

# RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)  
autor(a), o texto completo desta  
tese será disponibilizado  
somente a partir de 10/12/2023.

**DINÂMICA DE TRANSMISSÃO DA DENGUE CONSIDERANDO A  
INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E PRECIPITAÇÃO**

**Gabriela Colovati de Almeida**

Tese apresentada à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutora em Biometria.

BOTUCATU  
São Paulo - Brasil  
Dezembro - 2021

**DINÂMICA DE TRANSMISSÃO DA DENGUE CONSIDERANDO A  
INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E PRECIPITAÇÃO**

**Gabriela Colovati de Almeida**

Orientadora: Profa. Dra. **Helenice de Oliveira Florentino Silva**

Tese apresentada à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutora em Biometria.

BOTUCATU  
São Paulo - Brasil  
Dezembro - 2021

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉC. AQUIS. TRATAMENTO DA INFORM.  
DIVISÃO TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - CÂMPUS DE BOTUCATU - UNESP  
BIBLIOTECÁRIA RESPONSÁVEL: ROSEMEIRE APARECIDA VICENTE-CRB 8/5651

Almeida, Gabriela Colovati de.

Dinâmica de transmissão da dengue considerando a influência da temperatura e precipitação / Gabriela Colovati de Almeida. - Botucatu, 2021

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Instituto de Biociências de Botucatu

Orientador: Helenice de Oliveira Florentino Silva  
Capes: 90194000

1. Dengue. 2. Aedes. 3. Epidemiologia. 4. Aspectos ambientais. 5. Modelagem matemática.

Palavras-chave: Aedes; Epidemiologia; Estratégias de controle; Fatores ambientais; Modelagem matemática.

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, ao meu pai Luiz Henrique, a minha mãe Sandra Elaine, as minhas irmãs Ana Julia e Ana Laura por serem essenciais em minha vida, por todo incentivo e amor.

## Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida, pela saúde e força, por sempre me iluminar, acolher e ajudar nos obstáculos encontrados durante toda a minha caminhada.

Agradeço aos meus amados pais, Luiz Henrique e Sandra Elaine, por todo o apoio, compreensão, paciência, incentivo, admiração e amor incondicional. As minhas queridas irmãs, Ana Julia e Ana Laura, por sempre proporcionarem as minhas alegrias diárias.

Agradeço a minha amada vó materna Laurinda por todos os seus cuidados e a toda minha família, pelo apoio, carinho e contribuição, não medindo esforços para que eu completasse mais essa etapa de minha vida. Em especial, às memórias dos meus estimados avós Alberto, Antônio e Julia.

Minha enorme gratidão a minha querida professora orientadora Dra. Helenice de Oliveira Florentino Silva por todo suporte e por todos os seus ensinamentos, incentivos, conselhos, orientações e ótimas conversas.

Meus sinceros agradecimentos ao pesquisador científico Dr. Gerson Laurindo Barbosa da Superintendência de Controle de Endemias (SUCEN) pelo auxílio e colaboração na aquisição de informações e dados estatísticos.

Agradeço imensamente ao meu amigo Eduardo Ribeiro Pinto por toda ajuda e contribuição nas linguagens de programação, por toda companhia, amizade, alegria e empatia.

Agradeço as minhas amigas de infância e aos meus amigos cativados durante essa jornada acadêmica pela compreensão no dia a dia, grandes conversas e sorrisos maravilhosos.

Agradeço à UNESP, ao programa de Pós-Graduação em Biometria e seus funcionários pela oportunidade de realizar este trabalho e por toda colaboração para a produção desta pesquisa.

Minha gratidão e imenso reconhecimento a todos os professores que fizeram parte da minha jornada acadêmica, especialmente ao corpo docente do programa de Pós-Graduação em Biometria, pelos momentos de compreensão, acolhimento, além de ofertas das mais diversas oportunidades.

Por fim, agradeço ao apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, CNPq (302454/2016-0), FAPESP (2013/07375-0) e a Universidade Virtual do Estado de São Paulo (UNIVESP).

*"A alma é uma borboleta...*

*Há um instante em que uma voz nos  
diz que chegou o momento de uma  
grande metamorfose."*

---

*Rubem Alves*



# Sumário

	Página
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>iii</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b>	<b>vi</b>
<b>RESUMO</b>	<b>vii</b>
<b>SUMMARY</b>	<b>ix</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>2 OBJETIVO</b>	<b>4</b>
<b>3 ARBOVIROSES PREOCUPANTES</b>	<b>5</b>
3.1 Arbovírus . . . . .	7
3.2 A Dengue no Mundo e no Brasil: Introdução Histórica . . . . .	10
3.3 Dengue: A Doença . . . . .	13
3.4 O Vetor, o Vírus e a Transmissão da Dengue . . . . .	16
3.5 Condições Climáticas . . . . .	19
3.6 O Controle do Mosquito . . . . .	22
<b>4 MODELAGEM MATEMÁTICA</b>	<b>29</b>
4.1 Modelo Matemático Dinâmico . . . . .	29
4.1.1 Conceitos Preliminares do Modelo Matemático Dinâmico . . . . .	30
4.1.2 Modelo Matemático Dinâmico para descrever a transmissão da dengue considerando a temperatura e a precipitação . . . . .	36

	ii
4.1.3 Capacidade Suporte ( $C_n$ ) envolvendo temperatura e precipitação . . .	41
4.1.4 Análise Matemática do Modelo Matemático Dinâmico . . . . .	46
4.2 Modelo Matemático de Otimização . . . . .	53
4.2.1 Princípio do Mínimo de Pontryagin para a resolução do Modelo (4.18)	56
4.2.2 Algoritmo Genético (AG) . . . . .	59
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>64</b>
5.1 Análise Computacional do Modelo Dinâmico (4.10) . . . . .	66
5.2 Análise Computacional do Modelo de Otimização (4.18) . . . . .	73
<b>6 CONCLUSÕES</b>	<b>84</b>
<b>7 TRABALHOS FUTUROS</b>	<b>86</b>
<b>GLOSSÁRIO EM EPIDEMIOLOGIA</b>	<b>87</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>91</b>
<b>APÊNDICES</b>	<b>109</b>

## Lista de Figuras

	Página
3.1 Dinâmica da metamorfose completa do mosquito <i>Aedes</i> . Fonte: Livro - Tratado de Infectologia (Veronesi & Focaccia, 2015). . . . .	18
4.1 Dinâmica de compartimentos que descreve a transmissão do vírus da dengue.	40
4.2 Condições climáticas e casos de dengue em 2015 - Campinas/SP. . . . .	43
4.3 Condições climáticas e casos de dengue em 2016 - Campinas/SP. . . . .	44
4.4 Condições climáticas e casos de dengue em 2017 - Campinas/SP. . . . .	44
4.5 Condições climáticas e casos de dengue em 2018 - Campinas/SP. . . . .	45
4.6 Matriz $A_{2 \times 365}$ como estrutura do indivíduo propostos para representar uma solução de controle para a dinâmica do sistema representado pelo Modelo (4.18). Em que $u_i(t)$ é o valor da variável de controle $u_i$ no tempo $t$ , para $i = 1, 2$ e $t = 1, 2, \dots, 365$ . . . . .	60
4.7 Processo de cruzamento do AG proposto. . . . .	62
4.8 Processo de mutação do AG proposto. . . . .	62
5.1 Comparação da dinâmica populacional de (a) mosquitos na fase aquática e (b) humanos infectados utilizando a capacidade suporte sem considerar a influência climática e a proposta de $C_n$ variável sob a influência de fatores climáticos para o município de Campinas/SP - 2015. . . . .	67
5.2 Comparação entre a proporção de humanos infectados de Campinas/SP em 2015 e os valores estimados dessa proporção a partir do Modelo (4.10). . . . .	68

5.3	Estimativa dos (a) controles na fase aquática ( $u_a$ ) e na terrestre ( $u_t$ ) do mosquito aplicados pela vigilância em saúde e a (b) comparação de humanos infectados utilizando esses controles estimados para o município de Campinas/SP - 2015. . . . .	69
5.4	Comparação entre a proporção de humanos infectados de Campinas/SP em 2016 e os valores estimados dessa proporção a partir do Modelo (4.10). . . . .	71
5.5	Comparação entre a proporção de humanos infectados de Campinas/SP em 2017 e os valores estimados dessa proporção a partir do Modelo (4.10). . . . .	72
5.6	Comparação entre a proporção de humanos infectados de Campinas/SP em 2018 e os valores estimados dessa proporção a partir do Modelo (4.10). . . . .	73
5.7	(a) Estratégias de controles ótimos para a fase aquática ( $u_a$ ) e terrestre ( $u_t$ ) do mosquito e a (b) Comparação entre a proporção de humanos infectados obtidos pelo Modelo (4.18), o qual foi resolvido pelo PMP utilizando os controles ótimos, e os dados reais do município de Campinas/SP - 2015. . . . .	75
5.8	(a) Estratégias de controles ótimos para a fase aquática ( $u_a$ ) e terrestre ( $u_t$ ) do mosquito e a (b) Comparação entre a proporção de humanos infectados obtidos pelo Modelo (4.18), o qual foi resolvido pelo AG utilizando os controles ótimos, e os dados reais do município de Campinas/SP - 2015. . . . .	76
5.9	Curva de convergência do AG. . . . .	77
5.10	(a) Estratégias de controles ótimos para a fase aquática ( $u_a$ ) e terrestre ( $u_t$ ) do mosquito e a (b) Comparação entre a proporção de humanos infectados obtidos pelo Modelo (4.18), o qual foi resolvido pelo PMP utilizando os controles ótimos, e os dados reais do município de Campinas/SP - 2016. . . . .	78
5.11	(a) Estratégias de controles ótimos para a fase aquática ( $u_a$ ) e terrestre ( $u_t$ ) do mosquito e a (b) Comparação entre a proporção de humanos infectados obtidos pelo Modelo (4.18), o qual foi resolvido pelo AG utilizando os controles ótimos, e os dados reais do município de Campinas/SP - 2016. . . . .	79

5.12 (a) Estratégias de controles ótimos para a fase aquática ( $u_a$ ) e terrestre ( $u_t$ ) do mosquito e a (b) Comparação entre a proporção de humanos infectados obtidos pelo Modelo (4.18), o qual foi resolvido pelo PMP utilizando os controles ótimos, e os dados reais do município de Campinas/SP - 2017. . . . .	80
5.13 (a) Estratégias de controles ótimos para a fase aquática ( $u_a$ ) e terrestre ( $u_t$ ) do mosquito e a (b) Comparação entre a proporção de humanos infectados obtidos pelo Modelo (4.18), o qual foi resolvido pelo AG utilizando os controles ótimos, e os dados reais do município de Campinas/SP - 2017. . . . .	81
5.14 (a) Estratégias de controles ótimos para a fase aquática ( $u_a$ ) e terrestre ( $u_t$ ) do mosquito e a (b) Comparação entre a proporção de humanos infectados obtidos pelo Modelo (4.18), o qual foi resolvido pelo PMP utilizando os controles ótimos, e os dados reais do município de Campinas/SP - 2018. . . . .	82
5.15 (a) Estratégias de controles ótimos para a fase aquática ( $u_a$ ) e terrestre ( $u_t$ ) do mosquito e a (b) Comparação entre a proporção de humanos infectados obtidos pelo Modelo (4.18), o qual foi resolvido pelo AG utilizando os controles ótimos, e os dados reais do município de Campinas/SP - 2018. . . . .	83

## Lista de Tabelas

	Página
5.1 Valores dos parâmetros epidemiológicos. . . . .	65
7.1 Casos autóctones de Dengue do município de Campinas/SP em 2015. . .	114
7.2 Casos autóctones de Dengue do município de Campinas/SP em 2016. . .	115
7.3 Casos autóctones de Dengue do município de Campinas/SP em 2017. . .	116
7.4 Casos autóctones de Dengue do município de Campinas/SP em 2018. . .	117

# DINÂMICA DE TRANSMISSÃO DA DENGUE CONSIDERANDO A INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E PRECIPITAÇÃO

Autora: GABRIELA COLOVATI DE ALMEIDA

Orientadora: Profa. Dra. HELENICE DE OLIVEIRA FLORENTINO SILVA

## RESUMO

A dengue, a chikungunya, a zika e a febre amarela tornaram-se doenças notáveis em todo o mundo por afetar milhões de pessoas. Nas últimas décadas, a incidência global dessas doenças infecciosas transmitidas por vetores, cresceu drasticamente, desafiando os programas de saúde pública no processo de tomada de decisão para o controle e fornecimento de novos métodos em resposta ao surgimento de novas infecções. O desenvolvimento e proliferação dessas enfermidades são acentuadas pelas viagens, comércio global, avanço da globalização, falta de serviços de saneamento básico e de mudanças climáticas.

Este trabalho propõe um modelo matemático de sistema de EDO's que descreve a dinâmica de propagação do vírus da dengue, disseminado por mosquitos do gênero *Aedes*, através da interação das populações de humanos e mosquitos, considerando como diferencial a influência da temperatura e a precipitação como

fatores ambientais de interesse para analisar o crescimento populacional do mosquito e, conseqüentemente, a dispersão da doença. Diante disso, propõe-se ainda, um modelo de otimização para determinar estratégias de controle ótimo para a fase aquática e terrestre do mosquito, visando minimizar a população de humanos infectados e evitar novos surtos desta doença. Simulações computacionais para os modelos propostos foram realizadas, considerando diferentes cenários, a fim de mostrar a aplicabilidade da metodologia proposta. Os resultados numéricos mostraram que considerar condições climáticas na capacidade suporte na fase aquática do mosquito pode melhorar potencialmente o modelo matemático como ferramenta para descrever o problema real de transmissão do vírus da dengue.

**Palavras-chave:** Modelagem matemática. Epidemiologia. *Aedes*. Fatores ambientais. Estratégias de controle.



# DENGUE TRANSMISSION DYNAMICS CONSIDERING THE INFLUENCE OF TEMPERATURE AND PRECIPITATION

Author: GABRIELA COLOVATI DE ALMEIDA

Adviser: Profa. Dra. HELENICE DE OLIVEIRA FLORENTINO SILVA

## SUMMARY

Dengue, chikungunya, zika and yellow fever became notable diseases all over the world for affecting millions of people. In the last few decades, the global incidence of these vector-borne infectious diseases has grown dramatically, challenging public health programs in the decision making programs for the control and supply of new methods responding to the onset of new infections. The development and spread of these diseases are accentuated by trips, global commerce, globalization advances, lack of basic water treatment and climatic changes. This work proposes a mathematical model of an EDO's system that describes the spread dynamics of the spread of the dengue virus, disseminated by mosquitoes of the genus *Aedes*, through the interaction of human and mosquito populations, considering the influence of temperature and precipitation as differential factors of interest to analyze the mosquito populational growth and, consequently, the disease spread. Therefore,

an optimization model is proposed to determine optimal control strategies for the aquatic and terrestrial phase of the mosquito, aiming to minimize the population of infected humans and avoid new outbreaks of this disease. Computer simulations for the proposed models were carried out, considering different scenarios, in order to present the proposed methodology applicability. Numerical results showed that considering climatic conditions in the carrying capacity in the aquatic phase of the mosquito can potentially improve the mathematical model as a tool to describe the real problem of transport.

**Keywords:** Mathematical modeling. Epidemiology. *Aedes*. Environmental factors. Control Strategies.

# 1 INTRODUÇÃO

As arboviroses formam um grupo diversificado de doenças que são transmissíveis aos seres humanos e outros animais através de artrópodes hematófagos, prevalecendo em países que apresentam condições tropicais e subtropicais. Os arbovírus que causam a dengue, zika, chikungunya e febre amarela têm desafiado as políticas públicas de saúde por afetar bilhões de pessoas, principalmente as populações mais pobres que não dispõem de saneamento básico adequado (Lequime & Lambrechts, 2014).

A dengue é uma doença infecciosa febril aguda causada por um arbovírus e transmitida para os seres humanos através de picadas dos mosquitos fêmeas, principalmente da espécie *Aedes aegypti*. A enfermidade não tem tratamento exclusivo, podendo manifestar-se clinicamente de modo clássico ou grave – quando se apresenta na forma hemorrágica. Existem quatro sorotipos distintos do vírus que resultam na infecção, conferindo imunidade permanente para cada sorotipo específico (Veronesi & Focaccia, 2015).

O número de novos casos de infecções por dengue cresceu drasticamente nas últimas décadas, tornando a doença viral transmitida por artropódes mais relevante que atinge os seres humanos em todo o mundo. A dengue está difundida por todos os territórios de climas tropicais e subtropicais, ocorrendo basicamente em áreas urbanas. O aumento da disseminação do vírus da dengue é impulsionado pela globalização, rápido crescimento populacional, urbanização não planejada, falta de controles eficazes para a população de mosquitos, mudanças climáticas, entre outros (WHO, 2020b).

Os fatores abióticos, como temperatura e precipitação, influenciam significativamente no desenvolvimento da população de mosquitos e no ciclo de transmissão do vírus, contribuindo para o aumento da incidência de dengue. A identificação e a compreensão do papel das variáveis ambientais que afetam a dinâmica de transmissão do vírus são fundamentais para projetar e prever novas epidemias (Rocklöv & Dubrow, 2020).

Muitos modelos matemáticos têm sido utilizados para modelar características epidemiológicas ou fatores associados ao contágio, que atuam sobre a dinâmica de transmissão do vírus da dengue, buscando explicar o comportamento e evolução da doença nas populações, para assim pressupor as melhores intervenções, estratégias de combate ao vetor e prevenção sobre a arbovirose (Esteva & Yang, 2015; Hii et al., 2012).

Nesta pesquisa, propõe-se um modelo matemático de equações diferenciais ordinárias para descrever a evolução de transmissão do vírus da dengue entre as populações de humanos e vetores, empregando a temperatura e a precipitação como condições ambientais que auxiliam na observação do comportamento e disseminação da doença. O modelo não considerou nenhum tipo de controle sobre a população de mosquitos, mas ações de vigilância e controle de vetores são constantemente empregadas pelos municípios brasileiros, então foi inserido a aplicação de um controle na fase aquática e um na fase terrestre do mosquito para estender o modelo para um problema de otimização, no qual é proposto estratégias de controle ótimo para minimizar a dengue.

O trabalho está estruturado em capítulos. O objetivo desta pesquisa está apresentado no segundo capítulo. Em seguida, no capítulo três, encontram-se descritos os principais problemas das arboviroses mais preocupantes atualmente no mundo, com destaque para o grande crescimento na incidência global de dengue. Ainda nesse capítulo, estão relatados um pouco da trajetória histórica do vírus da dengue ao longo dos anos no mundo e no Brasil, as principais características e fatores epidemiológicos do vírus, vetor hospedeiro e transmissão da doença.

No quarto capítulo, propõe-se um modelo matemático dinâmico que utiliza a temperatura ambiental e precipitação como fatores climáticos de importância para descrever a disseminação do vírus da dengue. Além disso, nesse mesmo capítulo, o modelo de otimização proposto é abordado, visando sugerir estratégias de controle ótimo na fase aquática e terrestre da população de mosquitos para minimizar o número de infecções por dengue.

As discussões e os resultados numéricos das análises computacionais do modelo dinâmico e para o modelo de otimização são apresentados no capítulo cinco. E, por fim, as conclusões deste trabalho e as recomendações para os trabalhos futuros são apontadas, respectivamente, nos capítulos seis e sete.

## 6 CONCLUSÕES

Neste trabalho foi proposto um modelo matemático dinâmico, baseado nas ideias de Bailey (1975), Dietz (1975) e Esteva & Yang (2005) para descrever a dinâmica de transmissão do vírus da dengue. Sabendo ainda que, a temperatura e precipitação são fatores ambientais que influenciam diretamente o ciclo de vida da população de vetores e incidência da dengue, foi proposto neste trabalho a capacidade suporte variável na fase aquática dos mosquitos (ovos, estádios das larvas e pupas) considerando a ação dessas condições climáticas como fatores favoráveis e desfavoráveis ao desenvolvimento do mosquito.

Os resultados numéricos indicam que, utilizar a capacidade suporte variável na fase aquática do mosquito levando em consideração condições climáticas pode potencialmente melhorar o modelo como ferramenta para descrever a dinâmica de transmissão do vírus da dengue, adequando-se melhor à realidade no contexto brasileiro.

Foi proposto também neste trabalho um modelo de otimização para determinar estratégias de controles ótimos para a população de mosquitos na fase aquática e terrestre, visando minimizar a proporção de humanos infectados e custos com a aplicação desses controles. Para determinar a resolução deste sistema, utilizou-se duas técnicas: o Princípio do Mínimo de Pontryagin (PMP) e o Algoritmo Genético (AG) proposto para o problema de otimização.

O AG mostrou ser uma boa ferramenta para determinar estratégias de controles ótimos para o problema em questão, sendo capaz de determinar estratégias de controles fáceis de serem implementadas na prática e que reduzem os casos de pessoas infectadas com o vírus da dengue. Esse resultado demonstra a importância

do uso adequado dos diversos tipos de controle sobre a população dos mosquitos, tanto em sua fase aquática quanto em sua fase terrestre.

As análises dos resultados permitiram mostrar as relações de algumas variáveis climáticas que auxiliam na descrição e caracterização do comportamento da dengue. Evidenciando que, é necessário fazer um monitoramento mais intenso em períodos de baixa incidência, intervenções precoces para reduzir a possibilidade de aumento da população de mosquitos e detecções prévias das confirmações de novos casos da doença no início do período de sazonalidade da doença (início do verão) para evitar e controlar grandes surtos de dengue no futuro.

O Modelo Dinâmico (4.10) exibido neste estudo, considerando as condições climáticas (temperatura e precipitação) e interações das populações de humanos e mosquitos, apresenta grande potencial para investigar o comportamento da dinâmica de disseminação do vírus da dengue, já que descreve de maneira mais coerente o problema real, mostrando possibilidades de aplicação de controles e estratégias de intervenção sobre a população de vetores. Vale destacar que, o modelo e seus parâmetros podem ser adaptados/calibrados para representar a dinâmica de transmissão do vírus em diversas localidades (outros municípios) e até mesmo para outras doenças infecciosas transmitidas pelo mosquito *Aedes*.

## 7 TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se aqui algumas ideias para trabalhos futuros, baseados nas extensões deste estudo, como:

- Aplicar o modelo matemático dinâmico para outros municípios para prever os casos de infecções por dengue, sugerindo melhores estratégias de controle na população de mosquitos e contenção da doença para surtos futuros.
- Prever e acompanhar a aplicação dos controles ótimos determinados a partir do Modelo de Otimização (4.18) proposto neste trabalho, em outros municípios para os próximos anos.
- Investigar o Modelo Dinâmico (4.10) deste estudo para descrever outras doenças infecciosas transmitidas pelo mosquito *Aedes*. Além de pesquisar estratégias de controle ótimo para evitar novos surtos dessas doenças.



## Glossário em Epidemiologia

Desenvolveu-se aqui, uma reunião de importantes termos específicos observados na Epidemiologia e neste trabalho, com o objetivo de esclarecer as terminologias mais usadas e encontradas em aplicações dos mais diversos contextos de vigilância em saúde e no controle de doenças transmissíveis.

A definição para cada um dos termos epidemiológicos abaixo foi baseada de Hethcote (2000) e Porta (2014):

1. Arboviroses: é o grupo de doenças causadas pelos chamados arbovírus e que são transmitidas por artrópodes.
2. Caso autóctone: quando se trata de doenças infecciosas, é um caso de origem local.
3. Curva epidêmica: distribuição dos casos representado graficamente pelo tempo de início da doença.
4. Doença infecciosa: são aquelas causadas por microrganismos (patógenos) ou por um agente infeccioso específico, e os humanos podem adquiridas pela a exposição de água ou alimentos contaminados, contato direto com o patógeno, ferimentos de animais e através do contato sexual ou respiratório.
5. Eficácia (eficaz): é o poder de produzir um resultado benéfico em condições ideais, por meio de uma intervenção, procedimento, regime ou serviço específico.
6. Eficiência (eficiente): efeitos ou resultados finais alcançados da utilização dos recursos disponíveis da melhor maneira possível, em relação ao esforço gasto em termos econômicos, recursos e tempo.

7. Efetividade (efetiva): é a relação entre transformações reais observadas em uma população, através de uma intervenção ou política que cumpre os objetivos na prática.
8. Endemia: é a ocorrência contínua ou prevalência usual de uma doença, distúrbio ou agente infeccioso nocivo em uma determinada área geográfica ou grupo populacional.
9. Epidemia: é a ocorrência do crescimento do número de casos de uma doença acima da expectativa normal, espalhando-se por diversas regiões, estados ou cidades.
10. Erradicação (da doença): término de toda transmissão de infecção por extermínio do agente infeccioso em questão, através de medidas de vigilância, prevenção e controle.
11. Esperança de vida (expectativa de vida): número médio de anos esperados que um indivíduo deve viver, caso sejam mantidas as taxas de mortalidade atuais em um determinado espaço geográfico.
12. Hospedeiro: um humano ou outro animal vivo, incluindo pássaros e artrópodes, que fornece subsistência ou alojamento a um agente infeccioso em condições naturais.
13. Incidência: número de novos casos de uma doença, durante um determinado período em uma população específica.
14. Morbidade: qualquer afastamento, subjetivo ou objetivo, de um estado de bem-estar fisiológico ou psicológico, ou seja, um comportamento de agravo à saúde em uma população exposta.
15. Pandemia: é o pior cenário em escala de gravidade na incidência de uma doença. Acontece quando uma epidemia ocorre em uma área muito ampla, cruzando fronteiras internacionais, estendendo-se a níveis mundiais, ou seja,

afetando um grande número de pessoas em diversos países e continentes. A Organização Mundial da Saúde (OMS) é quem determina quando uma doença torna-se uma ameaça de nível global.

16. Período de incubação: intervalo de tempo decorrido entre a ocupação de um agente infeccioso no hospedeiro e o aparecimento dos primeiros sinais ou início dos sintomas clínicos da doença.
17. Prevalência: uma métrica que mede a ocorrência de qualquer tipo de condição de saúde, exposição ou outro fator relacionado à saúde, podendo referir-se ao número total de casos de indivíduos que têm a doença dividido pela população em risco de contrair a doença em um determinado momento.
18. Surto: pode ser caracterizado como uma epidemia limitada, ou seja, é o aumento repentino e inesperado do número de casos de uma doença concentrado apenas em uma região, por exemplo, em um bairro ou cidade.
19. Taxa de letalidade: é um indicativo de gravidade de uma enfermidade e representa o número de óbitos por uma determinada causa simultânea diagnosticada, entre indivíduos da população que apresentam a doença ativa, por exemplo, vítimas de uma mesma doença viral.
20. Taxa de mortalidade: é um indicador que representa o número de óbitos registrados de uma determinada população durante um intervalo de tempo.
21. Transmissão horizontal: pode ocorrer de forma direta ou indireta. Na transmissão horizontal direta, o hospedeiro suscetível adquire um tipo de infecção por meio de contato físico ou secreções de um hospedeiro infectado. Na transmissão horizontal indireta, entende-se que um veículo animado (vetor) ou inanimado (água, ar ou alimento) propaga o agente infeccioso entre hospedeiros suscetíveis e infectados.
22. Transmissão vertical: é quando o patógeno pode ser transmitido de uma

geração para outra, ou seja, a fêmea pode transmitir a infecção para o ovo, embrião ou feto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBAS, A.; ABBAS, R. Z.; KHAN, J. A.; IQBAL, Z.; BHATTI, M. M. H.; SINDHU, Z.; ZIA, M. A. Integrated Strategies for the Control and Prevention of Dengue Vectors with Particular Reference to *Aedes aegypti*. **Pakistan Veterinary Journal**, v.34, n.1, p.1–10, 2014.

ALMEIDA, G. C. Modelo espaço-discreto para análise de propagação da dengue. Instituto de Biociências de Botucatu, 2017. 88p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

ALMEIDA, G. C.; SANTOS, F. L. P. Modelo matemático espaço-discreto para análise de propagação da dengue. **Revista Eletrônica Paulista de Matemática (ERMAC)**, v.7, p.78–87, 2016.

ALMEIDA, V. V. P. Controle ótimo aplicado a problemas biológicos. Departamento de Álgebra; Análise; Geometria e Topologia; Matemática Aplicada, 2010. 81p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

ALPHEY, L. Re-engineering the sterile insect technique. **Insect Biochemistry and Molecular Biology**, v.32, n.10, p.1243–1247, 2002.

ALPHEY, L.; BENEDICT, M.; BELLINI, R.; CLARK, G. G.; DAME, D. A.; SERVICE, M. W.; DOBSON, S. L. Sterile-insect methods for control of mosquito-borne diseases: an analysis. **Vector borne and zoonotic diseases**, v.10, n.3, p.295–311, 2010.

ALPHEY, L.; MCKEMEY, A.; NIMMO, D.; OVIEDO, M. N.; LACROIX, R.; MATZEN, K.; BEECH, C. Genetic control of *Aedes* mosquitoes. **Pathogens and global health**, v.107, n.4, p.170–179, 2013.

ALPHEY, N.; ALPHEY, L.; BONSALL, M. B. A model framework to estimate impact and cost of genetics-based sterile insect methods for dengue vector control. **PloS one**, v.6, n.10, p.e25384, 2011.

ANDERSON, R. M.; MAY, R. M. **Infectious Diseases of Humans: Dynamics and Control**. USA: Oxford University Press, 1991. 768p.

ARAÚJO, V. E. M.; BEZERRA, J. M. T.; AMÂNCIO, F. F.; PASSOS, V. M. A.; CARNEIRO, M. Aumento da carga de dengue no Brasil e unidades federadas, 2000 e 2015: análise do *Global Burden of Disease Study* 2015. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v.20, n.1, p.205–216, 2017.

AYRES, J. R. C. M. Epidemiologia, promoção da saúde e o paradoxo do risco. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v.5, p.28–42, 2002.

BAILEY, N. T. J. **The Mathematical Theory of Infectious Diseases**. London: Griffin, 1975.

BAKER, B. M.; AYECHEW, M. A. A genetic algorithm for the vehicle routing problem. **Computers & Operations Research**, v.30, n.5, p.787–800, 2003.

BARREIRA, L.; VALLS, C. **Equações Diferenciais Ordinárias: Teoria Qualitativa**. São Paulo: Livraria da Física, 1ª edição, 2012. 260p.

BARRETO, M. L.; TEIXEIRA, M. G. Dengue no Brasil: situação epidemiológica e contribuições para uma agenda de pesquisa. **Estudos Avançados**, v.22, n.64, p.53–72, 2008.

BARTLETT, A. C.; STATEN, R. T. The sterile release method and other genetic control strategies. **University of Minnesota, St. Paul**, 1996.

BASSANEZI, R. C. **Ensino-aprendizagem com modelagem matemática: uma nova estratégia**. São Paulo: Contexto, 2002.

BASSANEZI, R. C. **Equações diferenciais ordinárias: um curso introdutório**. São Paulo: Coleção BC&T, UFBAC, 2011.

BENELLI, G. Research in mosquito control: current challenges for a brighter future. **Parasitology Research**, v.114, p.2801–2085, 2015.

BENELLI, G.; JEFFRIES, C. L.; WALKER, T. Biological Control of Mosquito Vectors: Past, Present, and Future. **Insects**, v.7, n.52, 2016.

BHATT, S.; GETHING, P. W.; BRADY, O. J.; MESSINA, J. P.; FARLOW, A. W.; MOYES, C. L.; DRAKE, J. M.; BROWNSTEIN, J. S.; HOEN, A. G.; SANKOH, O.; MYERS, M. F.; GEORGE, D. B.; JAENISCH, T.; WINT, G. R. W.; SIMMONS, C. P.; SCOTT, T. W.; FARRAR, J. J.; HAY, S. I. The global distribution and burden of dengue. **Nature**, v.496, n.7446, p.504–507, 2013.

BONITA, R.; BEAGLEHOLE, R.; KJELLSTROM, T. **Epidemiologia Básica**. São Paulo: Santos, 2010. 213p.

BOWONG, S.; DUMONT, Y.; TEWA, J. J. A patchy model for chikungunya-like diseases. **International Journal on Mathematical Methods and Models in Biosciences**, v.2, n.1, p.1–19, 2013.

BOYCE, W. E.; DIPRIMA, R. C. **Equações diferenciais elementares e problemas de valores de contorno**. Rio de Janeiro: LTC, 9ª edição, 2010. 624p.

BOYCE, W. E.; DIPRIMA, R. C.; MEADE, D. B. **Equações diferenciais elementares e problemas de valores de contorno**. Rio de Janeiro: LTC, 11ª edição, 2020. 408p.

BRADY, O. J.; HAY, S. I. The global expansion of dengue: how *Aedes aegypti* mosquitoes enabled the first pandemic arbovirus. **Annual Review of Entomology**, v.65, n.1, p.191–208, 2020.

BRAGA, I. A.; VALLE, D. *Aedes aegypti*: inseticidas, mecanismos de ação e resistência. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v.16, n.4, p.179–293, 2007.

BRASIL. Ministério da Saúde. Dengue instruções para pessoal de combate ao vetor: manual de normas técnicas. Brasília: Ministério da Saúde, Fundação Nacional da Saúde. p.84, 2001.

BRASIL. Ministério da Saúde. Dengue: aspectos epidemiológicos, diagnóstico e tratamento. Brasília: Ministério da Saúde, Fundação Nacional da Saúde. p.20, 2002a.

BRASIL. Ministério da Saúde. Normas e recomendações técnicas para vigilância e controle do *Aedes aegypti* no estado de São Paulo. São Paulo: Secretária de Saúde do estado de São Paulo, Superintendência de Controle de Endemias – SUCEN. p.76, 2002b.

BRASIL. Ministério da Saúde. Doenças infecciosas e parasitárias: guia de bolso. Brasília: Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. p.320, 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde. Diretrizes nacionais para prevenção e controle de epidemias de dengue. Brasília: Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, Departamento de Vigilância Epidemiológica. p.160, 2009a.

BRASIL. Ministério da Saúde. Guia para gestão local do controle da malária: módulo 2: controle vetorial. Brasília: Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. p.59, 2009b.

BRASIL. Ministério da Saúde. Doenças infecciosas e parasitárias: guia de bolso. Brasília: Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. p.448, 2010.

BRASIL. Ministério da Saúde. Normas e orientações técnicas para vigilância e controle de *Aedes aegypti*. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo, Secretária de Estado da Saúde, Superintendência de Controle de Endemias – SUCEN. p.12, 2017.

CARRINGTON, L. B.; SIMMONS, C. P. Human to mosquito transmission of dengue viruses. **Frontiers in immunology**, v.5, 2014.



CASTILLO-CHAVEZ, C. **Mathematical and Statistical Approaches to AIDS Epidemiology**. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1989. 424p.

CAVALCANTI, L. P. G.; PONTES, R. J. S.; REGAZZI, A. C. F.; JÚNIOR, F. J. P.; FRUTUOSO, R. L.; SOUSA, E. P.; FILHO, F. F. D.; LIMA, J. W. O. Competência de peixes como predadores de larvas de *Aedes aegypti*, em condições de laboratório. **Revista de Saúde Pública**, v.41, n.4, p.638–644, 2007.

CHAMBERS, L. D. **The Practical Handbook of Genetic Algorithms: Applications**. New York: Chapman and Hall/CRC, 2000. 544p.

CHASTEL, C. Eventual role of asymptomatic cases of dengue for the introduction and spread of dengue viruses in non-endemic regions. **Frontiers in physiology**, v.3, 2012.

CHENG, Q.; JING, Q.; SPEAR, R. C.; MARSHALL, J. M.; YANG, Z.; GONG, P. Climate and the Timing of Imported Cases as Determinants of the Dengue Outbreak in Guangzhou, 2014: Evidence from a Mathematical Model. **PLoS neglected tropical diseases**, v.10, n.2, p.e0004417, 2011.

CHOI, Y.; TANG, C. S.; MCIVER, L.; HASHIZUME, M.; CHAN, V.; ABEYASINGHE, R. R.; IDDINGS, S.; HUY, R. Effects of weather factors on dengue fever incidence and implications for interventions in Cambodia. **BMC Public Health**, v.16, n.241, 2016.

CHU, P. C.; BEASLEY, J. E. A genetic algorithm for the Multidimensional Knapsack Problem. **Journal of Heuristics**, v.4, p.63–86, 1998.

CORDEIRO, M. T. Evolução da dengue no estado de Pernambuco, 1987-2006: epidemiologia e caracterização molecular dos sorotipos circulantes. Recife, 2008. 226p. Dissertação (Mestrado) - Centro de Pesquisas Aggeu Magalhães, Fundação Oswaldo Cruz.

DICK, O. B.; SAN MARTÍN, J. L.; MONTOYA, R. H.; DEL DIEGO, J.; ZAMBRANO, B.; DAYAN, G. H. The history of dengue outbreaks in the Americas. **The American journal of tropical medicine and hygiene**, v.87, n.4, p.584–593, 2012.

DIEKMANN, O.; HEESTERBEEK, J. A. P.; METZ, J. A. J. On the definition and the computation of the basic reproduction ratio  $R_0$  in models for infectious diseases in heterogeneous populations. **Journal Mathematical Biology**, v.28, n.4, p.365–382, 1990.

DIENG, H.; RAHMAN, G. M. S.; HASSAN, A. A.; SALMAH, M. R. C.; SATHO, T.; MIAKE, F.; BOOTS, M.; SAZALY, A. The effects of simulated rainfall on immature population dynamics of *Aedes albopictus* and female oviposition. **International Journal of Biometeorology**, v.56, n.1, p.113–120, 2012.

DIETZ, K. Transmission and control of arbovirus diseases. **Proceedings of SIMS Conference on Epidemiology**, p.104–121, 1975.

DIETZ, K.; MOLINEAUX, L.; THOMAS, A. A malaria model tested in the African savannah. **Bull. Wld Hlth Org.**, v.50, n.3-4, p.347–357, 1974.

DONALÍSIO, M. R.; GLASSER, C. M. Vigilância entomológica e controle de vetores do dengue. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v.5, n.3, p.259–279, 2002.

DUONG, V.; LAMBRECHTS, L.; PAUL, R. E.; LY, S.; LAY, R. S.; LONG, K. C.; HUY, R.; TARANTOLA, A.; SCOTT, T. W.; SAKUNTABHAI, A.; BUCHY, P. Asymptomatic humans transmit dengue virus to mosquitoes. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v.112, n.47, p.14688–14693, 2015.

DYCK, V. A.; HENDRICHS, J.; ROBINSON, A. S. **Sterile Insect Technique: Principles and Practice in Area-Wide Integrated Pest Management**. Berlin: Springer Netherlands, 2005. 804p.

ESTEVA, L.; YANG, H. M. Mathematical model to assess the control of *Aedes aegypti* mosquitoes by the sterile insect technique. **Mathematical Biosciences**, v.198, n.2, p.132–147, 2005.

ESTEVA, L.; YANG, H. M. Assessing the effects of temperature and dengue virus load on dengue transmission. **Journal of Biological Systems**, v.23, n.4, p.527–554, 2015.

FAYE, O.; FREIRE, C. C.; IAMARINO, A.; FAYE, O.; OLIVEIRA, J. V.; DIALLO, M.; SALL, A. A. Molecular evolution of Zika virus during its emergence in the 20(th) century. **PLoS neglected tropical diseases**, v.8, n.1, 2014.

FLORENTINO, H. O.; CANTANE, D. R.; REIS, C. A.; COLÓN, D.; ROSA, S. S. R. F. Algoritmo de Busca em Vizinhança Variável para Determinação de Controle Otimizado para a População de *Aedes aegypti*. **Proceeding Series of the Brazilian Society of Applied and Computational Mathematics**, v.6, n.1, 2018a.

FLORENTINO, H. O.; CANTANE, D. R.; SANTOS, F. L. P.; BANNWART, B. F. Multiobjective Genetic Algorithm applied to dengue control. **Mathematical Biosciences**, v.258, p.77–84, 2014.

FLORENTINO, H. O.; CANTANE, D. R.; SANTOS, F. L. P.; REIS, C. A.; PATO, M. V.; JONES, J.; CERASUOLO, M.; OLIVEIRA, R. A.; LYRA, L. G. Genetic Algorithm for optimization of the *Aedes aegypti* control strategies. **Pesquisa Operacional**, v.38, n.3, p.389–411, 2018b.

FU, G.; LEES, R. S.; NIMMO, D.; AW, D.; JIN, L.; GRAY, P.; BERENDONK, T. U.; WHITE-COOPER, H.; SCAIFE, S.; PHUC, H. K.; MARINOTTI, O.; JASINSKIENE, N.; JAMES, A. A.; ALPHEY, L. Female-specific flightless phenotype for mosquito control. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v.107, n.10, p.4550–4554, 2010.

GITHEKO, A. K.; LINDSAY, S. W.; CONFALONIERI, U. E.; PATZ, J. A. Climate change and vector-borne diseases: a regional analysis. **Bulletin of the World Health Organization**, v.78, n.9, p.1136–1147, 2000.

GOLDBERG, D. E. **Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning**. Boston, United States: Addison-Wesley Publishing Company, 1989. 412p.

GUBLER, D. J. Dengue and dengue hemorrhagic fever. **Clinical microbiology reviews**, v.11, n.3, p.480–496, 1998.

GUBLER, D. J. Dengue/dengue haemorrhagic fever: history and current status. **Novartis Foundation Symposium**, v.277, p.03–22, 2006.

GUERRANT, R.; WALKER, D.; WELLER, P. **Tropical Infectious Diseases: Principles, Pathogens and Practice**. Saunders Elsevier, 2011. 1156p.

GUZMAN, M. G.; ALVAREZ, M.; HALSTEAD, S. B. Secondary infection as a risk factor for dengue hemorrhagic fever/dengue shock syndrome: an historical perspective and role of antibody-dependent enhancement of infection. **Archives of Virology**, v.158, p.1445–1459, 2013.

GUZMAN, M. G.; GUBLER, D. J.; IZQUIERDO, A.; MARTINEZ, E.; HALSTEAD, S. B. Dengue infection. **Nature Reviews Disease Primers**, v.2, n.16055, 2016.

GUZMAN, M. G.; HARRIS, E. Dengue. **The Lancet**, v.385, n.9966, p.453–465, 2015.

HALSTEAD, S. B. Dengue Virus-Mosquito Interactions. **Annual Review of Entomology**, v.53, n.1, p.273–291, 2008.

HAMDAN, N.; KILICMAN, A. Analysis of the fractional order dengue transmission model: a case study in Malaysia. **Advances in Difference Equations**, , n.31, 2019.

HAMER, W. H. Epidemic diseases in England: the evidence of variability and of persistence of type. **Lancet**, v.167, n.4305, p.569–574, 1906.

HETHCOTE, H. W. The Mathematics of Infectious Diseases. **SIAM Review**, v.42, n.4, p.599–653, 2000.

HII, Y. L.; NG, N.; NG, L. C.; ROCKLÖV, J. Forecast of Dengue Incidence Using Temperature and Rainfall. **PLoS Neglected Tropical Diseases**, v.6, n.11, p.e1908, 2012.

HII, Y. L.; ROCKLÖV, J.; NG, N.; TANG, C. S.; PANG, F. Y.; SAUERBORN, R. Climate variability and increase in intensity and magnitude of dengue incidence in Singapore. **Global Health Action**, v.2, 2009.

HOLLAND, J. H. **Adaptation in Natural and artificial Systems**. University of Michigan Press, Ann Arbor: MIT Press, 1975. 183p.

INSTITUTE OF MEDICINE. **Vector-Borne Diseases: Understanding the Environmental, Human Health, and Ecological Connections: Workshop Summary**. Washington, DC: The National Academies Press, 2008. 350p.

JANSEN, C. C.; BEEBE, N. W. The dengue vector *Aedes aegypti*: what comes next. **Microbes and Infection**, v.12, n.4, p.272–279, 2010.

JOHANSSON, M. A.; DOMINICI, F.; GLASS, G. E. Local and Global Effects of Climate on Dengue Transmission in Puerto Rico. **PLOS Neglected Tropical Diseases**, v.3, p.1–5, 2009.

KERMARCK, W. O.; MCKENDRICK, A. G. A contribution to the mathematical theory of epidemics. **Proceedings of the Royal Society of London, Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character**, v.115, n.772, p.700–721, 1927.

KHALIL, H. K. **Nonlinear Systems**. São Paulo: Prentice Hall, third edition, 2001. 750p.

KNIPLING, E. F. Possibilities of insect control or eradication through the use of sexually sterile males. **Journal of Economic Entomology**, v.48, n.4, p.459–462, 1955.

KUNIYOSHI, M. L. G.; SANTOS, F. L. P. Mathematical modelling of vector-borne diseases and insecticide resistance evolution. **Journal of Venomous Animals and Toxins Including Tropical Diseases**, v.23, p.23–34, 2017.

KUNO, G.; MACKENZIE, J. S.; JUNGLEN, S.; HUBÁLEK, Z.; GUBLER, A. P. D. J. Vertebrate Reservoirs of Arboviruses: Myth, Synonym of Amplifier, or Reality? **Viruses**, v.9, n.7, p.185, 2017.

LAI, Y. The climatic factors affecting dengue fever outbreaks in southern Taiwan: an application of symbolic data analysis. **BioMedical Engineering OnLine**, v.17, n.148, 2018.

LAMBRECHTS, L.; PAAIJMANS, K. P.; FANSIRI, T.; CARRIHGTON, L. B.; KRAMER, L. D.; THOMAS, M. B.; SCOTT, T. W. Impact of daily temperature uctuations on dengue virus transmission by *Aedes aegypti*. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v.108, n.18, p.7460–7465, 2011.

LEANDRO, D. C. Transmissão transovariana no vírus da dengue sorotipo 2 em *Aedes Aegypti* (Diptera: culicidae) e suas implicações na biologia reprodutiva do mosquito. Recife, 2015. 96p. Tese (Doutorado) - Centro de Ciências Biológicas, Departamento de Zoologia, Universidade Federal de Pernambuco.

LENHART, S.; WORKMAN, J. T. **Optimal Control Applied to Control Biological Models**. New York, London: Chapman and Hall/CRC; 1 edition, 2007. 274p.

LENZI, M. F.; COURA, L. C. Prevenção da dengue: a informação em foco. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, v.37, n.4, p.343–350, 2004.

LEQUIME, S.; LAMBRECHTS, L. Vertical transmission of arboviruses in mosquitoes: A historical perspective. **Infection, genetics and evolution: journal of molecular epidemiology and evolutionary genetics in infectious diseases**, v.28, p.681–690, 2014.

LIMA, J. J. P.; CAMELO, F. J. A.; COUCEIRO, J. M.; REIS, R. C.; VEIGA, F. A. **Biomatemática: uma introdução para o curso de Medicina**. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra, 2006. 430p.

LUZ, P. M.; CODEÇO, C. T.; MASSAD, E.; STRUCHINER, C. J. Uncertainties regarding dengue modeling in Rio de Janeiro, Brazil. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v.98, n.7, p.871–878, 2003.

LY, S.; FORTAS, C.; DUONG, V.; BENMARHIA, T.; SAKUNTABHAI, A.; PAUL, R.; HUY, R.; SORN, S.; NGUON, K.; CHAN, S.; KIMSAN, S.; ONG, S.; KIM, K. S.; BUOY, S.; VOEUNG, L.; DUSSART, P.; BUCHY, P.; TARANTOLA, A. Asymptomatic Dengue Virus Infections, Cambodia, 2012-2013. **Emerging infectious diseases**, v.25, n.7, p.1354–1362, 2019.

MAIDANA, N. A.; YANG, H. M. Describing the geographic spread of dengue disease by traveling waves. **Mathematical Biosciences**, v.215, n.1, p.64–77, 2008.

MANJARRES-SUAREZ, A.; OLIVERO-VERBEL, J. Chemical control of *Aedes aegypti*: a historical perspective. **Revista Costarricense de Salud Pública**, v.22, n.1, p.68–75, 2013.

MARTCHEVA, M. **An Introduction to Mathematical Epidemiology**. New York: Springer, 2015. 468p.

MAYER, S. V.; TESH, R. B.; VASILAKIS, N. The emergence of arthropod-borne viral diseases: A global prospective on dengue, chikungunya and zika fevers. **Acta Tropica**, v.166, p.155–163, 2017.

MONTEIRO, L. H. A. **Sistemas Dinâmicos**. São Paulo: Livraria da Física, 2011. 672p.

MORDECAI, E. A.; COHEN, J. M.; EVANS, M. V.; GUDAPATI, P.; JOHNSON, L. R.; LIPPI, C. A.; MIAZGOWICZ, K.; MURDOCK, C. C.; ROHR, J. R.; RYAN, S. J.; SAVAGE, V.; SHOCKET, M. S.; IBARRA, A. S.; THOMAS, M. B.; WEIKEL, D. P. Detecting the impact of temperature on transmission of Zika, dengue, and chikungunya using mechanistic models. **PLOS Neglected Tropical Diseases**, v.11, n.4, p.e0005568, 2017.

MORIN, C. W.; COMRIE, A. C.; ERNST, K. Climate and dengue transmission: evidence and implications. **Environmental Health Perspectives**, v.121, n.11–12, p.1264–1272, 2013.

MOURA, A. S.; ROCHA, R. L. **Endemias e epidemias: dengue, leishmaniose, febre amarela, influenza, febre maculosa e leptospirose**. Belo Horizonte: Mescon/UFMG, 2012. 78p.

MUHITH, A.; RAHMALIA, D.; HERLAMBANG, T. The effects of drugs in chemotherapy as optimal control of tumor growth dynamical model. **IOP Publishing Ltd**, v.1663, p.012006, 2020.

MURATA, T.; ISHIBUCHI, H.; TANAKA, H. Multi-objective genetic algorithm and its applications to flowshop scheduling. **Computers & Industrial Engineering**, v.30, n.4, p.957–968, 1996.

MURRAY, N. E. A.; QUAM, M. B.; WILDER-SMITH, A. Epidemiology of dengue: past, present and future prospects. **Clinical Epidemiology**, v.5, p.299–309, 2013.

MUTHENENI, S. R.; MORSE, A. P.; CAMINADE, C.; UPADHYAYULA, S. M. Dengue burden in India: recent trends and importance of climatic parameters. **Emerging Microbes & Infections**, v.6, n.1, p.1–10, 2017.



NAUEN, R. Insecticide resistance in disease vectors of public health importance. **Pest Management Science**, v.63, n.7, p.628–633, 2007.

NDII, M. Z.; HICKSON, R. I.; ALLINGHAM, D.; MERCER, G. N. Modelling the transmission dynamics of dengue in the presence of Wolbachia. **Mathematical Biosciences**, v.262, p.157–166, 2015.

NEWTON, E. A. C.; REITER, P. A model of the transmission of dengue fever with an evaluation of the impact of Ultra-Low Volume (ULV) insecticide applications on dengue epidemics. **The American Society of Tropical Medicine and Hygiene**, v.47, n.6, p.709–720, 1992.

NISHIURA, H.; EPIDEMIOLOGIC METHODS. Mathematical and Statistical Analyses of the Spread of Dengue. **WHO Regional Office for South-East Asia**, v.30, p.51–67, 2006.

PADMANABHA, H.; LORD, C. C.; LOUNIBOS, L. P. Temperature induces trade-offs between development and starvation resistance in *Aedes aegypti* (L.) larvae. **Medical and veterinary entomology**, v.25, n.4, p.445–453, 2011.

PERKO, L. **Differential Equations and Dynamical Systems**. São Paulo: Springer-Verlag New York, third edition, 2001. 557p.

PETROVA, D.; RODÓ, X.; SIPPY, R.; BALLESTER, J.; MEJÍA, R.; BELTRÁN-AYALA, E.; BORBOR-CORDOVA, M. J.; VALLEJO, G. M.; OLMEDO, A. J.; STEWART-IBARRA, A. M.; LOWE, R. The 2018 – 2019 weak El Niño: Predicting the risk of a dengue outbreak in Machala, Ecuador. **International Journal of Climatology**, v.10, n.10, 2020.

POLWIANG, S. The seasonal reproduction number of dengue fever: impacts of climate on transmission. **PeerJ**, v.3, p.e1069, 2015.

PONTRYAGIN, L. S.; BOLTYANSKII, V. G.; GAMKRELIDZE, R. V.; MISHCHENKO, E. F. **The Mathematical Theory of Optimal Processes**. New York, London: John Wiley & Sons, 1962. 360p.

PORTA, M. **A Dictionary of Epidemiology**. New York: Oxford University Press; 6 edition, 2014. 376p.

PROMPROU, S.; JAROENSUTASINEE, M.; JAROENSUTASINEE, K. Climatic factors affecting dengue haemorrhagic fever incidence in Southern Thailand. **Dengue Bulletin**, v.29, p.41–48, 2005.

ROCKLÖV, J.; DUBROW, R. Climate change: an enduring challenge for vector-borne disease prevention and control. **Nature Immunology volume**, v.21, p.479–483, 2020.

RODRIGUES, H. S.; MONTEIRO, M. T. T.; TORRES, D. F. M. Insecticide Control in a Dengue Epidemics Model. **AIP Conference Proceedings**, v.1281, n.1, 2010.

ROIZ, D.; BOUSSÈS, P.; SIMARD, F.; PAUPY, C.; FONTENILLE, D. Autochthonous Chikungunya Transmission and Extreme Climate Events in Southern France. **PLOS Neglected Tropical Diseases**, v.9, n.6, 2015.

ROIZ, D.; WILSON, A. L.; SCOTT, T. W.; FONSECA, D. M.; JOURDAIN, F.; MÜLLER, P.; VELAYUDHAN, R.; CORBEL, V. Integrated Aedes management for the control of Aedes-borne diseases. **PLOS Neglected Tropical Diseases**, v.12, n.12, p.1–21, 2018.

ROSS, R. On some Peculiar Pigmented Cells Found in Two Mosquitos Fed on Malarial Blood. **BMJ**, v.2, n.1929, p.1786–1788, 1897.

ROSS, R. **The Prevention of Malaria**. London: Murray, 1911.

ROSSI, M. M.; LOPEZ, L. F.; MASSAD, E. The dynamics of temperature-and rainfall-dependent dengue transmission in tropical regions. **Annals of Biometrics and Biostatistics**, v.2, n.2, p.1–6, 2015.

ROUQUAYROL, M. Z.; SILVA, M. G. C. **Epidemiologia & Saúde**. Rio de Janeiro: MedBook, 2013. 736p.

RUST, R. S. Human Arboviral Encephalitis. **Seminars in Pediatric Neurology**, v.19, n.3, p.130–151, 2012.

SCHNEDITZ, D.; DAUGIRDAS, J. T. Compartment effects in hemodialysis. **Seminars in Dialysis**, v.14, n.4, p.271–277, 2008.

SILVA, F. D.; SANTOS, A. M.; CORRÊA, R. G. C. F.; CALDAS, A. J. M. Temporal relationship between rainfall, temperature and occurrence of dengue cases in São Luís, Maranhão, Brazil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v.21, n.2, p.641–646, 2016.

SILVA, L. J. Vacina contra a dengue: uma luz no final do túnel? **BEPA, Boletim Epidemiológico Paulista (Online)**, v.9, p.05–07, 2012.

SILVA, L. R. G.; SANTOS, F. L. P. Predição numérica do controle mecânico na dinâmica populacional dos mosquitos da dengue. **Revista Brasileira de Biometria**, v.36, n.2, p.316–335, 2018.

SIMMONS, C. P.; FARRAR, J. J.; VAN VINH CHAU, N.; WILLS, B. Dengue. **New England Journal of Medicine**, v.366, n.15, p.1423–1432, 2012.

SOUZA, G. R. Critério de Hurwitz e estabilidade de equilíbrios. Instituto de Ciências Exatas. Departamento de Matemática, 2005. 65p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais.

SPARKS, T. C.; NAUEN, R. IRAC: Mode of action classification and insecticide resistance management. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v.121, p.122–128, 2015.

STOLERMAN, L. M.; COOMBS, D.; BOATTO, S. SIR-Network model and its application to dengue fever. **Society for Industrial and Applied Mathematics**, v.75, n.6, p.2581–2609, 2015.

SUMI, A.; TELAN, E. F. O.; CHAGAN-YASUTAN, H.; PIOLO, M. B.; HATTORI, T.; KOBAYASHI, N. Effect of temperature, relative humidity and rainfall on dengue fever and leptospirosis infections in Manila, the Philippines. **Epidemiology and Infection**, v.145, n.1, p.78–86, 2017.

TERÁN, E. A. C. Versões aleatórias do Teorema de Hartman-Grobman. Campinas, 1999. 78p. Tese (Doutorado) - Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica, Universidade Estadual de Campinas.

THOMAS, D. D.; DONNELLY, C. A.; WOOD, R. J.; ALPHEY, L. S. Insect population control using a dominant, repressible, lethal genetic system. **Science**, v.287, n.5462, p.2474–2476, 2000.

THOMÉ, R. C. A. Controle Ótimo Aplicado na Estratégia de Combate ao *Aedes aegypti* Utilizando Inseticida e Mosquitos Estéreis. Campinas, 2007. Tese (Doutorado) - Instituto de Matemáticas, Estatística e Computação Científica, Universidade Estadual de Campinas.

THOMÉ, R. C. A.; YANG, H. M.; ESTEVA, L. Optimal control of *Aedes aegypti* mosquitoes by the sterile insect technique and insecticide. **Mathematical Biosciences**, v.223, n.1, p.12–23, 2010.

VALDEZ, M. R. W.; NIMMO, D.; BETZ, J.; GONG, H. F.; JAMES, A. A.; ALPHEY, L.; BLACK, W. C. Genetic elimination of dengue vector mosquitoes. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v.108, n.12, p.4772–4775, 2011.

VEGA, F. L. R. Dengue e Chikungunya na Colômbia e em Minas Gerais, Brasil: análise clínica e epidemiológica , nos anos de 2010 a 2016. Belo Horizonte, 2019. 202p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Medicina, Universidade Federal de Minas Gerais.

VERONESI, R.; FOCACCIA, R. **Tratado de Infectologia**. São Paulo: Editora Atheneu, 5ª edição, 2015. 2320p.

VIANA, D. V.; IGNOTTI, E. A ocorrência da dengue e variações meteorológicas no Brasil: revisão sistemática. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v.16, n.2, p.240–256, 2013.

VYNNYCKY, E.; WHITE, R. **An Introduction to Infectious Disease Modeling**. United Kingdom: Oxford University Press, 2010. 400p.

WHO. World Health Organization. Constitution of the World Health Organization. Geneva: World Health Organization, 1948.

WHO. World Health Organization. Arboviruses and human disease: report of a WHO scientific group. Geneva: World Health Organization. p.84, 1967.

WHO. World Health Organization. Dengue guidelines for diagnosis, treatment, prevention and control. Geneva: Library Cataloguing in Publication Data. p.144, 2009.

WHO. World Health Organization. Global Plan for Insecticide Resistance Management in Malaria Vectors (GPIRM). Geneva: World Health Organization, 2012a.

WHO. World Health Organization. Global strategy for dengue prevention and control 2012-2020. Geneva: World Health Organization, 2012b.

WHO. World Health Organization. Dengue and Severe Dengue. Geneva: World Health Organization, 2019.

WHO. World Health Organization. Basic documents: forty-ninth edition. Geneva: World Health Organization, 2020a.

WHO. World Health Organization. Dengue and Severe Dengue. Geneva: World Health Organization, 2020b.

WHO. World Health Organization. Dengue control - Control strategies. Geneva: World Health Organization, 2020c.

WILKE, A. B. B.; GOMES, A. C.; NATAL, D.; MARRELLI, M. T. Controle de vetores utilizando mosquitos geneticamente modificados. **Revista de Saúde Pública**, v.43, n.5, p.869–874, 2009.

WILKE, A. B. B.; MARRELLI, M. T. Genetic Control of Mosquitoes: population suppression strategies. **Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo**, v.54, n.5, p.287–292, 2012.

WOODRING, J. L.; HIGGS, S.; BEATY, B. J. Natural cycles of vector-borne pathogens. **Biology of disease vectors**, p.51–72, 2005.

YANG, H. M. The transovarial transmission in the dynamics of dengue infection: Epidemiological implications and thresholds. **Mathematical Biosciences**, v.286, p.1–15, 2017.

YANG, H. M.; FERREIRA, C. P. Assessing the effects of vector control on dengue transmission. **Applied Mathematics and Computation**, v.198, p.401–413, 2008.

ZHENG, X.; ZHANG, D.; LI, Y.; YANG, C.; WU, Y.; LIANG, X.; LIANG, Y.; PAN, X.; HU, L.; SUN, Q.; WANG, X.; WEI, Y.; ZHU, J.; QIAN, W.; YAN, Z.; PARKER, A. G.; GILLES, J. R. L.; BOURTZIS, K.; BOUYER, J.; TANG, M.; ZHENG, B.; YU, J.; LIU, J.; ZHUANG, J.; HU, Z.; ZHANG, M.; GONG, J.; HONG, X.; ZHANG, Z.; LIN, L.; LIU, Q.; HU, Z.; WU, Z.; BATON, L. A.; HOFFMANN, A. A.; XI, Z. Incompatible and sterile insect techniques combined eliminate mosquitoes. **Nature**, v.572, n.7767, p.56–61, 2019.