

INFORMAÇÕES GERAIS DO TRABALHO

Título do Trabalho: Avaliação do impacto da temperatura na dinâmica do *Aedes* nas capitais brasileiras

Autor (es): Bruna Azevedo Guimarães Santos, Lillia dos Santos Barsante Silva, Carlos Alexandre Silva, Mateus do Nascimento, José Luis Acebal Fernandes.

Palavras-chave: Modelagem Matemática, Taxa de Infestação Vetorial, Temperatura.

Campus: Sabará.

Área do Conhecimento (CNPq): Biomatemática

RESUMO

No Brasil tornou-se crescentes o número pessoas infectadas por dengue devido à picada da fêmea do mosquito *Aedes*. De acordo com o boletim epidemiológico do Ministério da Saúde até a semana epidemiológica 28 (31/12/2017 a 14/07/2018), foram registrados 181.807 casos prováveis de dengue no país, com uma incidência de 87,5 casos/100 mil habitantes. Neste contexto, destaca-se a região Centro-Oeste com 66.787 casos prováveis, correspondendo a 36,7% em relação ao total do país. Em seguida aparecem as regiões Sudeste (53.602 casos; 29,5%), Nordeste (47.835 casos; 26,3%), Norte (11.396 casos; 6,3%) e Sul (2.187 casos; 1,2%). Esta arbovirose pode ser altamente grave e sua incidência apresenta um perfil sazonal, com valores maiores no Verão e Outono, uma vez que há um aumento das chuvas, da temperatura e da umidade, fatores climáticos que favorecem a infestação dos mosquitos em uma determinada região geográfica. O controle vetorial é uma abordagem comumente utilizada para reduzir a infestação de mosquitos, uma vez que não existe vacina disponível para o arbovírus DENV. Tendo em vista a importância de se aperfeiçoar o conhecimento sobre a biologia do *Aedes* e a busca por métodos mais eficientes de controle, foi realizado um estudo da dinâmica das fêmeas e do número de descendentes basal do mosquito. Neste estudo avaliamos um modelo entomológico derivado da literatura sob influência da temperatura máxima e mínima registradas historicamente ao longo de um ano nas capitais Belém, Belo Horizonte, Curitiba, Fortaleza, Goiânia e Salvador. Essas capitais foram selecionadas considerando a maior representatividade de casos de dengue por regiões do Brasil nos anos de 2016 e 2017. O resultado obtido no cenário sem controle sugere que a temperatura seja um preditor positivo para a abundância de fêmeas do mosquito nestas capitais. A eficácia de intervenções de controle será abordada em setembro do ano corrente com a inclusão de inteligência computacional acoplada ao modelo entomológico.

INTRODUÇÃO:

No Brasil tornou-se crescente o número de pessoas infectadas por dengue, febre amarela, febre chikungunya e zika vírus. Até a semana epidemiológica 28 (31/12/2017 a 14/07/2018), foram registrados 181.807 casos prováveis de dengue, 61.646 casos prováveis de chikungunya e 5.941 casos prováveis de zika no país. Estas doenças apresentam relevante impacto em saúde pública e são provocadas pela picada

da fêmea adulta infectada do mosquito *Aedes*, sendo o *Aedes albopictus* e o *Aedes aegypti* seus principais vetores. O ciclo de vida do *Aedes* sofre influência de variáveis climáticas, e é composto pela fase imatura (ovos, larvas e pupas) e pela fase alada (mosquitos adultos machos e fêmeas). Em condições ideais, os ovos eclodem em larvas, que dão origem às pupas, das quais emerge o mosquito adulto.

Neste trabalho realizamos um estudo da influência da temperatura máxima e mínima registradas historicamente ao longo de um ano nas capitais Belém, Belo Horizonte, Curitiba, Fortaleza, Goiânia e Salvador na infestação do *Aedes*. Essas capitais foram selecionadas considerando a maior representatividade de casos de dengue por regiões do Brasil nos anos de 2016 e 2017. Adicionalmente, serão utilizados métodos computacionais baseados em metaheurísticas bioinspiradas como o Algoritmo de Vaga-Lume ou Algoritmo de Abelhas para avaliar a eficácia de ações de controle na solução da problemática causada por estes vetores.

MODELAGEM:

O modelo (1) descreve a dinâmica do ciclo de vida do *Aedes* spp., de modo que parte dos parâmetros entomológicos do mosquito são dependentes da temperatura em cada unidade de tempo de uma determinada área geográfica. Este modelo é representado por um sistema com quatro compartimentos: ovos $E(t)$, larvas $L(t)$, pupas $P(t)$ e fêmeas em fase de oviposição $F(t)$ (Figura 1).

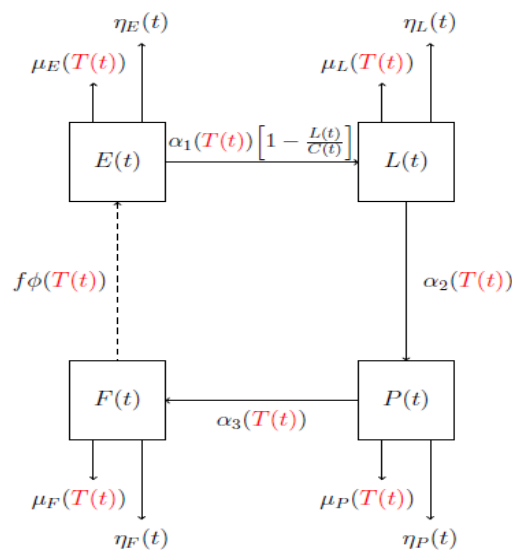


Figura 1: Diagrama da dinâmica populacional do *Aedes* spp. com dependência da temperatura.

As taxas entomológicas e de controle adicional foram dadas por: $f(T)$ representa a fração de ovos viáveis que a população de fêmeas deposita em potenciais criadouros do mosquito; C representa a capacidade do meio; $\phi(T)$ representa a taxa de oviposição por unidade de fêmeas em potenciais criadouros; $\alpha_1(T)$ representa a taxa por unidade de indivíduo com que ovos passam para a população de larvas; $\alpha_2(T)$ representa a taxa por unidade de indivíduo com que larvas passam para a população de pupas; $\alpha_3(T)$ representa a taxa por unidade de indivíduo com que pupas transformam-se em fêmeas; $\mu(T)$ representa a taxa de mortalidade natural por unidade de indivíduo específica de cada compartimento; $\eta(T)$ representa a taxa de mortalidade adicional por unidade de indivíduo específica de cada compartimento. Por simplificação

de notação, estas taxas serão representadas com a omissão da variável T . Os parâmetros entomológicos do *Aedes spp.* com dependência da temperatura são apresentados na Tabela 1. Adotamos $C = 1$, $f = 0.5$ e $\gamma = 0.5$ [1].

Tabela 1: Definição dos parâmetros entomológicos do *Aedes spp.* adotados no sistema (1).

Equação	Fonte
$\phi(T) = \max\{0, -5.400 + 1.800T - 0.2124T^2 + 0.01015T^3 - 1.515 \times 10^{-4}T^4\}$	[2]
$\alpha_1(T) = 0.5070 \times e^{-\left(\frac{T-30.85}{12.82}\right)^2}$	[3]
$\alpha_2(T) = \max\{0, -1.847 + 0.8291T - 0.1457T^2 + 0.01304T^3 - 6.461 \times 10^{-4}T^4 + 1.796 \times 10^{-5}T^5 - 2.617 \times 10^{-7}T^6 + 1.551 \times 10^{-9}T^7\}$	[4]
$\alpha_3(T) = 0.6020 \times e^{-\left(\frac{T-34.29}{15.07}\right)^2}$	[3]
$\mu_L(T) = 2.315 - 0.4191T + 0.02735T^2 - 7.538 \times 10^{-4}T^3 + 7.503 \times 10^{-6}T^4$	[5]
$\mu_P(T) = 0.4256 - 0.03248T + 7.060 \times 10^{-4}T^2 + 4.395 \times 10^{-7}T^3$	[4]
$\mu_F(T) = 0.8692 - 0.1590T + 0.01116T^2 - 3.408 \times 10^{-4}T^3 + 3.809 \times 10^{-6}T^4$	[5]

O sistema de equações diferenciais não lineares que representa a dinâmica das populações do *Aedes spp.* com dependência da temperatura é descrito por:

$$\begin{cases} \dot{E} = f(t)\phi(T(t))F(t) - [\alpha_1(T(t)) + \mu_E(T(t)) + \eta_E(T(t))]E(t) \\ \dot{L} = \alpha_1(T(t)) \left(1 - \frac{L(t)}{C(t)}\right) E(t) - [\alpha_2(T(t)) + \mu_L(T(t)) + \eta_L(T(t))]L(t) \\ \dot{P} = \alpha_2(T(t))L(t) - [\alpha_3(T(t)) + \mu_P(T(t)) + \eta_P(T(t))]P(t) \\ \dot{F} = \gamma(t)\alpha_3(T(t))P(t) - [\mu_F(T(t)) + \eta_F(T(t))]F(t) \end{cases} \quad (1)$$

A região do espaço de estados do modelo (1) é definida por:

$$\Gamma = \{(E, L, P, F) \in \mathbb{R}^4 \mid E \geq 0, L \geq 0, P \geq 0, F \geq 0 \text{ e } 0 \leq L \leq C\}$$

Assim, todas as populações são não negativas e a população de larvas não excede a capacidade do meio.

O modelo (1) apresenta dois pontos de equilíbrio por unidade de tempo: (i) Equilíbrio livre de infestação do mosquito: $P_0 = (E^*, L^*, P^*, F^*) = (0, 0, 0, 0)$ e (ii) Equilíbrio com infestação do mosquito:

$$P_1 = (E^{**}, L^{**}, P^{**}, F^{**}), E^* = \frac{f\phi}{(\alpha_1 + \mu_E)} F^*, L^* = C \left(1 - \frac{1}{Q_0} \right), P^* = \frac{\alpha_2}{(\alpha_3 + \mu_P)} L^*, E^* = \frac{\gamma\alpha_3}{(\mu_F + \eta_F)} P^*.$$

No trabalho de (Santos et al, 2018) foi realizado um estudo por meio da matriz de próxima geração associada ao modelo (1) para determinar o número de descendentes basal do mosquito dado por:

$$Q_0 = \frac{f\phi\gamma\alpha_1\alpha_2\alpha_3}{(\alpha_1 + \mu_E)(\alpha_2 + \mu_L + \eta_L)(\alpha_3 + \mu_P)(\mu_F + \eta_F)} \quad (2)$$

Biologicamente, o número de descendente basal dado pela equação (2) pode ser interpretado como o

produto da fração de ovos que sobrevivem e eclodem para larvas $\left(\frac{\alpha_1}{\alpha_1 + \mu_E} \right)$, da fração de larvas que

sobrevivem e desenvolvem em pupas $\left(\frac{\alpha_2}{\alpha_2 + \mu_L + \eta_L} \right)$, da fração de pupas que sobrevivem e emergem

para fase adulta como fêmea $\left(\frac{\gamma\alpha_3}{\alpha_3 + \mu_P} \right)$ e da fração de ovos viáveis gerados durante a sobrevivência da

fêmea $\left(\frac{f\phi}{\mu_F + \eta_F} \right)$.

RESULTADOS E DISCUSSÕES:

O modelo (1) foi resolvido numericamente através do algoritmo de Runge-Kutta de quarta ordem, com passo de 0.01, utilizando o software MATLAB® (R2017a) em um computador Intel(R) Core(TM) i5 2,5 GHz com 4GB de memória RAM. As curvas das Figuras (2-4) ilustram a dinâmica das populações de fêmeas do *Aedes spp.* sob influência da temperatura máxima e mínima histórica registradas mensalmente nas capitais Belém, Belo Horizonte, Curitiba, Fortaleza, Goiânia e Salvador. As capitais Belém, Fortaleza e Salvador apresentaram as menores diferenças entre o número de fêmeas em relação a temperatura máxima e temperatura mínima ao longo do horizonte de estudo. Além disso, em Belém e Fortaleza, a infestação do mosquito foi mais propícia na temperatura mínima, uma vez que a média da temperatura máxima de ambas as cidades foi superior a 29°C.

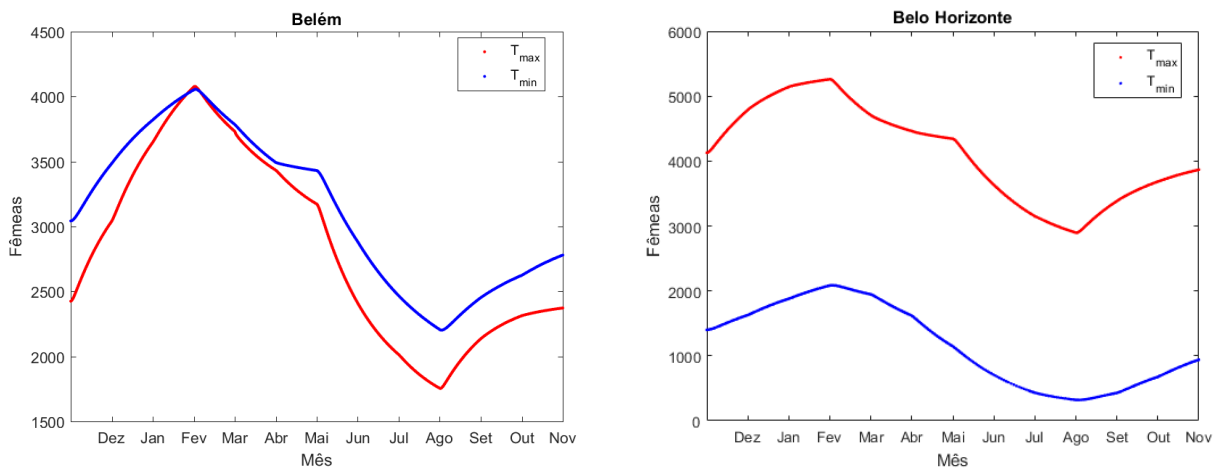


Figura 2: Evolução da População de Fêmeas nas capitais brasileiras Belém e Belo Horizonte.

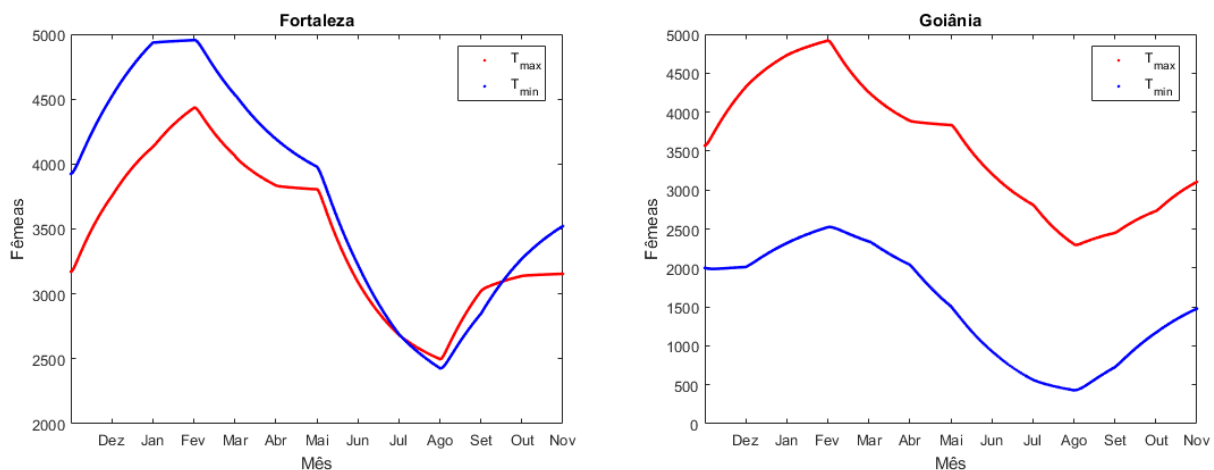


Figura 3: Evolução da População de Fêmeas nas capitais brasileiras Fortaleza e Goiânia.

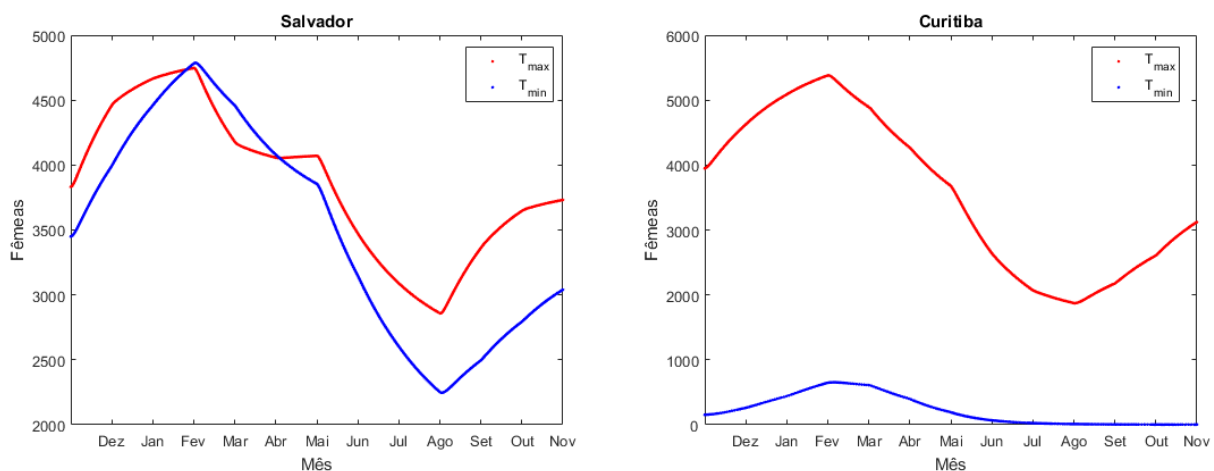


Figura 4: Evolução da População de Fêmeas nas capitais brasileiras Salvador e Curitiba.

O resultado obtido no cenário sem controle sugere que a temperatura seja um preditor positivo para a abundância de fêmeas do mosquito nas capitais Belém, Belo Horizonte, Curitiba, Fortaleza, Goiânia e Salvador. Buscando reduzir o nível de infestação do mosquito nas localidades, faz-se necessária a realização de intervenções de controle no ciclo de vida do mosquito. Desta forma, o estudo da eficácia de intervenções de controle será abordado a partir de setembro do ano corrente com a inclusão de inteligência computacional acoplada ao modelo entomológico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- [1] H. M. Yang. The transovarial transmission in the dynamics of dengue infection: Epidemiological implications and thresholds, *Mathematical Biosciences*, 286:1-15, 2017. DOI: 10.1016/j.mbs.2017.01.006
- [2] H. M. Yang, M. L. G. Macoris, K. C. Galvani, M. T.M. Andrighetti and D. M. V. Wanderley. Assessing the effects of temperature on the population of *Aedes aegypti* the vector of dengue, *Epidemiol. Infect.*, 137:1188-1202, 2009.
- [3] P. Jia, L. Lu, X. Chen, J. Chen, L. Guo, X. Yu and Q. Liu. A climate-driven mechanistic population model of *Aedes albopictus* with diapause, *Parasites & Vectors*, volume 9, 2016. DOI 10.1186/s13071-016-1448-y.
- [4] H. M. Yang, M. L. G. Macoris, K. C. Galvani and M. T. M. Andrighetti. Follow up estimation of *Aedes aegypti* entomological parameters and mathematical modellings, *BioSystems*, 103:360-371, 2011.
- [5] H. M. Yang, M. L. G. Macoris, K. C. Galvani and M. T. M. Andrighetti. Dinâmica da transmissão da dengue com dados entomológicos temperatura-dependentes, *Tend. Mat. Apl. Comput.*, 8(1):159-168, 2007. DOI: 10.5540/tema.2007.08.01.0159.

Participação em Congressos, publicações e/ou pedidos de proteção intelectual:

Esta pesquisa gerou o artigo completo intitulado Análise da Taxa de Infestação Vetorial do *Aedes* que será apresentado em setembro deste ano no XXXVIII Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional – CNMAC 2018.