A todos os alunos de iniciação científica que fazem parte do Grupo de Imunoparasitologia, em especial aqueles que também me auxiliaram em diversos momentos Edenilson Osinski Francisco e Caroline Vieira.

E a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para esse trabalho fosse realizado. Muito obrigada!

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior-Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

## RESUMO

**Introdução:** O *Aedes aegypti* e o *Aedes albopictus* são vetores de diversas arbovirose como dengue, Zika e Chikungunya, e por isso, são insetos de grande preocupação para saúde pública. A melhor forma de prevenção é o controle populacional dos vetores, porém para se estabelecer métodos de controle adequados é necessário saber quais são os fatores que podem influenciar na sua disseminação.

**Objetivo:** Avaliar a distribuição temporal e espacial do *Aedes aegypti* e do *Aedes albopictus* no Brasil nos anos de 2015 a 2020, considerando dados epidemiológicos, aspectos ecológicos e fatores ambientais.

**Métodos:** Foram utilizados dados do índice de infestação predial (IIP) do *Ae. aegypti* e do *Ae. albopictus* no Brasil dos anos de 2015 a 2020 fornecidos pelo Ministério da Saúde. Mapas temáticos espaço-temporais da distribuição do *Ae. albopictus* e dos riscos de epidemias de dengue nos municípios brasileiros (levando em consideração o *Ae. aegypti* e o *Ae. albopictus*) foram construídos. Variáveis climáticas e ambientais foram selecionadas levando em consideração a biologia dos vetores.

**Resultados:** A presença do *Ae. albopictus* foi confirmada em 271 dos 1.820 municípios brasileiros amostrados (14,9%) em 2015, e em 728 dos 2.937 municípios amostrados (24,8%) em 2020. Considerando todo o território nacional, a infestação do *Ae. aegypti* no Brasil teve relação significativa com a precipitação, floresta, formação não florestal, agropecuária e área urbanizada e a infestação do *Ae. albopictus* teve relação significativa com a precipitação, temperatura e floresta.

**Conclusão:** O registro da distribuição do *Ae. albopictus* avançou nos estados e municípios brasileiros. Os índices IIP do *Ae. aegypti* e do *Ae. albopictus* para alto risco de epidemias de dengue foi mais elevado no ano de 2020 e as variáveis ambientais e climáticas analisadas demonstraram relação com a distribuição das espécies.

**Descritores:** Ecoepidemiologia, Arbovirose, Vetores, *Aedes aegypti*, *Aedes albopictus*.

## ABSTRACT

**Introduction:** *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* are vectors of several arboviruses such as dengue, Zika and Chikungunya, and therefore are insects of great concern for public health. The best way of prevention is population control of vectors, however, in order to establish adequate control methods, it is necessary to know which factors can influence their spread.

**Objective:** To evaluate the temporal and spatial distribution of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* in Brazil from 2015 to 2020, considering epidemiological data, ecological aspects and environmental factors.

**Methods:** Data on the building infestation index of *Ae. aegypti* and *Ae. albopictus* in Brazil, from 2015 to 2020, were used, which were provided by Ministry of Health. Thematic spatio-temporal maps of the distribution of *Ae. albopictus* and the risks of dengue epidemics in brazilian cities (taking into account *Ae. aegypti* and *Ae. albopictus*) were made. Climatic and environmental variables were selected considering the biology of the vectors.

**Results:** The presence of *Ae. albopictus* in 2015 was confirmed in 271 of the 1,820 sampled brazilian cities (14.9%), and in 728 of the 2,937 sampled cities (24.8%) in 2020. Considering all the national territory, the infestation of *Ae. aegypti* in Brazil had a significant correlation with precipitation, forest, non-forest formation, agriculture and urban areas, and *Ae. albopictus* had a significant correlation with precipitation, temperature and forest.

**Conclusion:** The records of distribution of *Ae. albopictus* advanced in brazilian states and cities. The building infestation index of *Ae. aegypti* and *Ae. albopictus* for high risk of dengue epidemics was higher in 2020, and the environmental and climatic variables analyzed showed a relationship with the distribution of species.

**Descriptors:** Epidemiology, Arboviruses, Vectors, *Aedes aegypti*, *Aedes albopictus*.

## LISTAS

### Lista de abreviaturas

*Ae.* – *Aedes*

DEN - Dengue

CHIK - Chikungunya

ZIK - Zika

DENV – vírus Dengue

CHIKV – vírus Chikungunya

ZIKV – vírus Zika

SIG – Sistema de Informações Geográficas

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MS – Ministério da Saúde

LIRAA - Levantamento Rápido de Índices para *Aedes aegypti*

IIP - Índice de Infestação Predial

### Lista de figuras

Figura 1 – Principais etapas da transmissão de um arbovirus demonstrando o ciclo no vetor e no hospedeiro.....	14
Figura 2 – Distribuição do <i>Aedes aegypti</i> no mundo.....	15
Figura 3 – Distribuição do <i>Aedes albopictus</i> no mundo.....	15
Figura 4 – Ciclo biológico <i>Ae. aegypti</i> e <i>Ae. Albopictus</i> .....	17
Figura 5 – Fêmea de <i>Ae. albopictus</i> e fêmea de <i>Ae. aegypti</i> adulto após a alimentação sanguínea (ingurgitada).....	18
Figura 6 – Mapa do Brasil mostrando as divisões em estados e regiões .....	24
Figura 7 – Desenho do estudo.....	27

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	10
1.1 REFERENCIAL TEÓRICO .....	11
1.1.1 Arboviroses .....	11
1.1.2 <i>Aedes aegypti</i> e <i>Aedes albopictus</i> .....	14
1.1.3 Métodos de controle.....	19
1.1.4 Ecoepidemiologia e o geoprocessamento.....	20
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	23
2.1 OBJETIVO GERAL .....	23
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	23
<b>3. MÉTODOS</b> .....	24
3.1 TIPO E ÁREA DE ESTUDO .....	24
3.2 COLETA DE DADOS.....	25
3.3 PROCESSAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS .....	26
3.4 ASPECTOS ÉTICOS .....	27
<b>4. ARTIGOS CIENTÍFICOS</b> .....	28
4.1 ARTIGO 1.....	28
4.2 ARTIGO 2.....	30
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	32
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	33
<b>ANEXO A - PRODUÇÃO CIENTÍFICA PUBLICADA DURANTE O PERÍODO DO DOUTORADO</b> .....	40

## 1. INTRODUÇÃO

Os culicídeos (Diptera: Culicidae) representam uma numerosa família que atualmente compreende 3.583 espécies identificadas<sup>1</sup>. Fazem parte dessa família espécies de importância médica, como as pertencentes aos gêneros *Anopheles*, *Culex* e *Aedes*. Os *Aedes* estão entre os principais vetores de importantes arbovírus como dengue, Zika e chikungunya, e apesar de séculos de esforços de controle, essas doenças estão avançando em todo o mundo, especialmente em países tropicais e subtropicais<sup>2</sup>. O principal vetor, o mosquito *Aedes (Stegomyia) aegypti* (Linnaeus, 1762), é uma espécie altamente antropofágica e cosmopolita<sup>3</sup>, com atividade hematofílica diurna e utiliza preferencialmente depósitos artificiais de água limpa para colocar os seus ovos<sup>4</sup>. O *Aedes (Stegomyia) albopictus* (Skuse, 1894) é uma espécie que também possui atividade diurna, porém apresenta preferência por depósitos naturais para colocar os ovos e tem uma tendência a se desenvolver em ambientes periurbanos e/ou rurais<sup>5</sup>.

A transmissão de arbovírus como Zika (ZIKV), chikungunya (CHIKV) e dengue (DENV) depende, com raras exceções, da presença de mosquitos competentes como *Ae. aegypti* e o *Ae. albopictus*. O *Ae. aegypti* está presente em diversas partes do mundo, incluindo o Brasil, que apresenta um clima tropical e subtropical considerado favorável para o desenvolvimento dessa espécie<sup>6</sup>. No Brasil, ele é considerado vetor principal no ciclo de transmissão desses arbovírus<sup>7</sup>. Por outro lado, o *Ae. albopictus* é considerado no Brasil como um vetor menos eficiente de arbovírus se comparado ao *Ae. Aegypti*, apesar disso, está se tornando um importante vetor devido a sua alta adaptabilidade e distribuição<sup>8</sup>.

Os sintomas clínicos da doença causada pelo ZIKV são relativamente leves, mas pode haver outros agravos associados à infecção, já que alguns países relataram aumento na incidência de casos de microcefalia e/ou síndrome de Guillain-Barré concomitantemente com a epidemia<sup>9</sup>. O CHIKV geralmente causa uma doença com sintomas leves, porém as dores articulares que é um sintoma recorrente da infecção por esse vírus, podem variar de intensidade podendo permanecer por longos períodos<sup>10</sup>. O DENV compreende quatro sorotipos distintos (DENV-1 a 4) intimamente relacionados, pertencentes ao gênero *Flavivirus*, e estes são transmitidos aos seres humanos através, principalmente, da picada de *Ae. aegypti* fêmeas infectadas<sup>11</sup>.

Atualmente, não existem vacinas eficientes disponíveis contra todas essas arboviroses. Assim, como medida protetiva primária, é realizado o controle populacional dos vetores que ocorre principalmente com a eliminação de criadouros e aplicação de inseticidas<sup>12</sup>. Existem também espécies de microrganismos, incluindo protozoários, fungos e bactérias, que têm sido amplamente estudadas por sua capacidade em influenciar na competência vetorial de mosquitos e reduzir sua habilidade de transmitir patógenos<sup>13</sup>. Como controlar a população de vetores é a melhor forma para minimizar a transmissão de arboviroses, conhecer os locais que apresentam condições para seu desenvolvimento pode servir como subsídio para novas e mais eficazes medidas de prevenção e controle. A distribuição dos mosquitos pode ser influenciada por diversos fatores, tanto ecológicos quanto ambientais, e descobrir como isso ocorre é fundamental para entender quais condições podem favorecer sua proliferação.

Portanto, o trabalho teve como intuito atualizar a distribuição do vetor *Ae. albopictus* no Brasil, além de comparar os níveis de infestação do *Ae. aegypti* e do *Ae. albopictus* e correlacionar a infestação com fatores climáticos e ambientais, para verificar que fatores podem estar relacionados com a disseminação dessas duas espécies, de forma a contribuir com informações que possam ser relevantes para auxiliar na diminuição de futuros casos de arboviroses na população.

## 1.1 REFERENCIAL TEÓRICO

### 1.1.1 Arboviroses

Doenças causadas por diferentes espécies de vírus que são transmitidos por artrópodes são conhecidas como arboviroses, portanto ZIK, CHIK e DEN, que são transmitidas por meio da picada de mosquitos do gênero *Aedes* infectados, se enquadram nesse grupo. ZIKV pertencente ao gênero *Flavivirus* e foi identificado pela primeira vez em macacos na Uganda, em 1947. Posteriormente, foi identificado em humanos na Uganda e República Unida da Tanzânia, em 1954<sup>14</sup>. Até julho/2021 haviam sido registrados surtos dessa doença na África, nas Américas, na Ásia e no Pacífico<sup>15</sup>. Do ano de 2007 até o mês de fevereiro de 2016, a transmissão do ZIKV foi registrada em 44 países e/ou territórios, e 33 destes registraram a circulação autóctone do vírus entre janeiro de 2014 e fevereiro de 2016. Há também evidência indireta de transmissão local em seis países adicionais<sup>16</sup>. No final de 2014, o Brasil detectou uma doença febril

relacionada ao ZIKV na região Nordeste, que foi confirmada em abril de 2015. Em outubro de 2015, o estado da Bahia no nordeste do Brasil informou 56.318 casos suspeitos de infecção pelo ZIKV<sup>17</sup>. Autoridades nacionais brasileiras estimam que entre 497.593 e 1.482.701 casos de infecção pelo ZIKV ocorreram desde o início do surto. A transmissão autóctone no Brasil foi confirmada a partir de abril de 2015, onde 19 unidades da Federação confirmaram laboratorialmente a transmissão<sup>18</sup>. Em 2019, foram registrados 9.813 casos suspeitos no país, sendo que em gestantes foram notificados 1.649 casos, sendo 447 destes confirmados<sup>19</sup>. Em 2020, até a semana epidemiológica 18, foram notificados 2.545 casos com uma taxa de incidência de 1,2 casos a cada 100 mil habitantes<sup>20</sup>. Os principais sintomas da infecção pelo ZIKV são febre baixa, erupções cutâneas, dores de cabeça, artralgia, mialgia, astenia, e conjuntivite não purulenta, e estes sintomas podem durar entre dois e sete dias. Podem ocorrer casos assintomáticos e a manifestação clínica é muitas vezes semelhante a dengue. Atualmente não existe vacina disponível para o ZIKV, portanto, a melhor forma de prevenção é o controle dos mosquitos vetores<sup>14</sup>. Apesar da principal via de transmissão do ZIKV ser por meio da picada de mosquitos infectados, existe a possibilidade de infecção por outros meios como a transmissão vertical, transfusão sanguínea e por relações sexuais<sup>21-23</sup>. Apesar dos sintomas clínicos da doença serem relativamente leves, causa preocupação o relato de alguns países de um aumento na incidência de casos de microcefalia e/ou síndrome de Guillain-Barré concomitantemente a ocorrência de epidemias de ZIKV<sup>19</sup>.

O CHIKV pertence ao gênero *Alphavirus*, e foi descrito pela primeira vez durante um surto no sul da Tanzânia em 1952. A doença ocorre na África, Ásia e no subcontinente indiano. Nas últimas décadas, mosquitos vetores de CHIKV se espalharam para a Ásia, África, Europa e Américas onde a transmissão da doença tem sido registrada, e atualmente já foi identificada em mais de 60 países<sup>24</sup>. No Brasil, foram notificados 110.627 casos suspeitos de CHIK em 2019<sup>19</sup> e em 2020, até a semana epidemiológica 18, foram notificados 25.535 casos com uma taxa de incidência de 12,2 casos por 100 mil habitantes<sup>20</sup>. O CHIKV é transmitido de humano para humano pela picada de mosquitos fêmeas infectadas, comumente *Ae. aegypti* e *Ae. albopictus*. Os principais sintomas da CHIK aparecem geralmente entre 4 e 8 dias, mas pode variar de 2 a 12 dias após a picada de um mosquito infectado<sup>25</sup>. É caracterizada por um início abrupto de febre frequentemente acompanhada por dores nas articulações, dor muscular, dor de cabeça, náuseas, fadiga e erupção cutânea. A dor articular é frequentemente debilitante, geralmente ocorre por alguns dias ou até semanas. A maioria dos pacientes se recupera

totalmente, mas em alguns casos as dores nas articulações podem persistir por vários meses, ou mesmo anos<sup>26</sup>. Existem casos em que os sintomas em indivíduos infectados são leves e a infecção pode passar despercebida ou ser diagnosticada como dengue em áreas de maior ocorrência dessa doença. Não existe vacina e nenhum tratamento específico para pessoas infectadas por CHIKV<sup>25</sup>.

O DENV compreende quatro sorotipos distintos (DENV1 a 4) intimamente relacionados, pertencentes ao gênero *Flavivirus*, e estes são transmitidos aos seres humanos através da picada de mosquitos *Aedes* infectados, principalmente *Ae. aegypti* e a DEN é uma doença viral transmitida por mosquitos infectados que se dispersou rapidamente pelo mundo. Nos últimos 50 anos, a incidência aumentou 30 vezes com a expansão geográfica para novos países e, na presente década, das áreas urbanas para áreas rurais<sup>27,28</sup>. No Brasil foram registrados, no ano de 2018, 205.791 casos suspeitos de DEN, aumentando para 1.439.471 em 2019<sup>19</sup>. Em 2020, até a semana epidemiológica 18, foram registrados 676.928 casos prováveis de DEN no país com uma taxa de incidência de 322,1 casos a cada 100 mil habitantes<sup>20</sup>. A DEN é uma doença sistêmica e dinâmica, apresenta um amplo espectro clínico. Após o período de incubação, ela começa abruptamente e é seguida por três fases: febril, crítica e de recuperação<sup>29</sup>.

Devido ao fato dessas arboviroses serem transmitidas pelos mesmos vetores, *Ae. aegypti* e *Ae. albopictus*<sup>30</sup>, ainda existe a possibilidade de ocorrer infecções concomitantes com ZIKV, CHIKV e DENV<sup>15</sup>. A transmissão de um arbovírus é um processo complexo que necessita da interação entre os hospedeiros e os vetores da doença, que ocorre quando um mosquito adulto se alimenta de um hospedeiro infectado. Após o vírus se desenvolver no organismo do vetor, as partículas virais infecciosas se instalam nas suas glândulas salivares e, em uma alimentação sanguínea secundária, pode ter a capacidade de transmitir o vírus a outro hospedeiro. Para esse processo acontecer é necessário um vetor competente, que é aquele capaz de se infectar, transportar e transmitir vírus de um hospedeiro para outro<sup>31</sup> (Figura 1).

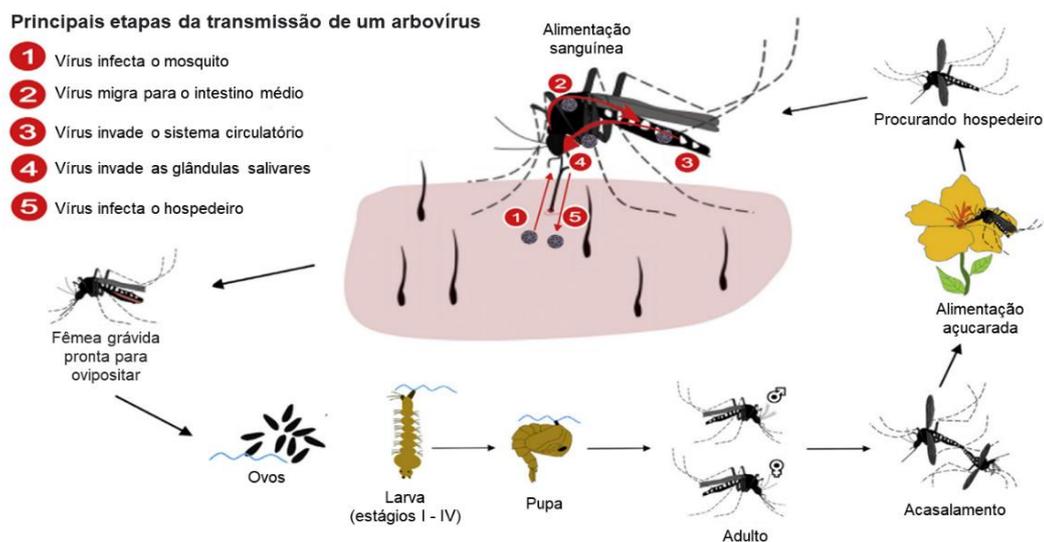


Figura 1 – Principais etapas da transmissão de um arbovírus demonstrando o ciclo no vetor e no hospedeiro.

Fonte: Trends in Parasitology (adaptado).

### 1.1.2 *Aedes aegypti* e *Aedes albopictus*

*Aedes aegypti*, popularmente conhecido como “mosquito da dengue”, é uma das espécies de mosquito de maior importância médica no mundo, não somente por sua capacidade e competência vetorial para transmitir o DENV, mas também por estar envolvida no ciclo de diversos outros arbovírus como o ZIKV e CHIKV<sup>32</sup>. É um mosquito que, por muitos anos, esteve geograficamente restrito ao continente africano, mas sua distribuição se expandiu e atualmente ele é encontrado em quase todos os continentes, com exceção da Antártica<sup>33</sup> (Figura 2).

*Aedes albopictus* é um mosquito de origem asiática conhecido popularmente como “tigre asiático” e atualmente, assim como o *Ae. aegypti*, já está presente em praticamente todos os continentes<sup>34,35</sup> (Figura 3). Ele é considerado, junto com o *Ae. aegypti*, uma das espécies de mosquitos mais invasoras em todo o mundo, e apesar de possuir originalmente hábitos mais silvestres, conseguiu se ajustar muito bem ao ambiente urbano em vários países europeus e asiáticos<sup>36,37</sup>. Os principais impulsionadores do aumento da expansão geográfica tanto do *Ae. aegypti* quanto do *Ae. albopictus* são a urbanização descontrolada e as mudanças no meio ambiente, incluindo mudanças climáticas<sup>5</sup>.

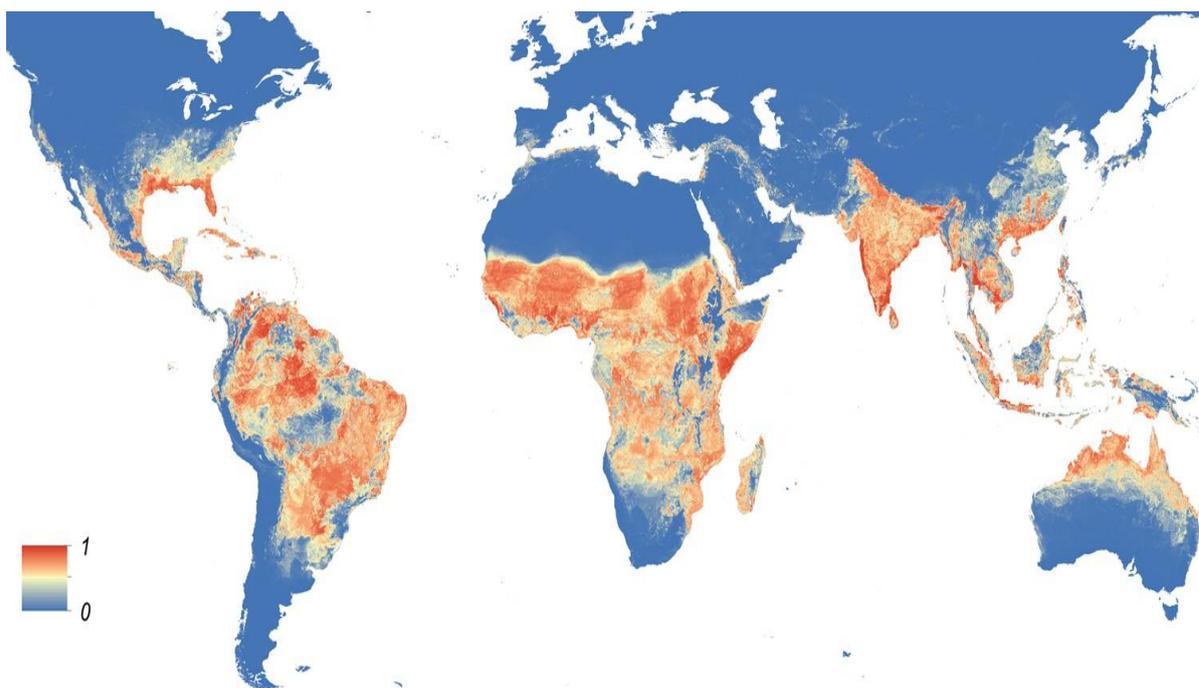


Figura 2 – Distribuição do *Ae. aegypti* no mundo. A cor vermelha no mapa é onde se tem registro do vetor.

Fonte: Kraemer et al, 2015<sup>35</sup>.

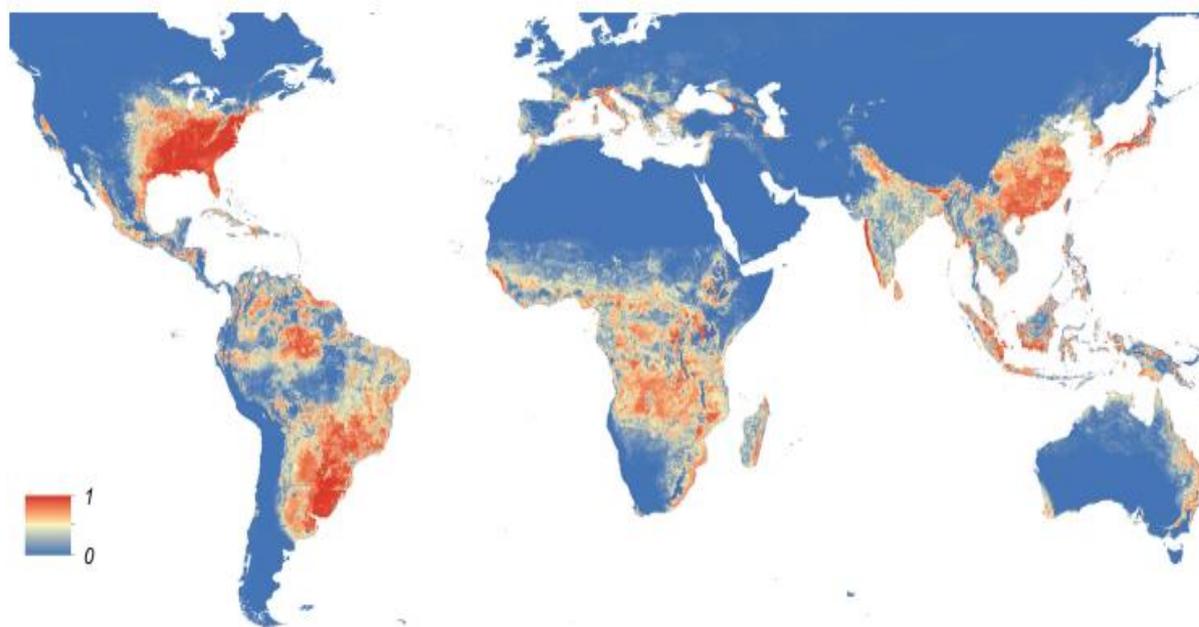


Figura 3 – Distribuição do *Ae. albopictus* no mundo. A cor vermelha no mapa é onde se tem registro do vetor.

Fonte: Kraemer et al, 2015<sup>35</sup>.

O primeiro registro do *Ae. albopictus* no Brasil foi feito em 1986 no estado do Rio de Janeiro<sup>38</sup>, pouco tempo depois foi relatado no restante da região sudeste, sendo encontrado posteriormente na região sul, centro-oeste, nordeste e norte, estando hoje amplamente distribuído no país<sup>39</sup>. Em um levantamento feito para demonstrar a distribuição da espécie (de 1997 a 2002), foi observado uma expansão acelerada desde que o vetor foi introduzido no país, e na época do estudo, somente sete estados brasileiros ainda não haviam registrado a sua presença: Amapá, Roraima, Acre, Tocantins, Piauí, Ceará e Sergipe<sup>40</sup>. Em uma atualização mais recente, no ano de 2015, o vetor foi detectado em 24 dos 27 estados brasileiros, sendo os estados sem registro: Acre, Amapá e Sergipe, demonstrando uma rápida disseminação<sup>41</sup>. Existe um fator importante que deve ser considerado ao analisar os registros de *Ae. albopictus* no Brasil: ele ainda não é considerado espécie-alvo dos programas de controle e vigilância, embora esteja sujeito às pressões de controle em áreas infestadas por *Ae. aegypti*, portanto os dados referentes a sua distribuição são escassos e imprecisos. Muitos municípios e estados brasileiros não fazem o levantamento da sua infestação, o que pode ser um fator limitante ao se analisar a real distribuição desse vetor no país<sup>40</sup>.

Já o *Ae. aegypti* acredita-se que foi introduzido nas Américas durante o período colonial, por meio de navios que traficavam pessoas para serem escravizadas<sup>41</sup>. Existe a hipótese de que em alguns desses navios havia pessoas infectadas com DENV, o que levou ao seu estabelecimento e dispersão no continente americano<sup>42</sup>. No Brasil, no início do século XX, o mosquito já era considerado um problema de saúde pública, mas a principal preocupação era em relação à transmissão do vírus da febre amarela urbana<sup>43</sup>.

*Ae. aegypti* é uma espécie que se desenvolveu muito bem em ambientes urbanos onde busca principalmente seres humanos ou animais domésticos para fazer a sua alimentação sanguínea, já o *Ae. albopictus* possui uma tendência de se desenvolver em ambientes silvestres e rurais onde costuma se alimentar de néctar e sangue de animais silvestres. Porém, apresenta também grande potencial de desenvolvimento em ambiente urbano, e essa capacidade de se distribuir em diversos ambientes é um fator que pode dificultar o controle das suas populações<sup>45</sup>.

As fêmeas de *Ae. aegypti* geralmente colocam seus ovos em recipientes artificiais tais como pneus, vasos de plantas, garrafas entre outros. Já as de *Ae. albopictus*, apesar de utilizarem normalmente recipientes naturais como ocos de árvores, bambus, cascas de frutas entre outros, também podem fazer a oviposição em recipientes artificiais.<sup>38</sup> A postura dos ovos das duas espécies é feita na superfície da água onde os ovos se prendem

à parede do recipiente para eclodirem quando houver disponibilidade de água. Os ovos são altamente resistentes à dessecação, portanto podem eclodir depois de um período longo sem água<sup>46</sup>. São insetos holometábolos, apresentando metamorfose completa, e seu ciclo de vida é dividido em fase aquática (ovos, larvas e pupa) e alada (insetos adultos), onde as larvas passam por quatro estádios de desenvolvimento (L1, L2, L3 e L4)<sup>47</sup> (Figura 4).

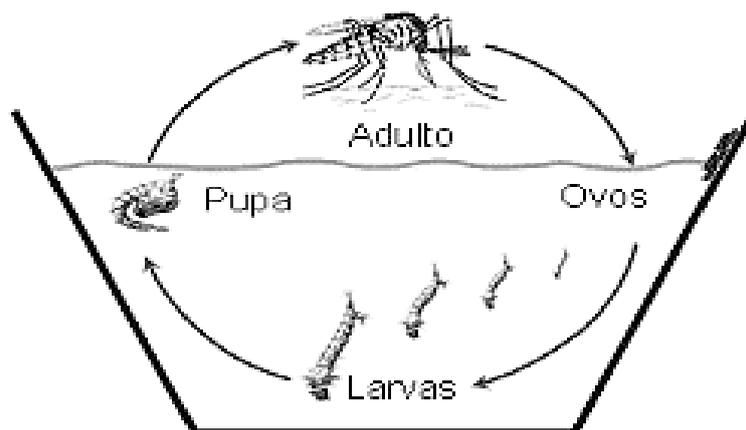


Figura 4 – Ciclo biológico do *Ae. aegypti* e do *Ae. albopictus* demonstrando as fases imaturas (ovos, as diferentes fases larvais e pupa) e a fase adulta. O ciclo, em condições adequadas de temperatura, disponibilidade de alimento e quantidade de larvas no criadouro, leva de 7 a 10 dias para se completar.

Fonte: cdc.gov

*Ae. albopictus* é considerado, no Brasil, como um vetor menos eficiente de arbovírus se comparado ao *Ae. aegypti*, devido principalmente, pela espécie não ser tão bem adaptada ao ambiente doméstico e ser menos antropofílica<sup>48</sup>, todavia, o *Ae. albopictus* se adapta melhor em climas temperado<sup>8</sup>. Apesar do *Ae. albopictus* ser considerado um vetor secundário, a espécie está se tornando importante na transmissão de arboviroses devido a sua alta adaptabilidade e distribuição mundial<sup>5</sup>. A grande capacidade de dispersão do *Ae. albopictus* se deve a fatores relacionados à sua fisiologia e comportamento, como tolerância a baixas temperaturas e habilidade de hibernar<sup>34</sup>, outra vantagem é que ele pode se alimentar de uma ampla gama de hospedeiros, podendo assim ser um vetor ponte para muitos patógenos zoonóticos para humanos, sendo capaz de transmitir pelo menos 22 tipos de arbovírus<sup>5,49</sup>.

Em relação à morfologia, ambos são insetos de cor escura com listras brancas nas pernas sendo que o *Ae. aegypti* apresenta na cabeça hábitos diurnos e é bem comum encontrá-los no peridomicílio, podendo ser bem ecléticos em relação à escolha do hospedeiro. Somente as fêmeas são hematófagas, processo necessário para a maturação dos ovos (Figura 5), e o restante da alimentação, tanto das fêmeas quanto dos machos, tem como base substâncias açucaradas. Quando adultos, apresentam dimorfismo sexual evidenciado principalmente pelo tamanho e pela diferença das antenas que nos machos são plumosas e nas fêmeas pilosas<sup>47</sup>.

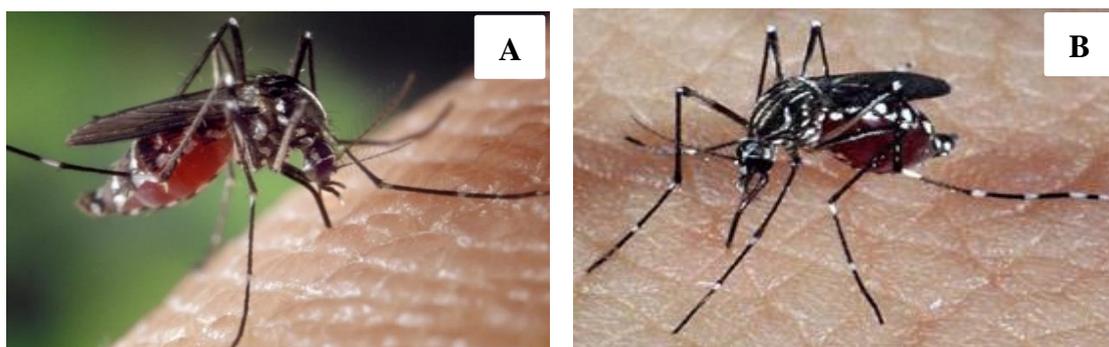


Figura 5 - Fêmea de *Ae. albopictus* (A) e fêmea de *Ae. aegypti* (B) adulto após a alimentação sanguínea (ingurgitadas).

Fontes: <https://tiger-platform.eu/> e <https://www.ioc.fiocruz.br/>

O ciclo urbano ou peri-urbano envolvendo o *Ae. aegypti* e o *Ae. albopictus* como vetores, e seres humanos como hospedeiros, é de grande preocupação na saúde pública<sup>50</sup>. Com mais da metade da população mundial vivendo em áreas infestadas por esses mosquitos, o potencial para grandes epidemias urbanas de ZIK, CHIK e DEN é alto, portanto, faz-se crucial o desenvolvimento de alternativas eficazes no controle e vigilância, bem como vacinas e medicamentos<sup>50</sup>. Atualmente, não existem vacinas disponíveis contra todas as arboviroses transmitidas, portanto, como medida primária para reduzir a disseminação dessas doenças é necessário realizar o controle populacional dos vetores de maneira eficiente<sup>12</sup>.

As mudanças ambientais contribuíram para a alteração do padrão de doenças transmitidas por mosquitos, pois eles são mais sensíveis às mudanças na temperatura. Sabe-se que os fatores ambientais/climáticos afetam diretamente a transmissão e dinâmica dos patógenos, vetores e hospedeiros<sup>51,52</sup>. Por exemplo, a amplificação do DENV é altamente heterogênea a cada estação do ano, com surtos periódicos misturados com baixos níveis de transmissão, e o clima é um dos fatores-chave

sugeridos para impulsionar esses padrões<sup>53,54</sup>. Temperaturas do ar de superfície mais elevadas influenciam a competência do vetor, acelerando a replicação do vírus em mosquitos (período de incubação extrínseca) e prolongando a estação reprodutiva<sup>55</sup>. Assim, temperaturas mais altas causam um aumento nas taxas de crescimento da população de vetores, encurtando o intervalo entre os repastos sanguíneos e aumentando a eficiência da transmissão viral<sup>56</sup>.

As condições ambientais estão intimamente relacionadas a proliferação de mosquitos e conseqüentemente a transmissão de doenças a eles relacionadas, portanto, conhecer as características de cada região e seu impacto na saúde das pessoas contribui para a promoção de políticas públicas de saúde e de planejamento urbano, pois esses são elementos-chave na criação de elementos para dar suporte ambiental, físico e social de acordo com as variações geográficas de morbidade e de mortalidade influenciando nos níveis de saúde, bem como na melhoria da qualidade de vida das populações<sup>57</sup>.

### **1.1.3 Métodos de controle**

A principal e mais eficaz forma de controle dos insetos vetores ocorre através da eliminação dos criadouros e aplicação de inseticidas<sup>4</sup>, onde são comumente utilizados os controles químicos de origem sintética, como o temefós, mas também há uso de inseticidas químicos de origem natural como os derivados de plantas<sup>56</sup>.

Várias são as estratégias capazes de determinar a atividade de produtos de origem natural contra insetos. De uma maneira geral, extratos brutos de plantas são preparados com diversos solventes, tais como hexano, diclorometano, acetato de etila, metanol e água. Em seguida, os extratos ativos são fracionados através de métodos cromatográficos e as frações obtidas são testadas novamente, repetindo-se o processo até a obtenção do(s) composto(s) ativo(s)<sup>57</sup>. Pesquisas tem ressaltado a busca e o desenvolvimento de substâncias derivadas de plantas para controle e /ou repelência de mosquitos<sup>58-64</sup>.

A utilização de microrganismos como controle biológico que tem sido bastante incentivada, onde espécies de microrganismos, incluindo protozoários<sup>65</sup>, fungos<sup>66</sup> e bactérias<sup>67</sup> também tem sido estudadas por sua capacidade em controlar vetores, seja através de sua eliminação ou de alguma mudança em sua fisiologia. Esses microrganismos quando usados como controle biológico, podem fornecer oportunidades para a redução da população vetorial, influenciar na competência vetorial de mosquitos e reduzir sua habilidade de transmitir patógenos<sup>68</sup>.

Outro método de controle que também vem sendo incentivado é o controle genético. Este método poderia servir como alternativa para minimizar alguns fatores que os métodos tradicionais ainda não conseguiram, como por exemplo, resistência aos inseticidas, menor prejuízo ao meio ambiente e foco somente nas populações alvo<sup>69</sup>. Geralmente esses métodos são divididos em duas etapas: a primeira com o intuito de eliminar ou diminuir a população e a segunda transformando ou substituindo os indivíduos. Mosquitos transgênicos podem ser criados e neles inseridos genes letais ou que podem ser capazes de tornar os mosquitos estéreis, ou ainda, introduzindo genes que possuem a capacidade de evitar que um determinado patógeno seja transmitido às populações de mosquitos selvagens<sup>70</sup>. A técnica de insetos estéreis pode ser utilizada com a intenção de reduzir as populações. Insetos machos estéreis podem ser liberados em grandes números no ambiente e estes acasalarão com as fêmeas nativas; com isso, a tendência é de se diminuir a população ao longo do tempo, e conseqüentemente diminuir também as chances de transmissão de doenças<sup>69</sup>.

Para estabelecer métodos de controle adequados e eficazes, se faz necessário conhecer o comportamento dos vetores, como eles estão distribuídos e quais são os fatores que podem influenciar no seu desenvolvimento e capacidade de transmissão. Com o cenário atual de mudanças climáticas e emergência de vírus silvestres, é possível que nos próximos anos o vetor *Ae. albopictus* aumente sua importância epidemiológica no Brasil<sup>70</sup>. Portanto, é essencial conhecer a distribuição do *Ae. albopictus* no país para que possam existir estratégias de controle mais eficientes direcionadas também a essa espécie, e não somente para o *Ae. aegypti*.

#### **1.1.4 Ecoepidemiologia e o geoprocessamento**

A ecoepidemiologia procura integrar dados epidemiológicos com aspectos ecológicos, biológicos, socioeconômicos entre outros, no contexto de que a causalidade entre saúde e doença ocorrem em todos os níveis de organização. Leva em consideração que os fatores determinantes do estado de saúde de uma população interagem desde o nível microcelular até o macroambiental<sup>71</sup>.

Os dados que influenciam na situação de saúde de uma determinada população podem ser apresentados na forma de mapas temáticos, com o auxílio do Sistema de Informações Geográficas (SIG). Trata-se de um sistema semiautomatizado de coleta, armazenamento, tratamento, edição e apresentação de dados cartográficos, com o

objetivo de coleta ou geração de dados georreferenciados<sup>72</sup>. Permite fazer análises complexas alternando diversos cenários, o que pode contribuir para um melhor entendimento dos problemas relacionados a saúde de uma população<sup>73</sup>. É uma ferramenta que auxilia na localização espacial dos fatores relacionados às doenças e que está sendo cada vez mais utilizada na área da saúde para o monitoramento e planejamento de ações e possíveis intervenções em saúde pública<sup>74</sup>.

O uso do SIG pode servir como ferramenta de análise para entender como as alterações ambientais podem influenciar no comportamento e na distribuição de vetores, e assim, compreender melhor os fatores que podem influenciar na sua dispersão<sup>75</sup>. Além do entendimento com relação as alterações ambientais, a análise de dados espaciais pode identificar também padrões de distribuição de vetores acompanhando os locais de infestação, e com isso, pode auxiliar para o estabelecimento de métodos que possam aperfeiçoar o serviço de vigilância epidemiológica com o intuito de diminuir a quantidade de criadouros / populações destes<sup>76</sup>.

Analisar as condições de um ambiente de uma forma mais ampla é muito importante para se saber que fatores podem estar relacionados a disseminação de um vetor de doenças. Rochlin et al (2013) analisaram as populações de *Ae. albopictus* nos EUA e viram que fatores como temperatura mínima e cobertura do solo são cruciais para distribuição dessa espécie na região estudada<sup>77</sup>. Lorenz et al (2017) avaliaram o impacto de fatores ambientais em algumas arboviroses (Oropouche, Mayaro, Saint Louis e Rocio) no Brasil, e demonstraram que a ocorrência de surtos dessas doenças pode sofrer interferência dependendo das condições ambientais, e que a temperatura é uma variável central que determina a distribuição das áreas de risco. Constataram também que a altitude poderia ser outro fator a ser considerado importante, pois geralmente altitudes mais elevadas correspondem a temperaturas mais baixas e isso poderia influenciar na distribuição dos vetores<sup>78</sup>.

Flauzino et al (2009) ao selecionar estudos da América Latina que abordaram o tema dengue e o geoprocessamento juntamente com indicadores socioeconômicos e ambientais, concluíram que a dengue está intimamente relacionada com as características ecológicas do ambiente, e que estudos que usam análises espaciais, aliados a relação com variáveis ambientais, fornecem uma visão mais completa da disseminação da doença<sup>79</sup>.

Em outro estudo realizado por Valadares et al (2019) no qual observou-se a influência de variáveis ambientais na ocorrência da dengue utilizando geoprocessamento em Teresina – PI, constataram que a utilização de sensoriamento remoto foi eficiente no

mapeamento dos corpos d'água e cobertura vegetal, e que esses locais se demonstraram promissores para a ocorrência da doença. Ainda, correlacionando com dados de chuva e temperatura do ar, poderia explicar o aumento do número de casos de dengue em determinados períodos do ano na cidade<sup>80</sup>.

A análise espacial juntamente com as condições ambientais de um local pode fornecer informações para se entender melhor os fatores que podem favorecer a disseminação de uma doença. No caso das arboviroses, o vetor é o fator central<sup>81</sup>, portanto conhecer alguns aspectos que possam estar relacionados com a sua distribuição é muito importante para que possamos entender melhor o seu comportamento e sabermos quais seriam as condições que poderiam influenciar na sua proliferação.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a distribuição espaço - temporal do *Aedes aegypti* e do *Aedes albopictus* no Brasil nos anos de 2015 a 2020, considerando dados epidemiológicos, aspectos ecológicos e fatores ambientais.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar os municípios que apresentam registros de *Aedes albopictus* e atualizar sua distribuição no Brasil;
- Analisar a expansão das áreas de distribuição de *Aedes albopictus* no tempo-espaço;
- Avaliar os níveis de infestação predial (IIP) do *Aedes aegypti* e do *Aedes albopictus*;
- Comparar os níveis de infestação predial (IIP) do *Aedes aegypti* e do *Aedes albopictus*;
- Analisar no tempo-espaço a classificação de risco de epidemias de dengue de acordo com o índice de infestação predial (IIP) do *Aedes aegypti* e do *Aedes albopictus*;
- Correlacionar fatores ambientais e climáticos com a distribuição do *Aedes aegypti* e do *Aedes albopictus*.

### 3. MÉTODOS

#### 3.1 TIPO E ÁREA DE ESTUDO

Foi realizado um estudo ecológico com análise temporal e espacial que atualizou a distribuição do *Ae. albopictus* em todo território brasileiro, além de comparar os níveis de infestação predial (IIP) do *Ae. aegypti* e do *Ae. albopictus*, analisar no tempo-espaço a classificação de risco de epidemias de dengue e correlacionar fatores ambientais e climáticos com a distribuição tanto do *Ae. aegypti* quanto do *Ae. albopictus*.

O Brasil está entre os maiores países do mundo, sendo o maior país da América do Sul e ocupando um território de 8.510.295,914 Km<sup>2</sup>. Possui uma população de 211.755.692 habitantes e é dividido em 27 unidades federativas, distribuídos em cinco regiões: Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sul e Sudeste e apresentando um total de 5.570 municípios e 137 mesorregiões<sup>73</sup> (Figura 6).

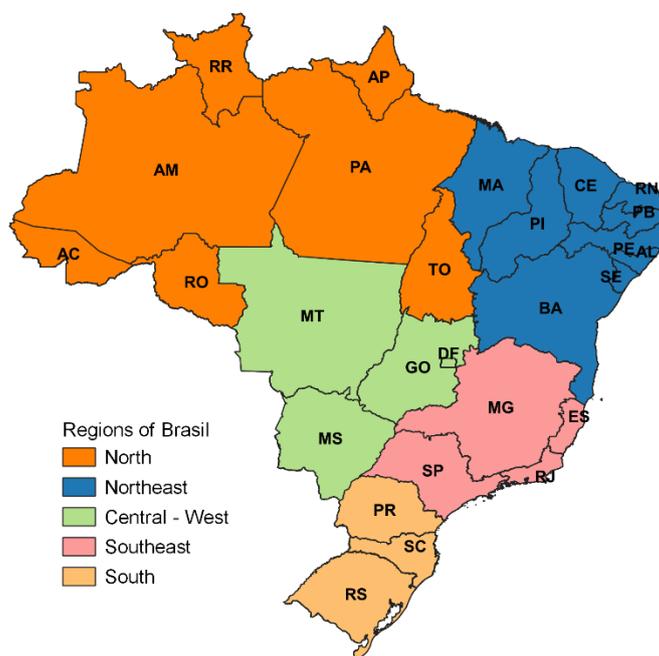


Figura 6 – Mapa do Brasil mostrando as divisões em estados e regiões (AC: Acre; AL: Alagoas; AM: Amazonas; AP: Amapá; BA: Bahia; CE: Ceará; DF: Distrito Federal; ES: Espírito Santo; GO: Goiás; MA: Maranhão; MG: Minas Gerais; MS: Mato Grosso do Sul; MT: Mato Grosso; PA: Pará; PB: Paraíba; PE: Pernambuco; PI: Piauí; PR: Paraná; RJ: Rio de Janeiro; RN: Rio Grande do Norte; RO: Rondônia; RR: Roraima; RS: Rio Grande do Sul; SC: Santa Catarina; SE: Sergipe; SP: São Paulo; TO: Tocantins).

Devido ao seu vasto território, as regiões brasileiras apresentam diferenças com relação ao clima que pode ser equatorial, tropical ou temperado. A maior parte do país apresenta clima do tipo equatorial, principalmente na região amazônica, com longos períodos chuvosos e temperaturas bem elevadas. O clima tropical também é quente, porém a frequência de chuvas ocorre em intervalos menos regulares, e pode variar de acordo com a região. O clima temperado predomina na região Sul do país, que apresenta temperaturas mais frias, se comparada as demais regiões<sup>82</sup>.

### 3.2 COLETA DE DADOS

O estudo utilizou os dados de infestação do *Ae. albopictus* e do *Ae. aegypti* de todo o Brasil entre os anos de 2015 à 2020 que foram obtidos do Ministério da Saúde (MS) por meio do Sistema Eletrônico do Serviço de Informações ao Cidadão (e-SIC). As informações utilizadas foram as do Levantamento Rápido de Índices para *Aedes* (LIRAA) e a unidade de análise utilizada foram os municípios dos estados brasileiros que constavam nos registros. Os municípios, estados e regiões brasileiras foram utilizados como unidade de análise, sendo usados somente aqueles que possuem dados sobre o LIRAA.

Os dados climáticos e ambientais foram escolhidos com base no ciclo de vida e biologia do vetor, especificamente a temperatura e a precipitação, que tem se mostrado associadas à distribuição do *Ae. albopictus*<sup>77</sup>. Os dados climáticos analisados foram os referentes à precipitação e à temperatura do ar obtidos pela plataforma Giovanni (<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>) desenvolvida pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). Foram realizados recortes geográficos idealizados a partir das coordenadas correspondentes a cada estado do Brasil (as coordenadas utilizadas para obtenção dos dados podem ser visualizadas na Tabela Suplementar 1). Os dados de precipitação (total mm/mês) foram coletados via satélite GPM GPM\_3IMERGM v06 e os valores mensais foram somados de acordo com cada ano estudado. Já os dados de temperatura do ar mensal foram obtidos do satélite MERRA-2 Modelo M2TMNXFLX v5.12.4 e foram determinadas as médias anuais dos anos estudados (2015 a 2020).

Os dados ambientais utilizados no estudo foram os de uso e cobertura do solo obtidos do Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MapBiomas Brasil, <https://mapbiomas.org/>). Esse monitoramento é feito anualmente e

registrado por município, e os dados foram agrupados por estados e regiões. Os dados de uso e cobertura do solo são medidos por hectares e apresentados em cinco diferentes classes (floresta, formação natural não florestal, agropecuária, área não vegetada e corpos d'água) contendo subcategorias organizadas pelo nível do mosaico (natural, antrópico ou não identificado) e pelo tipo de dado (uso ou cobertura do solo). Neste estudo utilizou-se os dados de floresta natural, formação natural não florestal, agropecuária e área urbanizada (este é um subgrupo da categoria “área não vegetada”), pois a princípio são classes relacionadas com o vetor *Ae. albopictus* (áreas mais silvestres) e com o *Ae. aegypti* (áreas mais urbanizadas).

### 3.3 PROCESSAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS

Os dados referentes ao índice de infestação predial (IIP) do *Ae. aegypti* e do *Ae. albopictus* nos municípios brasileiros, os dados climáticos e ambientais foram triados, processados e organizados em planilhas do Microsoft Office Excel® e para todas as análises foram utilizados os valores do IIP tanto do *Ae. aegypti* quanto do *Ae. albopictus*.

Os mapas temáticos da variabilidade espaço-temporal da distribuição do *Ae. albopictus* e dos riscos de epidemias de dengue nos municípios brasileiros (levando em consideração o *Ae. aegypti* e o *Ae. albopictus*) foram construídos utilizando o software QGIS versão 3.16.11 (multiplataforma de Sistema de Informação Geográfica (SIG) de código aberto [https://qgis.org/pt\\_BR/site/](https://qgis.org/pt_BR/site/)) e as bases cartográficas (shapefiles) utilizadas foram provenientes do IBGE com o Datum Sirgas 2000.

Os gráficos foram elaborados utilizando o software Microsoft Office Excel® e para verificar as relações entre o IIP do *Ae. aegypti* e do *Ae. albopictus* e as variáveis climáticas e ambientais estudadas, foi realizada uma análise de regressão linear múltipla utilizando o software Jamovi (The jamovi project, 2021), adotando o IIP do *Ae. aegypti* e do *Ae. albopictus* como variável dependente e as demais variáveis como independentes (temperatura, precipitação, floresta natural, formação natural não-florestal, agropecuária e área urbanizada). A relação entre os valores das variáveis climáticas e ambientais para gerar os modelos de regressão múltipla foi avaliada por meio de análise de regressão linear e correlação utilizando o software STATISTICA 7.0. Os valores foram transformados para log quando verificado a presença de *outliers* e as variáveis que apresentaram correlação acima de 0,95 não foram utilizadas. As relações entre as variáveis foram consideradas significativas quando  $p < 0,05$  (Figura 7).

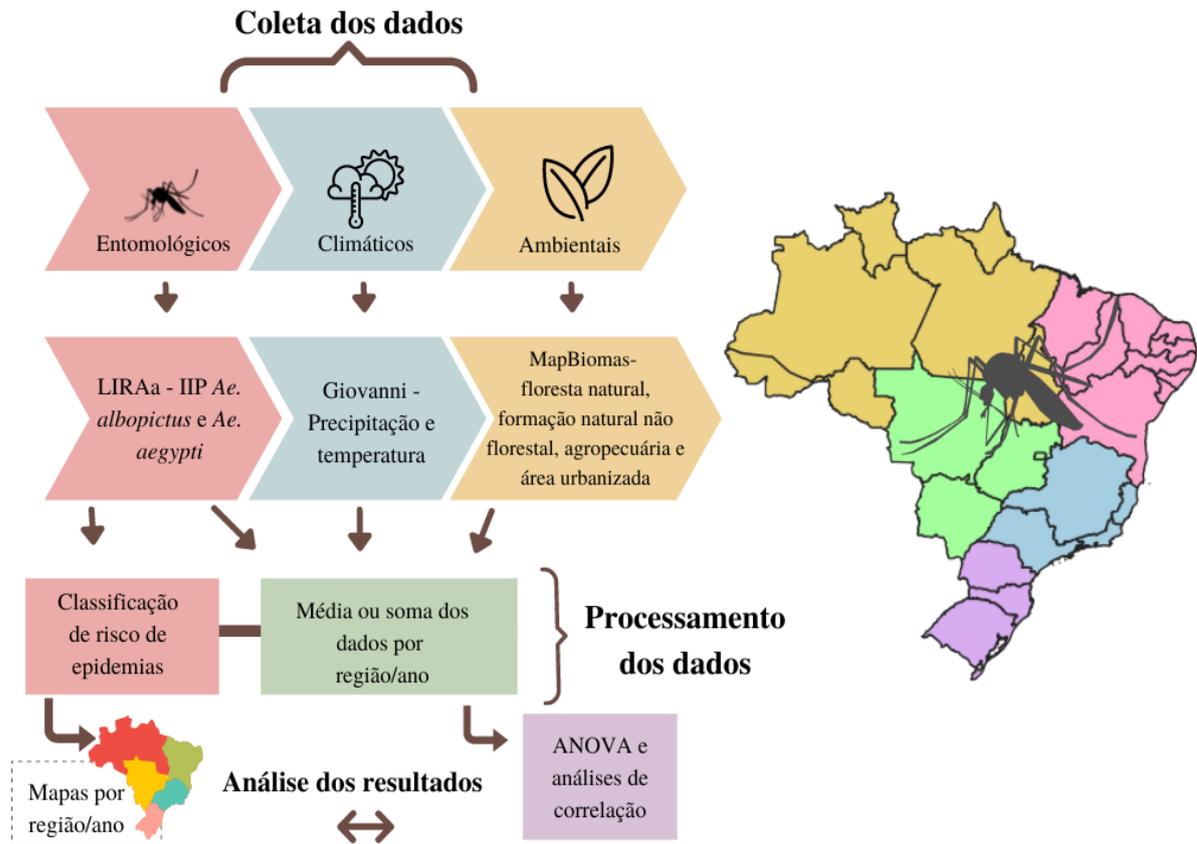


Figura 7 – Desenho do estudo

### 3.4 ASPECTOS ÉTICOS

Para o presente projeto de pesquisa foram utilizadas bases de dados de animais invertebrados de fonte de acesso público, dessa forma, o projeto não se enquadra nos critérios de análise ética tanto pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos (CEP) quanto pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA). Contudo, toda a equipe envolvida no desenvolvimento do trabalho está ciente das normas e resoluções e tomou os devidos cuidados éticos necessários para o seu desenvolvimento.

## 4. ARTIGOS CIENTÍFICOS

### 4.1 ARTIGO 1

#### **Updated Spatio-temporal Distribution of *Aedes (Stegomyia) albopictus* in Brazil**

Paula Fassicolo Variza<sup>1\*</sup>, Camila Lorenz<sup>2</sup>, Joice Guilherme de Oliveira<sup>1</sup>, Millena Fernandes<sup>3</sup>, Sérgio Antonio Netto<sup>3</sup>, Josiane Somariva Prophiro<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Graduate Program in Health Sciences, Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, Santa Catarina, Brazil.

<sup>2</sup>Department of Epidemiology, School of Public Health, University of São Paulo, São Paulo, Brazil.

<sup>3</sup>Postgraduate Program in Environmental Sciences, Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, Santa Catarina, Brazil.

\*Corresponding author: paula\_fas@hotmail.com

#### **Abstract**

*Aedes albopictus* is native to Asia and is ranked among the top 100 invasive species worldwide, with vector competence for Dengue, Zika, and Chikungunya viruses. Understanding *Ae. albopictus* dispersal is essential for effective monitoring and vector control strategies. In this study, we analysed and updated the distribution of *Ae. albopictus* in Brazil using data available from the Ministry of Health through the Rapid Index Survey for *Aedes* (LIRAA) for the years 2015-2020. The results of this research were mapped to visually represent the current distribution of *Ae. albopictus* in Brazil. In 2015, the presence of the vector was confirmed in 271 of the 1,820 Brazilian municipalities sampled (14.9%), and in 2020 it was detected in 728 of the 2,937 municipalities sampled (24.8%). In 2020, all Brazilian states had recorded the presence of this critical vector with a broader geographic distribution in the Southeast and Midwest regions as compared to the North, Northeast, and South regions. The record of *Ae. albopictus* distribution advanced in

Brazilian states and municipalities from 2015 to 2020; monitoring the presence of *Ae. albopictus* is crucial for developing strategies to control this critical vector.

**Keywords:** vector, dengue, mosquito, epidemiology, control.

## 4.1 ARTIGO 2

### **Ecoepidemiologia do *Aedes (Stegomyia) aegypti* e *Aedes (Stegomyia) albopictus* no Brasil**

Paula Fassicolo Variza<sup>a\*</sup>, Camila Lorenz<sup>b</sup>, Joice Guilherme de Oliveira<sup>a</sup>, Millena Fernandes<sup>c</sup>, Edenilson Osinski Francisco<sup>d</sup>, Caroline Vieira<sup>d</sup>, Sérgio Antonio Netto<sup>c</sup>, Josiane Somariva Prophiro<sup>a,c\*</sup>

<sup>a</sup>Programa de Pós-graduação em Ciências da Saúde, Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, Santa Catarina, Brasil.

<sup>b</sup>Departamento de Epidemiologia, Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.

<sup>c</sup>Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, Santa Catarina, Brasil.

<sup>d</sup>Curso de Ciências Biológicas, Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, Santa Catarina, Brasil.

#### **Resumo**

O *Aedes aegypti* e o *Aedes albopictus* são insetos de importância sanitária por serem vetores de diversas arboviroses de importância em saúde pública, como dengue, Zika e chikungunya. *Ae. aegypti* é um mosquito originário da África e o *Ae. albopictus* é um mosquito asiático, e ambos já se disseminaram pelo mundo estando hoje presentes em praticamente todos os continentes. O sucesso da dispersão dessas espécies está relacionado a diversos fatores tanto climáticos quanto ambientais. Nesse estudo comparamos os níveis de infestação do *Ae. aegypti* e do *Ae. albopictus* no Brasil nos anos de 2015 a 2020 utilizando os valores do Índice de Infestação Predial (IIP) daqueles municípios que realizaram os levantamentos do LIRAa nos anos do estudo, avaliamos a classificação de risco de epidemias de dengue além de correlacionar fatores climáticos e ambientais aos níveis de infestação das duas espécies. De 2015 a 2020 foram realizados mais de 21 mil levantamentos do IIP nos municípios brasileiros para o *Ae. albopictus* e mais de 24 mil levantamentos para o *Ae. aegypti* e o ano de 2017 foi o ano com maior número de levantamentos do IIP, onde 88,38% dos municípios brasileiros apresentaram

o IIP para *Ae. albopictus* e 98,37% dos municípios brasileiros apresentaram o IIP para *Ae. aegypti*. Considerando todo o território nacional, a infestação do *Ae. aegypti* no Brasil teve relação significativa com a precipitação, floresta, formação não florestal, agropecuária e área urbanizada e considerando todo o território nacional, a infestação do *Ae. albopictus* no Brasil teve relação significativa com a precipitação, temperatura e floresta. O acompanhamento da infestação desses vetores é fundamental para que se possa entender seu comportamento, e assim, conhecer os locais e condições que favorecem a sua disseminação.

**Palavras – chave:** Distribuição, Epidemiologia, Arboviroses, Vetores.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi realizado um estudo ecológico com análise temporal e espacial com a intenção de atualizar a distribuição do *Ae. albopictus* no Brasil além de comparar os níveis de infestação predial (IIP) do *Ae. aegypti* e do *Ae. albopictus*, analisar no tempo-espaço a classificação de risco de epidemias de dengue e correlacionar fatores ambientais e climáticos com a distribuição tanto do *Ae. aegypti* quanto do *Ae. albopictus*.

A distribuição do *Ae. albopictus* avançou nos estados e municípios brasileiros, estando atualmente presente em todos os estados. A análise de risco para epidemias de dengue levando em consideração os índices IIP do *Ae. aegypti* e do *Ae. albopictus* indicou risco mais elevado no ano de 2020 e as variáveis ambientais e climáticas analisadas demonstraram relação com a distribuição das espécies.

No Brasil as variáveis climáticas e ambientais que tiveram relação significativa com a precipitação, floresta, formação não florestal, agropecuária e área urbanizada, enquanto a infestação do *Ae. albopictus* teve relação significativa com a precipitação, temperatura e floresta.

Uma das limitações desse estudo foi que o *Ae. albopictus* não é espécie alvo dos programas de monitoramento, portanto não existe obrigatoriedade na coleta dos dados da sua infestação. Mesmo com o aumento da quantidade de municípios que fazem a registro da presença do *Ae. albopictus* com o passar dos anos, ainda existem muitas lacunas nas informações, o que faz com que os dados não estejam expressando exatamente a realidade da dispersão dessa espécie. Apesar de existir a obrigatoriedade do registro de infestação do *Ae. aegypti*, ainda existem muitos municípios que não aparecem nos levantamentos, alguns por utilizarem outros métodos e não o LIRAA, ou apresentam dados que não são registrados da forma correta e isso faz com que não possam ser utilizados. Mesmo com dados imprecisos observamos que a sua dispersão tem avançado com o passar dos anos, e teve um aumento na quantidade de municípios que passaram a fazer o registro de infestação. monitoramento da distribuição e a análise das condições mais favoráveis para o desenvolvimento do *Ae. aegypti* e do *Ae. albopictus* é essencial para que se possa elaborar estratégias de controle populacional, e assim, contribuir para a diminuição da transmissão de arboviroses.

## REFERÊNCIAS

1. Mosquito Taxonomic Inventory. [homepage na internet]. Análise da disponibilidade domiciliar de alimentos e do estado nutricional no Brasil [acesso em 25 mai 2021]. Disponível em: <http://mosquito-taxonomic-inventory.info/simpletaxonomy/term/6045>
2. Rivero A, Vézilier J, Weill M, Read AF, Gandon S. Insecticide Control of Vector-Borne Diseases: When Is Insecticide Resistance a Problem?. *PloSpathog*.2010; 6: 1-9.
3. Tchankouo-Nguetchou S, Khun H, Pincet L, Roux P, Bahut M, Huerre M, et al. Differential Protein Modulation in Midguts of *Aedes aegypti* Infected with Chikungunya and Dengue 2 Viruses. *PLoS ONE*.2010; 5: 1-11.
4. Tauil PL. Aspectos críticos do controle do dengue no Brasil. *Cad. SaúdePública*. 2002; 18(3): 867-871.
5. Lwande OW, Obanda V, Lindström A, Ahlm C, Evander M, Näslund J, Bucht G. Globe-Trotting *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*: Risk Factors for Arbovirus Pandemics. *Vector Borne Zoonotic Dis*. 2020 Feb; 20(2):71-81.
6. Kraemer MUG, Sinka ME, Duda KA, Mylne A, Shearer FM, Brady OJ, et al. The global compendium of *Aedes aegypti* and *Ae. albopictus* occurrence. *Sci Data*. 2015;2:150035.
7. Donalisio MR, Freitas ARR, Zuben APB Von. Arboviruses emerging in Brazil: challenges for clinic and implications for public health. *Rev Saude Publica*. 2017;51:30.
8. Rezza G. *Aedes albopictus* and the reemergence of Dengue. *BMC public health*. 2012; 12: 72.
9. WHO. Zika virus, microcephaly and Guillain-Barré syndrome, World Health Organization.Geneva; 2016.
10. Khongwichit S, Chansaenroj J, Chirathaworn C, Poovorawan Y. Chikungunya virus infection: molecular biology, clinical characteristics, and epidemiology in Asian countries. *J Biomed Sci*. 2021 Dec 2;28(1):84. doi: 10.1186/s12929-021-00778-8. PMID: 34857000; PMCID: PMC8638460.
11. WHO. Dengue: guideline for diagnosis, treatment, prevention and control. World Health Organization.Geneva; 2009.
12. Morrison AC, Gutierrez EZ, Scott TW\*, Rosenberg R. Defining Challenges and Proposing Solutions for Control of the Virus Vector *Aedes aegypti*. *PloS med*. 2008; 5: 362-366.
13. Iturbe-Ormaetxe I, WalkerT, O' Neill SL. Wolbachia and the biological control of mosquito-borne disease. *EMBO rep*. 2011; 12: 508-518.
14. WHO. Zika virus. World Health Organization.Geneva; 2016a.

15. Roth A, Mercier A, Lepers C, Hoy D, Duituturaga S, Benyon E, et al. Concurrent outbreaks of dengue, chikungunya and Zika virus infections – an unprecedented epidemic wave of mosquito – borne viruses in the Pacific 2012 – 2014. *Euro surveill.*2014; 19: 1-8.
16. WHO. Zika virus, microcephaly and Guillain-Barré syndrome. World Health Organization. Geneva; 2016b.
17. SUVISA. Situação epidemiológica das arboviroses. Superintendência de Vigilância em Saúde. Bahia; 2015.
18. Brasil, Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. Monitoramento dos casos de dengue, febre de Chikungunya e febre pelo vírus Zika ate a Semana Epidemiologica 52. Secretaria de Vigilância em Saúde; 2016.
19. SVS-MS. Monitoramento dos casos de dengue, febre de Chikungunya e febre pelo vírus Zika ate a Semana Epidemiologica 34. Secretaria de Vigilância em Saúde; 2019.
20. SVS-MS. Monitoramento dos casos de dengue, febre de Chikungunya e febre pelo vírus Zika ate a Semana Epidemiologica 18. Secretaria de Vigilância em Saúde; 2020.
21. Musso D, Nhan T, Robin E, Roche C, Bierlaire D, Zisou K, Shan Yan A, Cao-Lormeau VM, Brout J. Potential for Zika virus transmission through blood transfusion demonstrated during an outbreak in French Polynesia, November 2013 to February 2014. *Euro Surveill.* 2014 Apr 10;19(14):20761.
22. D'Ortenzio E, Matheron S, Yazdanpanah Y, de Lamballerie X, Hubert B, Piorkowski G, Maquart M, Descamps D, Damond F, Leparç-Goffart I. Evidence of Sexual Transmission of Zika Virus. *N Engl J Med.* 2016 Jun 2;374(22):2195-8.
23. Arora N, Sadovsky Y, Dermody TS, Coyne CB. Microbial Vertical Transmission during Human Pregnancy. *Cell Host Microbe.* 2017 May 10;21(5):561-567.
24. WHO. Chikungunya. World Health Organization. Geneva; 2015b.
25. Vu DM, Jungkind D, Angelle Desiree LaBeaud. Chikungunya Virus. *Clin Lab Med.* 2017 Jun;37(2):371-382.
26. Vairo F, Haider N, Kock R, Ntoumi F, Ippolito G, Zumla A. Chikungunya: Epidemiology, Pathogenesis, Clinical Features, Management, and Prevention. *Infect Dis Clin North Am.* 2019 Dec;33(4):1003-1025.
27. WHO. Dengue: guideline for diagnosis, treatment, prevention and control. World Health Organization. Geneva; 2009.
28. Harapan H, Michie A, Sasmono RT, Imrie A. Dengue: A Minireview. *Viruses.* 2020 Jul 30;12(8):829.
29. WHO. Dengue and severe dengue. World Health Organization; 2018. Local de

acesso, data

30. Marcondes CB, Ximenes MFFM. Zika virus in Brazil and the danger of infestation By *Aedes (Stegomyia)* mosquitoes. Rev. Soc. Bras. Med. Trop. 2016; 49(1): 4-10.
31. Guzmán C, Calderón A, Mattar S, Tadeu-Figuereido L, Salazar-Bravo J, Alvis-Guzmán N, et al. Ecoepidemiology of Alphaviruses and Flaviviruses. In: Emerging and Reemerging Viral Pathogens: Volume 1: Fundamental and Basic Virology Aspects of Human, Animal and Plant Pathogens. Elsevier; 2019. p. 101–25.
32. Kraemer MUG, Reiner RC, Brady OJ, Messina JP, Gilbert M, Pigott DM, et al. Past and future spread of the arbovirus vectors *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*. Nat Microbiol. 2019 May 1;4(5):854–63.
33. Kraemer MUG, Reiner RC, Brady OJ, Messina JP, Gilbert M, Pigott DM, et al. Past and future spread of the arbovirus vectors *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*. Nat Microbiol. 2019 May 1;4(5):854–63.
34. Bonizzoni, M., Gasperi, G., Chen, X., James, A.A. The invasive mosquito species *Aedes albopictus*: current knowledge and future perspectives. Trends Parasitol. 2013. 29, 460–468.
35. Kraemer MU, Sinka ME, Duda KA, Mylne AQ, Shearer FM, Barker CM, Moore CG, Carvalho RG, Coelho GE, Van Bortel W, Hendrickx G, Schaffner F, Elyazar IR, Teng HJ, Brady OJ, Messina JP, Pigott DM, Scott TW, Smith DL, Wint GR, Golding N, Hay SI. The global distribution of the arbovirus vectors *Aedes aegypti* and *Ae. albopictus*. Elife. 2015 Jun 30;4:e08347.
36. Samson Leta, Tariku Jibat Beyene, Eva M. De Clercq, Kebede Amenu, Moritz U.G. Kraemer, Crawford W. Review. Global risk mapping for major diseases transmitted by *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*. International Journal of Infectious Diseases. 2018.v.67, p.25-35,
37. Kamal M, Kenawy MA, Rady MH, Khaled AS, Samy AM (2018) Mapping the global potential distributions of two arboviral vectors *Aedes aegypti* and *Ae. albopictus* under changing climate. PLoS ONE 13(12): e0210122. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0210122>.
38. Forattini OP. Identificação de *Aedes (Stegomyia) albopictus* (Skuse) no Brasil. Rev Saúde Pública. 1986;20:244-5.
39. Pancetti, Filipe Gabriel Menezes et al. Twenty-eight years of *Aedes albopictus* in Brazil: a rationale to maintain active entomological and epidemiological surveillance. Rev. Soc. Bras. Med. Trop. 2015. p. 87-89.
40. Santos, Roseli La Corte dos. Atualização da distribuição de *Aedes albopictus* no Brasil (1997-2002). Rev. Saúde Pública. 2003. p. 671-673.
41. Carvalho RG, Lourenço-de-Oliveira R, Braga IA. Mem Inst Oswaldo Cruz. 2014, Rio de Janeiro, Vol. 109(6): 787-796.

42. Powell JR, Tabachnick WJ. History of domestication and spread of *Aedes aegypti*--a review. Mem Inst Oswaldo Cruz. 2013;108:11–7.
43. Lounibos LP. Ecoepidemiologia del dengue: relevância de dos vectores invasores. Biomedica. 2011;31(Sup 3):50–9.
44. Braga IA, Valle D. *Aedes aegypti*: histórico do controle no Brasil. Epidemiol serv saúde. 2007;16(2):113–8.
45. Zara, Ana Laura de Sene Amâncio et al. Estratégias de controle do *Aedes aegypti*: uma revisão. Epidemiologia e Serviços de Saúde. 2016, v. 25, n. 2. p. 391-404.
46. Ministério da Saúde (Brasil). Dengue: instruções para pessoal de combate ao vetor: manual de normas técnicas. 3rd ed. Saúde M da, editor. Brasília; 2001. 84 p.
47. Consoli, Rotraut A.G.B.; Oliveira, Ricardo Lourenço de. Principais mosquitos de importância sanitária no Brasil. Editora Fiocruz. 1994. 228p.
48. de Alencar, CHM; de Albuquerque,LM; de Aquino; TMF; Carol Barroso Soares; CB; JúniorANR; Lima,JWO; Pontes, RJS. *Aedes albopictus* as a vector of arboriviruses in Brazil: a challenge for primary health care Rev. APS. 2008. v. 11, n. 4, p. 459-467.
49. Pereira-Dos-Santos T, Roiz D, Lourenço-de-Oliveira R, Paupy C. A Systematic Review: Is *Aedes albopictus* an Efficient Bridge Vector for Zoonotic Arboviruses? Pathogens. 2020 Apr 7;9(4):266.
50. Musso D, Cao-Lormeau VM, Gubler DJ. Zika virus: following the path of dengue and chikungunya? Lancet. 2015;386(9990):243-4.
51. Chung, W. M., Buseman, C. M., Joyner, S. N., Hughes, S. M., Fomby, T. B., Luby, J. P., & Haley, R. W. The 2012 west nile encephalitis epidemic in dallas, texas. Jama.2013. 310(3), 297-307.
52. Ruiz, M. O., Chaves, L. F., Hamer, G. L., Sun, T., Brown, W. M., Walker, E. D. & Kitron, U. D. Local impact of temperature and precipitation on West Nile virus infection in *Culex* species mosquitoes in northeast Illinois, USA. Parasites & vectors. 2010. 3(1), 1-16.
53. Carrington, L. B., Armijos, M. V., Lambrechts, L., & Scott, T. W. Fluctuations at a low mean temperature accelerate dengue virus transmission by *Aedes aegypti*. PLoS neglected tropical diseases. 2013. 7(4), e2190.
54. Vilibic-Cavlek, T., Savic, V., Petrovic, T., Toplak, I., Barbic, L., Petric, D., ... & Savini, G. Emerging trends in the epidemiology of West Nile and Usutu virus infections in Southern Europe. Frontiers in veterinary Science. 2019.
55. Oliveira, R. M. D., & Valla, V. V. As condições e as experiências de vida de grupos populares no Rio de Janeiro: repensando a mobilização popular no controle do dengue. Cadernos de Saúde Pública. 2019. 17, S77-S88.

56. Mulla MS, Su T. Activity and biological effects of neem products against arthropods of medical and veterinary importance. *J Am Mosq Control Assoc.* 1999;15(2):133-52.
57. Shaalan EA, Canyon D, Younes MW, Abdel-Wahab H, Mansour AH. A review of botanical phytochemicals with mosquitocidal potential. *Environ Int.* 2005;31(8):1149-66.
58. Prophiro JS, Silva OS, Luna JE, Piccoli CF, Kanis LA, Silva MA. *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae): coexistence and susceptibility to temephos, in municipalities with occurrence of dengue and differentiated characteristics of urbanization. *Rev. Soc Bras Med Trop.* 2011;44(3):300-5.
59. Kanis LA, Prophiro JS, Vieira EaS, Nascimento MP, Zepon KM, Kulkamp-Guerreiro IC, et al. Larvicidal activity of *Copaifera* sp. (Leguminosae) oleoresin microcapsules against *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) larvae. *Parasitol Res.* 2012;110(3):1173-8.
60. Prophiro JS, da Silva MA, Kanis LA, da Rocha LC, Duque-Luna JE, da Silva OS. First report on susceptibility of wild *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) using *Carapa guianensis* (Meliaceae) and *Copaifera* sp. (Leguminosae). *Parasitol Res.* 2012;110(2):699-705.
61. Prophiro JS, da Silva MA, Kanis LA, da Silva BM, Duque-Luna JE, da Silva OS. Evaluation of time toxicity, residual effect, and growth-inhibiting property of *Carapa guianensis* and *Copaifera* sp. in *Aedes aegypti*. *Parasitol Res.* 2012;110(2):713-9.
62. Park YU, Koo HN, Kim GH. Chemical composition, larvicidal action, and adult repellency of *Thymus magnus* against *Aedes albopictus*. *J Am Mosq Control Assoc.* 2012;28(3):192-8.
63. Bilal H, Akram W, Ali-Hassan S. Larvicidal Activity of *Citrus Limonoids* against *Aedes albopictus* Larvae. *J Arthropod Borne Dis.* 2012;6(2):104-11.
64. Kovendan K, Murugan K, Mahesh Kumar P, Thiyagarajan P, John William S. Ovicidal, repellent, adulticidal and field evaluations of plant extract against dengue, malaria and filarial vectors. *Parasitol Res.* 2013;112(3):1205-19.
65. Otta DA, Rott MB, Carlesso AM, da Silva OS. Prevalence of *Acanthamoeba* spp. (Sarcomastigophora: Acanthamoebidae) in wild populations of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *Parasitol Res.* 2012;111(5):2017-22.
66. Leles RN, D'Alessandro WB, Luz C. Effects of *Metarhiziumanisopliae* conidia mixed with soil against the eggs of *Aedes aegypti*. *Parasitol Res.* 2012;110(4):1579-82.
67. Liu Y, Zhang H, Qiao C, Lu X, Cui F. Correlation between carboxylesterase alleles and insecticide resistance in *Culex pipiens* complex from China. *Parasit Vectors.* 2011;4:236.

68. Iturbe-Ormaetxe I, Walker T, O' Neill SL. Wolbachia and the biological control of mosquito-borne disease. *EMBO Rep.* 2011;12(6):508-18.
69. Qsim M, Ashfaq UA, Yousaf MZ, Masoud MS, Rasul I, Noor N, Hussain A. Genetically Modified *Aedes aegypti* to Control Dengue: A Review. *Crit Rev Eukaryot Gene Expr.* 2017;27(4):331-340.
70. V.H. Ferreira-de-Lima, D.C.P. Câmara, N.A. Honório, T.N. Lima-Camara. The Asian tiger mosquito in Brazil: observations on biology and ecological interactions since its first detection in 1986. *Acta Trop.*2020.
71. Organização Pan-Americana de Saúde. Módulo de Princípios de Epidemiologia para o Controle de Enfermidades (MOPECE).
72. Zaidan, R.T. Geoprocessing Concepts And Definitions. *Revista de Geografia-PPGEO -UFJF.* 2017;v.7, n.2, (Jul-Dez) p.195-201.
73. Flauzino, RF; Souza-Santos, R; Oliveira, RM. Dengue, geoprocessing, and socioeconomic and environmental indicators: a review. *Rev Panam Salud Publica.* 2009;25(5) 456-461.
74. Chiaravalloti-Neto, F. O Geoprocessamento E Saúde Pública. *Arquivos de Ciências da Saúde.* 2017; v. 23, n. 4, p. 01-02.
75. Corrêa, JAJ; Gonçalves, DCM; Costa, ICNP; dos Santos JLC; Tota, J. Soil coverage in association with *Aedes albopictus* larvae in an Amazonian urban area. *Ci. e Nat., Santa Maria.* 2019. v. 41, e60.
76. Barbosa, GL; Lourenço, RW. Análise da distribuição espaço-temporal de dengue e da infestação larvária no município de Tupã, Estado de São Paulo. *Rev. Soc. Bras. Med. Trop.* [online]. 2010, v. 43, n. 2. p. 145-151.
77. Rochlin, I., Ninivaggi, D. V., Hutchinson, M. L., & Farajollahi, A. Climate change and range expansion of the Asian tiger mosquito (*Aedes albopictus*) in Northeastern USA: implications for public health practitioners. *PloS one.* 2013. 8(4), e60874.
78. Lorenz, C., Azevedo, T. S., Virginio, F., Aguiar, B. S., Chiaravalloti-Neto, F., & Suesdek, L. Impact of environmental factors on neglected emerging arboviral diseases. *PLoS neglected tropical diseases.* 2017. 11(9), e0005959.
79. Flauzino, R. F., Souza-Santos, R., & Oliveira, R. M. Dengue, geoprocessamento e indicadores socioeconômicos e ambientais: um estudo de revisão. *Revista Panamericana de Salud Pública.* 2009. 25, 456-461.
80. Souza Valladares, G.; Hassum, I. C.; Albuquerque, E. L. S.; Santos, A. C. Dos. Influência De Variáveis Ambientais Na Ocorrência Da Dengue Utilizando Geoprocessamento em Teresina, Piauí. *Hygeia - Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde.* 2019. v. 15, n. 34, p. 102 – 114.
81. Filha LGF; de Paula e Souza, AM. Evolution Of Dengue In The World. *Gestão e Tecnologia Faculdade Delta.* 2019. Ano VIII, V. 1 Edição 28. Jan/Jun.

82. IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [Internet]. [cited 2021 Jul 15]. Available from: <https://www.ibge.gov.br/pt/inicio.html>.

# ANEXO A - PRODUÇÃO CIENTÍFICA PUBLICADA DURANTE O PERÍODO DO DOUTORADO

Acta Tropica 221 (2021) 106014



Contents lists available at ScienceDirect

Acta Tropica

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/actatropica](http://www.elsevier.com/locate/actatropica)

## Change in susceptibility response of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) to organophosphate insecticide and *Copaifera oleoresin*

Josiane Somariva Prophiro<sup>a,b,\*</sup>, Mario Antonio Navarro da Silva<sup>b</sup>,  
Joice Guilherme de Oliveira<sup>a</sup>, Paula Fassicolo Variza<sup>a</sup>, Alessandra B. de Lemos<sup>c</sup>, Harry  
Luiz Pilz-Júnior<sup>c,\*</sup>, Onilda Santos da Silva<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Universidade do Sul de Santa Catarina – UNISUL, Departamento de Ciências Biológicas e da Saúde, Grupo de Pesquisa em Imunoparasitologia, Av. José Acácio Moreira 787, Dohon, 88704-900, Tubarão, SC, Brazil

<sup>b</sup> Universidade Federal do Paraná – UFPR, Setor de Ciências Biológicas, Departamento de Zoologia, Programa de Pós-graduação em Entomologia, Mail box: 19020, 81531-980, Curitiba, PR, Brazil

<sup>c</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Departamento de Microbiologia, Imunologia e Parasitologia, ICRS, Rua Sarmento Leite, 500, Laboratório 311, CEP: 90050-170, Porto Alegre, RS, Brazil

### ARTICLE INFO

#### Keywords:

Mosquito control  
Óleo-resina  
Botanical insecticides  
Susceptibility  
Resistance

### ABSTRACT

The growth of resistance in vector mosquitoes to insecticides, especially the organophosphate Temephos can facilitate the transmission of various disease agents worldwide. Consequently, it arises a challenge to public health agencies, which is the urgency use of other possibilities as botanical insecticides. Such insecticides have specific properties against insects due to the plant's ability to synthesize products derived from its secondary metabolism. The diversity and complexity of active compounds of botanical insecticides can help reduce the selection of resistant individuals and consequently not change susceptibility. To corroborate this hypothesis, the aim of this study was to compare two populations of *Aedes aegypti* treated with Temephos and *Copaifera oleoresin*. Thus, *Ae. aegypti* larvae were exposed from (F<sub>1</sub>) up to tenth generation (F<sub>10</sub>) with sublethal doses ( $\pm$ LC<sub>25</sub>) of these products (*Copaifera oleoresin*: 40 mg/L and Temephos: 0.0030 mg/L). The triplicates and control groups were monitored every 48 hours and the surviving larvae were separated until the emergence of the adults. Each new population were then subjected to a series of concentrations (LC<sub>50</sub> and LC<sub>25</sub>) of Temephos and *Copaifera oleoresin* to calculate the Resistance Ratio (RR) of each exposed generation. The population of *Ae. aegypti* exposed to Temephos had an increase in RR from 05 (considered low) to 13 (considered high). Those population exposed to *Copaifera oleoresin*, had no increasing in RR and continued susceptible to the oil in all generations. There was a significant difference in mortality between the generations exposed to the two products. The results presented here show that the change in the susceptibility status of *Ae. aegypti* population to Temephos was already expected. So, we believe that this work will be of great contribution to research related to mosquito control with plant products, and resistance to chemical insecticides.

### 1. Introduction

As known *Aedes aegypti* is a synanthropic species of mosquito, cosmopolitan and highly anthropophilic (Tchankouo-Nguetcheu et al., 2010). Females exhibit diurnal haematophilic activity and preferably use artificial deposits of clean water to lay their eggs (Tauli, 2002). This species is known to be competent to transmit various arbovirus such as yellow fever (Gubler, 2002), Dengue, Chikungunya and Zika (Souza-Neto et al., 2019) and a number of other pathogenic agents

(Tchankouo-Nguetcheu et al., 2010). Arboviruses, such as dengue, are among the main causes of morbidity and mortality in the world, especially in tropical and subtropical countries (Rivero et al., 2010). In the absence of an effective dengue vaccine (World Health Organization, 2018), the prevention and control of outbreaks and endemic transmission of this arbovirus depend mainly on vector control (Esu et al., 2010).

Chemical insecticides can play a very important role in the prevention and control of infectious diseases such as malaria, dengue and

\* Corresponding authors.

E-mail addresses: [josiane.prophiro@hotmail.com](mailto:josiane.prophiro@hotmail.com) (J.S. Prophiro), [harry.pilz@ufrgs.br](mailto:harry.pilz@ufrgs.br) (H.L. Pilz-Júnior).

<https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2021.106014>

Received 8 April 2021; Received in revised form 7 June 2021; Accepted 8 June 2021

Available online 17 June 2021

0001-706X/© 2021 Elsevier B.V. All rights reserved.

## Notes on the sand fly fauna (Diptera: Psychodidae) in a region of Brazil

Notas sobre a fauna de flebotomíneos (Diptera: Psychodidae) em uma região do Brasil

Notas sobre la fauna de flebótomos (Diptera: Psychodidae) en una región de Brasil

Received: 10/28/2021 | Reviewed: 11/07/2021 | Accept: 11/10/2021 | Published: 11/14/2021

### Paula Fassicolo Variza

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9677-4438>  
 Universidade do Sul de Santa Catarina, Brasil  
 E-mail: paula\_fas@hotmail.com

### Thiago Nunes Pereira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4038-7337>  
 Instituto René Rachou, FioCruz, Brasil  
 E-mail: thiagomunes\_@hotmail.com

### Joice Guilherme de Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7200-8720>  
 Universidade do Sul de Santa Catarina, Brasil  
 E-mail: joice\_o@hotmail.com

### Millena Fernandes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4641-1417>  
 Universidade do Sul de Santa Catarina, Brasil  
 E-mail: millena.bn.f@gmail.com

### Daniel Moreira de Avelar

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7907-7913>  
 Instituto René Rachou, FioCruz, Brasil  
 E-mail: danielavelar@fiocruz.br

### Tarcísio de Freitas Milagres

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7397-1612>  
 Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil  
 E-mail: tarcisiodefraitasmilagres@gmail.com

### Wellington Junior da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9377-3800>  
 Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil  
 E-mail: wellingtonbco@hotmail.com

### Diogo Tavares Cardoso

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7375-4837>  
 Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil  
 E-mail: diogo.tavares0@yahoo.com.br

### Onilda Santos da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4806-8285>  
 Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil  
 E-mail: onilda.santos@gmail.com

### Célia Maria Ferreira Gontijo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7034-535X>  
 Instituto René Rachou, FioCruz, Brasil  
 E-mail: celia.gontijo@fiocruz.br

### Josiane Somariva Prophiro

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1840-1115>  
 Universidade do Sul de Santa Catarina, Brasil  
 E-mail: josiane.prophiro@hotmail.com

### Abstract

The family Psychodidae has a cosmopolitan distribution with members that occur in many habitats, mainly in humid environments, and is most diverse in the tropics. Subfamilies Sycoracinae and Phlebotominae have females with hematophagous habits and the latter studied more due to medical and veterinary interest, since it includes species that can transmit diseases to animals and humans. The knowledge about the sand fly fauna in a region is extremely important for adequate monitoring and control measures for leishmaniasis. Thus, the objective of this study was to characterize Psychodidae fauna in relation to richness, abundance and molecular identification of *Leishmania* spp. in sand flies in southern Santa Catarina, Brazil. The collections were carried out between 2015 and 2016 in three cities in Santa Catarina, Brazil. Samples were taken near feeding places for domestic animals, urban forest and peridomicile areas. The insects were identified and female sand flies were submitted to molecular analysis to detect the presence of *Leishmania* spp.. A total of 4,200 insects were collected, 4,193 from the Sycoracinae subfamily and 7 Phlebotominae

**The first case of canine visceral leishmaniasis in the southern region of Santa Catarina, an emerging focus of visceral leishmaniasis in Brazil: regional report or reflection of the reality of a country?**

O primeiro caso de leishmaniose visceral canina na região sul de Santa Catarina, foco emergente de leishmaniose visceral no Brasil: relato regional ou reflexo da realidade de um país?

El primer caso de leishmaniasis visceral canina en la región sur de Santa Catarina, foco emergente de leishmaniasis visceral en Brasil: informe regional o reflejo de la realidad de un país?

Received: 12/03/2021 | Reviewed: 12/10/2021 | Accept: 12/17/2021 | Published: 12/23/2021

**Diego Soares Leote**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9820-6765>  
Universidade do Sul de Santa Catarina, Brazil  
E-mail: [dcabanha@gmail.com](mailto:dcabanha@gmail.com)

**Dayane Borba da Silva**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1497-5859>  
Universidade do Sul de Santa Catarina, Brazil  
E-mail: [dayanevet@hotmail.com](mailto:dayanevet@hotmail.com)

**Paula Fassicolo Variza**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9677-4438>  
Universidade do Sul de Santa Catarina, Brazil  
E-mail: [paula\\_fas@hotmail.com](mailto:paula_fas@hotmail.com)

**Joice Guilherme de Oliveira**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7200-8720>  
Universidade do Sul de Santa Catarina, Brazil  
E-mail: [joice\\_o@hotmail.com](mailto:joice_o@hotmail.com)

**Cyntia Michielin Lopes**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2067-1314>  
Universidade do Sul de Santa Catarina, Brazil  
E-mail: [cynthiamlopes01@gmail.com](mailto:cynthiamlopes01@gmail.com)

**Wellington Junior da Silva**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9377-3800>  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brazil  
E-mail: [wellingtonbxo@hotmail.com](mailto:wellingtonbxo@hotmail.com)

**Tarcisio de Freitas Milagres**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7397-1612>  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brazil  
E-mail: [tarcisiodefraitasmilagres@gmail.com](mailto:tarcisiodefraitasmilagres@gmail.com)

**Maria Lúcia Rossetti**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9672-9394>  
Universidade Luterana do Brasil, Brazil  
E-mail: [marossetti@terra.com.br](mailto:marossetti@terra.com.br)

**Fernanda dos Santos Rolim**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7440-7466>  
Universidade do Sul de Santa Catarina, Brazil  
E-mail: [femandarolim97@gmail.com](mailto:femandarolim97@gmail.com)

**Onilda Santos da Silva**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4806-8285>  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brazil  
E-mail: [onilda.santos@gmail.com](mailto:onilda.santos@gmail.com)

**Millena Fernandes**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4641-1417>  
Universidade do Sul de Santa Catarina, Brazil  
E-mail: [millena.bn.f@gmail.com](mailto:millena.bn.f@gmail.com)

**Josiane Somariva Prophiro**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1840-1115>  
Universidade do Sul de Santa Catarina, Brazil  
E-mail: [josiane.prophiro@hotmail.com](mailto:josiane.prophiro@hotmail.com)