

Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Faculdade de Ciências Biológicas e Saúde
Departamento de Biologia
Ecologia das Doenças Transmissíveis
Prof. Ronaldo Figueiró

Estudo dirigido para a P2

Com base na leitura do artigo anexo, responda com suas palavras:

Com base no artigo em anexo, responda às perguntas:

- 1) Como as interações entre mudanças climáticas, como aumento da temperatura e alterações nos padrões de precipitação, influenciam a biologia do *Aedes aegypti* e a incidência de dengue nas diferentes regiões brasileiras?
- 2) De que maneira fatores socioeconômicos, como desigualdade social e acesso a serviços públicos, contribuem para a vulnerabilidade de determinadas populações à dengue, e como isso se reflete na distribuição geográfica da doença?
- 3) Quais são os desafios e limitações enfrentados na implementação de políticas públicas integradas que abordem simultaneamente os determinantes ambientais e sociais da dengue?
- 4) Como a urbanização desordenada e a falta de infraestrutura adequada em áreas urbanas impactam a proliferação do *Aedes aegypti* e a eficácia das estratégias de controle da dengue?
- 5) De que forma a utilização de tecnologias inovadoras, como drones e a bactéria *Wolbachia*, pode complementar as abordagens tradicionais de controle do vetor, e quais são as implicações éticas e logísticas dessas intervenções?
- 6) Como as mudanças no comportamento do *Aedes aegypti*, como a adaptação a ambientes urbanos e a alteração nos horários de atividade, afetam as estratégias de monitoramento e controle do vetor?

ARTIGO ESPECIAL



A dengue é produto do meio: uma abordagem sobre os impactos do ambiente no mosquito *Aedes aegypti* e nos casos da doença

Dengue is a product of the environment: an approach to the impacts of the environment on the *Aedes aegypti* mosquito and disease cases

Tamara Nunes Lima-Camara¹

¹Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública, Departamento de Epidemiologia – São Paulo (SP), Brasil.

RESUMO

A dengue é uma arbovirose cujo agente etiológico é transmitido pelo mosquito *Aedes aegypti*. Desde o começo dos anos 1980, quando a circulação do vírus dengue (DENV) foi confirmada no Brasil, a doença passou a ser um crescente problema multifatorial para a saúde pública. Neste artigo, apresentamos os principais fatores que contribuíram e contribuem para as frequentes epidemias de dengue ocorridas nos últimos anos, como o comportamento do vetor, as mudanças climáticas e os aspectos sociais, políticos e econômicos. Destaca-se a interseção entre esses diferentes fatores na dinâmica da doença, incluindo o aumento da população do mosquito devido a temperaturas mais altas e a períodos chuvosos, bem como a influência das condições socioeconômicas na incidência da dengue. Também são abordadas algumas estratégias de controle do mosquito, incluindo o uso de tecnologias inovadoras, como drones e a bactéria *Wolbachia*, bem como a esperança representada pela vacina contra a dengue. Ainda assim, enfatiza-se a necessidade de políticas públicas integradas e eficazes para reduzir as desigualdades sociais e os impactos das mudanças climáticas na propagação da dengue.

Palavras-chave: Arboviroses. Vetores. Mudança climáticas. Políticas públicas. Controle.

AUTORA CORRESPONDENTE: Tamara Nunes Lima-Camara. Avenida Doutor Arnaldo, 715 – Cerqueira César, CEP: 01246904, São Paulo (SP), Brasil. E-mail: limacamara@usp.br.

CONFLITO DE INTERESSES: nada a declarar.

COMO CITAR ESSE ARTIGO: Lima-Camara TN. A dengue é produto do meio: uma abordagem sobre os impactos do ambiente no mosquito *Aedes aegypti* e nos casos da doença. Rev Bras Epidemiol. 2024; 27: e240048. <https://doi.org/10.1590/1980-549720240048.2>

EDITORA CIENTÍFICA: Cassia Maria Buchalla

Esse é um artigo aberto distribuído sob licença CC-BY 4.0, que permite cópia e redistribuição do material em qualquer formato e para qualquer fim desde que mantidos os créditos de autoria e de publicação original.

Recebido em: 20/06/2024

Revisado em: 15/07/2024

Aprovado em: 16/07/2024



INTRODUÇÃO

O termo “arbovírus” tem origem na expressão *Arthropod-borne virus* e é representado por um grupo diverso de vírus, de modo geral, esféricos e com RNA como material genético¹. Ocorrendo principalmente em ciclos enzoóticos de regiões com clima tropical ou temperado, os arbovírus são transmitidos para animais vertebrados silvestres através da picada de artrópodes hematófagos infectados, especialmente mosquitos e carrapatos^{2,3}.

Entretanto, com as ações antrópicas, alguns arbovírus se adaptaram às modificações do ambiente e iniciaram um ciclo urbano de transmissão, tendo o homem como hospedeiro vertebrado e mosquitos urbanos como vetores^{3,4}. Apesar de haver importantes arbovírus sendo transmitidos ao homem em ambiente urbano, como Zika (ZIKV) e chikungunya (CHIKV), o vírus dengue (DENV), que pertence à família *Flaviviridae* e ao gênero *Orthoflavivirus*, é o que mais causa impacto na Saúde Pública, tanto pela sua morbidade quanto pela mortalidade⁵.

O vírus dengue possui quatro sorotipos antigenicamente distintos, denominados DENV-1, DENV-2, DENV-3 e DENV-4⁶. Mundialmente, a dengue é considerada endêmica em mais de cem países tropicais e subtropicais das Américas, África, Ásia, Oriente Médio e Ilhas do Pacífico e Região do Pacífico Ocidental, com cerca de 4 bilhões de pessoas vivendo nessas áreas de risco⁷. Em 2013, um estudo estimou que houvesse, aproximadamente, 390 milhões de infecções anuais por DENV no mundo, distribuídas entre manifestações sintomáticas e assintomáticas⁸.

No Brasil, apesar de alguns relatos de casos de dengue terem ocorrido no começo do século XX, em São Paulo e no Rio de Janeiro, foi apenas em 1981/1982, a partir de uma epidemia na cidade de Boa Vista, no estado de Roraima, que houve a confirmação do diagnóstico clínico e laboratorial da doença, com isolamento dos sorotipos 1 e 4 do vírus⁹. Entretanto, a epidemia foi controlada com êxito em Boa Vista⁹ e os sorotipos DENV-1 e DENV-4 não se expandiram para outras áreas do país.

Após alguns anos de silêncio epidemiológico, em 1986 o sorotipo DENV-1 foi isolado no município de Nova Iguaçu, no Rio de Janeiro, e, dessa vez, disseminou-se rapidamente para cidades e estados ao redor^{10,11}. Quatro anos depois, em 1990, o sorotipo DENV-2 foi isolado pela primeira vez, também no estado do Rio de Janeiro, no município de Niterói¹². Nesse momento, foi observado um aumento considerável nos casos graves da doença, bem como os primeiros registros de óbitos relacionados a infecções prévias¹³. A primeira vez que a circulação do DENV-3 foi detectada no país foi no final do ano 2000, novamente no município de Nova Iguaçu, no Rio de Janeiro^{12,14}. Já em 2010, o sorotipo DENV-4 foi reintroduzido no norte do Brasil e detectado no estado de Roraima¹⁵, e, em seguida, isolado também no estado do Rio de Janeiro¹⁶. Desde então, os quatro sorotipos do vírus dengue circulam no país.

Até o final de maio de 2024, o Brasil havia registrado mais de 5 milhões de casos prováveis de dengue e mais de 3 mil óbitos pela doença confirmados¹⁷. Das 27 Unidades Federativas (UFs), 10 decretaram estado de emergência: Amapá, Distrito Federal, Espírito Santo, Goiás, Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e São Paulo¹⁷. Foi, certamente, a pior epidemia da doença no país, tendo ultrapassado os mais de 1 milhão e 600 mil casos registrados em 2015 e 2023¹⁸.

Por se tratar de uma doença multifatorial, diferentes aspectos relacionados aos elementos-chave para que a transmissão do vírus ocorra podem explicar essa grande explosão de casos de dengue observada no país. Dessa forma, uma abordagem sobre a interação homem, vetor, patógeno e ambiente é essencial na avaliação da epidemiologia dessa doença.

***Aedes aegypti* como preocupação em Saúde Pública**

A transmissão de todos os sorotipos do vírus dengue ao homem acontece através da picada das fêmeas infectadas do principal vetor no Brasil e no mundo: o mosquito *Aedes (Stegomyia) aegypti* (Linnaeus, 1762). Além disso, essa espécie também está relacionada à transmissão de ZIKV e CHIKV em diversos países, inclusive no Brasil⁶.

Aedes aegypti é um mosquito oriundo do continente africano. Originalmente, as populações desse mosquito eram generalistas, utilizando uma ampla variedade de recipientes como criadouros e sugando o sangue de diferentes animais, tanto humanos quanto não humanos^{19,20}. No entanto, estudos recentes indicam que, na região do Sahel, na África Ocidental, algumas populações dessa espécie evoluíram e passaram a sugar mais o sangue humano e a utilizar recipientes artificiais para depositarem seus ovos²¹. Essa forma domesticada do mosquito *Aedes aegypti* se espalhou pelo mundo, especialmente nas áreas de clima tropical e subtropical²². Tal transporte entre continentes foi possível graças à elevada resistência à dissecação apresentada pelos ovos do mosquito, podendo manter-se quiescentes por até um ano, favorecendo, assim, a dispersão passiva dessa espécie^{23,24}.

No Brasil, a chegada do *Aedes aegypti* ocorreu, provavelmente, durante o período colonial, quando pessoas eram trazidas do continente africano para serem escravizadas²⁵. No começo do século XX, ele já era uma preocupação para a Saúde Pública brasileira, pois era o principal vetor do ciclo urbano de transmissão do vírus da febre amarela. Nessa época, o país vivia intensas epidemias dessa doença, especialmente no estado do Rio de Janeiro, o que levou o então presidente Rodrigues Alves (1903–1906) a nomear Oswaldo Cruz como chefe da Diretoria-Geral de Saúde Pública, para que focasse na primeira campanha pública contra a febre amarela urbana e o *Aedes aegypti*²⁶. Com uma política que envolvia eliminação de criadouros, uso de larvicidas e inseticidas e isolamento dos doentes, Oswaldo Cruz conseguiu reduzir os casos de febre amarela no estado, mas não erradicou o mosquito, o que ocorreu apenas em 1958²⁶.

Atualmente, a erradicação do *Aedes aegypti* é algo extremamente improvável, fazendo com que os esforços para a mitigação dos casos de dengue estejam voltados para o controle populacional desse mosquito, principalmente através da eliminação ou do manejo adequado dos recipientes que podem armazenar água.

Dengue e o *Aedes aegypti*

A ocorrência das epidemias de dengue no Brasil está associada a diferentes fatores, como a densidade populacional humana, crescimento desordenado das cidades, desigualdade social, competência e adaptação do mosquito vetor, entre outros²⁷. Com efeito, a presença quase constante do *Aedes aegypti* em ambientes urbanos é um grande desafio para a Saúde Pública.

O ciclo de desenvolvimento do *Aedes aegypti* é holometábolo, com as fases aquáticas de ovo, larva e pupa, além da adulta, que é terrestre. As fêmeas de *Aedes aegypti* costumam depositar seus ovos em recipientes artificiais com água parada, como pneus, vasos de plantas, caixas d'água, latas, garrafas etc.^{25,28,29}. Entretanto, mesmo em áreas urbanizadas já foram encontradas formas imaturas de *Aedes aegypti* em criadouros naturais, como bromélias, internódios de bambus e buracos de árvores³⁰⁻³², demonstrando a plasticidade e o domínio dessa espécie nos espaços ocupados pelo homem.

O tempo de desenvolvimento entre o ovo e o adulto do *Aedes aegypti* pode ser mais curto conforme o aumento da temperatura³³. Em laboratório, foi observado que o tempo médio de desenvolvimento entre o ovo e o adulto dessa espécie, a 25°C, foi de 8,86 dias. Entretanto, o aumento de apenas dois graus, ou seja, a 27°C, fez com que esse tempo de desenvolvimento caísse para 7,30 dias³⁴. A temperatura também pode influenciar o Período de Incubação Extrínseco (PIE) do vírus, que é o tempo entre a realização do repasto sanguíneo pela fêmea e a chegada do vírus nas glândulas salivares do mosquito³⁵. Em laboratório, já foi observado que o PIE do sorotipo DENV-2 é menor nas fêmeas de *Aedes aegypti* sob temperaturas entre 32°C e 35°C³⁶, fazendo com que o patógeno alcance mais rápido as glândulas salivares do mosquito. Em outro estudo em laboratório, foi demonstrado que o aumento de 2°C na temperatura foi capaz de reduzir o PIE dos sorotipos DENV-2 e DENV-4 em fêmeas de *Aedes aegypti*³⁷. A 28°C, ambos os sorotipos puderam ser detectados nas glândulas salivares das fêmeas nove dias após a realização do repasto sanguíneo, mas esse PIE caiu para cinco dias quando a temperatura foi de 30°C³⁷.

Além disso, a antropofilia característica apresentada por esse mosquito é potencializada pela presença da discordância gonotrófica, fazendo com que a fêmea se alimente mais de uma vez dentro do mesmo ciclo de oviposição, aumentando a chance de se infectar e de transmitir o vírus para os humanos^{38,39}. Tais aspectos relacionados à bioecologia do *Aedes aegypti* já fornecem, ainda que parcialmente,

algumas pistas para o desafio que temos no controle do mosquito e, conseqüentemente, na redução dos casos de dengue no Brasil.

Mudanças climáticas e outros fatores

É inegável que o mundo vem passando por mudanças climáticas, especialmente o aquecimento global, causadas pelas atividades humanas ao longo dos séculos. Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), a temperatura da superfície global está cerca de 1,1°C mais alta em comparação aos anos pré-industriais, e esse aquecimento deve chegar a 1,5°C entre 2030 e 2052, caso a curva de aumento siga no ritmo atual⁴⁰.

O aumento da população de *Aedes aegypti* está associado, principalmente, às temperaturas mais elevadas⁴¹⁻⁴³ e aos períodos de chuva^{41,44}. Similarmente, a incidência de casos de dengue é maior nos meses mais quentes e mais chuvosos^{43,45-47}. Uma vez que a temperatura e a pluviosidade podem afetar a dinâmica do vetor *Aedes aegypti* e que a dengue é uma doença fortemente relacionada a essas variáveis climáticas, é esperado que as mudanças climáticas, especificamente o aquecimento global, estejam impactando a epidemiologia dessa doença no país e no mundo^{48,49}.

Muitos estudos sugerem que as mudanças climáticas afetarão a distribuição geográfica dos mosquitos vetores e das doenças associadas a eles⁵⁰⁻⁵². Alguns modelos indicam que a distribuição do *Aedes aegypti* pode ser ampliada com o aquecimento global, sendo provável que, em 2080, essa espécie esteja presente em cerca de 159 países do mundo, sendo reportado pela primeira vez em, pelo menos, três deles⁵⁰. A chegada de doenças em países onde a população foi pouco ou nunca exposta aos patógenos pode resultar em grandes epidemias, como foi observado para Zika e chikungunya^{53,54}.

Recentemente, um estudo avaliou os indicadores climáticos e demográficos do Brasil, entre 2000 e 2020, para explicar a expansão da dengue e o aumento do número de casos da doença no país⁵⁵. O estudo indicou que o número de microrregiões com taxas de incidência maiores de 300/100 mil habitantes vem aumentando ao longo dos anos, especialmente nas partes oeste e sul das regiões Sudeste e Centro-Oeste, respectivamente. Adicionalmente, nas regiões Centro-Oeste e Sul, para o período entre 2014 e 2020, foi observado um aumento da quantidade de dias excessivamente quentes em relação aos anos de 2007 a 2013⁵⁵. O maior número de dias quentes, com temperaturas acima do esperado para a região, é uma das consequências das mudanças climáticas que pode explicar o aumento da incidência de dengue que vem sendo observado no país⁵⁵.

Adicionalmente, um estudo de revisão apresentou os efeitos que as mudanças climáticas, bem como o comportamento humano, podem ter nas doenças associadas a vetores, como a dengue⁵⁶. Períodos de fortes chuvas, podendo ou não causar inundações, bem como os períodos de

seca, por exemplo, podem afetar a dinâmica de transmissão de patógenos por vetores⁵⁶. Enquanto o aumento da pluviosidade pode preencher de água recipientes artificiais expostos no ambiente, transformando-os em criadouros para o *Aedes aegypti*^{49,57}, períodos de seca podem levar a população a armazenar água em áreas urbanas com abastecimento irregular⁵⁸. Como esse armazenamento de água costuma ser em recipientes improvisados, como baldes, tonéis e tanques, é comum que não estejam vedados adequadamente, atraindo as fêmeas de *Aedes aegypti* para depositar seus ovos⁵⁶.

Contudo, é importante ressaltar que, além das mudanças climáticas, aspectos sociais, políticos e econômicos também podem favorecer o ciclo de transmissão do DENV. A urbanização rápida e não planejada, aliada a condições sanitárias precárias, pouca infraestrutura de saúde pública, redução do acesso aos cuidados de saúde e esforços limitados de controle do mosquito vetor também contribui para as epidemias de dengue⁵⁹.

Um estudo avaliou a evolução espaço-temporal dos casos de dengue no Brasil entre 2001 e 2012, analisando a relação entre os registros reportados e os fatores socio-demográficos⁶⁰. A ocorrência de casos de dengue no Brasil entre 2001 e 2012 apresentou associação inversa com a proporção de pessoas que vivem em áreas rurais, ou seja, quanto maior a população humana nas cidades, maior é o risco de dengue⁶⁰. Também foi observada associação direta e inversa, respectivamente, entre o índice de Gini e a presença de rede de esgoto com o risco de dengue⁶⁰. Em outro estudo, foi demonstrado que a incidência de dengue apresentou padrão heterogêneo no Nordeste do Brasil entre os anos de 2014 e 2017, sendo que indicadores sociais, como densidade populacional humana, educação e vulnerabilidade social mostraram correlação positiva com a doença⁶¹. Por exemplo, o acesso à água encanada teve correlação negativa com a incidência de dengue⁶¹.

Adicionalmente, o comportamento humano pode desempenhar papel crucial para a ocorrência das epidemias de dengue no Brasil. A eliminação de criadouros do *Aedes aegypti* dentro das casas depende muito da mobilização da sociedade. Em um estudo realizado em um bairro do município de São José do Rio Preto, no estado de São Paulo, por exemplo, foi demonstrado que, mesmo após a realização de um trabalho educativo, incluindo atividades como a distribuição de folhetos nas casas, afixação de cartazes em locais de utilidade pública e comerciais, reuniões com mães nas creches, palestras nas escolas, entre outras, não foi observada redução do número de criadouros encontrados nas residências antes e depois desse programa de conscientização⁶².

Em contrapartida, na cidade de Catanduva, em São Paulo, ações de prevenção contra a dengue, voltadas para a informação da população, apresentaram resultados positivos⁶³. Entre 1999 e 2001, foram avaliadas duas áreas da periferia de Catanduva, sendo uma área de estudo e a outra de controle. Na área de estudo, os agentes de controle de

vetores demonstraram as medidas preventivas para a população, mas não aplicaram larvicidas e não eliminaram os criadouros do mosquito. Foi utilizado material educativo específico para demonstrar o ciclo do *Aedes aegypti* e também foram realizadas atividades lúdicas, como teatro e gincanas⁶³. Como resultado, a área de estudo apresentou redução significativa da proporção de domicílios com recipientes potenciais ou contendo água parada em comparação à área de controle. Também em relação a esta, foi observada redução significativa do número médio de recipientes potenciais e contendo água parada nos domicílios da área de estudo⁶³.

É essencial que a sociedade se sinta parte responsável do controle do mosquito para que tenhamos sucesso na redução dos criadouros dentro das casas. Entretanto, a informação e a educação precisam caminhar junto com políticas públicas articuladas entre as três esferas de governo, estando voltadas para medidas eficazes de saneamento básico, como, por exemplo, a coleta regular de resíduos sólidos⁶⁴. A relação entre a dengue e os determinantes sociais indica a necessidade de políticas públicas específicas para amenizar desigualdades, a fim de reduzir os casos da doença nas regiões mais vulneráveis.

A multissetorialidade da dengue explica a dificuldade que há em controlar a doença no país. O clima tropical dominante, com meses quentes e chuvosos, naturalmente favorece o estabelecimento, a expansão e a proliferação do *Aedes aegypti*. Por sua vez, essa espécie possui características ecológicas e comportamentais que aumentam sua capacidade vetorial.

As formas de controle disponíveis parecem pouco efetivas para reduzir a densidade do vetor. Para o controle químico, por exemplo, deve ser considerada a resistência que as populações do mosquito podem desenvolver contra determinadas classes de inseticidas e larvicidas⁶⁵. A eliminação e o manejo adequado dos criadouros potenciais do *Aedes aegypti*, essenciais no controle mecânico, podem ser um desafio para o controle, uma vez que muitos estão em áreas de difícil acesso. Como alternativa, drones têm sido apontados como uma ferramenta útil para amenizar essa limitação, uma vez que são capazes de fornecer imagens de boa resolução para a identificação de criadouros do *Aedes aegypti* em áreas inacessíveis aos agentes que fazem a vigilância entomológica^{66,67}.

A *Wolbachia* é uma bactéria endossimbionte presente em diversas espécies de insetos, como *Aedes (Stegomyia) albopictus*⁶⁸, um mosquito considerado vetor potencial de DENV, ZIKV e CHIKV no Brasil⁶⁹. A *Wolbachia* não é encontrada naturalmente no *Aedes aegypti*, e a inoculação dessa bactéria nesse mosquito torna-o menos competente para transmitir os vírus dengue, Zika e chikungunya, o que pode ajudar na redução dos casos dessas arboviroses no país^{70,71}. Além disso, a bactéria é passada para as gerações seguintes através dos ovos⁷². Esse método de controle envolve a liberação de mosquitos adultos infectados com a bactéria durante meses na área-alvo. Na cidade de Niterói,

no Rio de Janeiro, a soltura desses mosquitos adultos vem mostrando resultados positivos⁷². Entretanto, a diversidade genética das populações brasileiras de *Aedes aegypti*, bem como os diferentes cenários ecológicos e epidemiológicos do país, deve ser considerada para a adoção desse método de controle biológico⁷³.

A vacina QDENGGA[®] contra o vírus dengue é uma esperança que se tem para a redução dos casos e da mortalidade que tem sido testemunhados nas últimas epidemias de dengue no Brasil, especialmente a de 2024. A imunização ocorre em duas doses e, após 18 meses, a eficácia geral da vacina é de 76,1% em indivíduos soropositivos — isso é, que já tiveram contato prévio com o vírus dengue, e 66,2% em indivíduos soronegativos, que nunca tiveram contato com o vírus dengue⁷⁴. A eficácia geral contra os diferentes sorotipos de DENV varia de 95,1% (DENV-2) a 48,9% (DENV-3)⁷⁴. Anteriormente, a vacina Dengvaxia[®] havia sido aprovada e lançada no Brasil em 2015 para indivíduos com idade entre 9 e 44 anos. Entretanto, essa vacina demonstrou ser benéfica apenas em pacientes soropositivos⁷⁵. O fato de a vacinação com a QDENGGA[®] ter sido iniciada em 2024, com uma quantidade de doses aplicadas pequena, impossibilita que se conheça o impacto de proteção na população brasileira.

Mesmo com a vacinação, deve-se considerar os aspectos político-sociais e climáticos da dengue, que proporcionam os maiores desafios para o controle do mosquito vetor e da doença. Definir políticas públicas para a coleta regular de lixo e o fornecimento de água encanada de forma igualitária para toda a população brasileira pode auxiliar bastante na redução da infestação e dos casos de arboviroses associados ao *Aedes aegypti*. Similarmente, deve-se pensar em medidas e ações eficientes para se reduzir os impactos das mudanças climáticas, prevenindo o aumento de períodos de seca e de grandes alagamentos, que podem não só influenciar na dinâmica de transmissão dos arbovírus, mas também de outras doenças infecciosas que impactam a saúde pública brasileira.

REFERÊNCIAS

- Davis LE, Beckham JD, Tyler KL. North American encephalitic arboviruses. *Neurol Clin* 2008; 26(3): 727-57. <https://doi.org/10.1016/j.ncl.2008.03.012>
- Lopes N, Nozawa C, Linhares REC. Características gerais e epidemiologia dos arbovírus emergentes no Brasil. *Rev Pan-Amaz Saúde* 2014; 5(3): 55-64. <https://doi.org/10.5123/s2176-62232014000300007>
- Donalísio MR, Freitas ARR, Von Zuben APB. Arboviruses emerging in Brazil: challenges for clinic and implications for public health. *Rev Saude Publica* 2017; 51: 30. <https://10.1590/S1518-8787.2017051006889>
- Cleton N, Koopmans M, Reimerink J, Godeke GJ, Reusken C. Come fly with me: review of clinically important arboviruses for global travelers. *J Clin Virol* 2012; 55(3): 191-203. <https://doi.org/10.1016/j.jcv.2012.07.004>
- Lima-Camara TN. Emerging arboviruses and public health challenges in Brazil. *Rev Saúde Pública* 2016; 50: 36. <https://doi.org/10.1590/S1518-8787.2016050006791>
- Guzman MG, Halstead SB, Artsob H, Buchy P, Farrar J, Gubler DJ, et al. Dengue: a continuing global threat. *Nat Rev Microbiol* 2010; 8(12 Suppl): S7-16. <https://doi.org/10.1038/nrmicro2460>
- Center for Disease Control and Prevention. Areas with risk of dengue [Internet]. 2024 [acessado em 24 abr. 2024]. Disponível em: <https://www.cdc.gov/dengue/areas-with-risk/index.html>
- Bhatt S, Gething PW, Brady OJ, Messina JP, Farlow AW, Moyes CL, et al. The global distribution and burden of dengue. *Nature* 2013; 496(7446): 504-7. <https://doi.org/10.1038/nature12060>
- Osanai CH, Rosa AP, Tang AT, Amaral RS, Passos AD, Tauil PL. Surto de dengue em Boa Vista, Roraima. Relatório preliminar. *Rev Inst Med Trop São Paulo* 1983; 25(1): 53-4.
- Schatzmayr HG, Nogueira RM, Travassos da Rosa AP. An outbreak of dengue virus at Rio de Janeiro--1986. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 1986; 81(2): 245-6. <https://doi.org/10.1590/S0074-02761986000200019>
- Nogueira RM, Miagostovich MP, de Filippis AM, Pereira MA, Schatzmayr HG. Dengue virus type 3 in Rio de Janeiro, Brazil. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 2001; 96(7): 925-6. <https://doi.org/10.1590/S0074-02762001000700007>
- Nogueira RM, Miagostovich MP, Lampe E, Schatzmayr HG. Isolation of dengue virus type 2 in Rio de Janeiro. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 1990; 85(2): 253. <https://doi.org/10.1590/S0074-02761990000200022>
- Nogueira RMR, Araújo JMG, Schatzmayr HG. Dengue viruses in Brazil, 1986-2006. *Rev Panam Salud Publica* 2007; 22(5): 358-63. <https://doi.org/10.1590/S1020-49892007001000009>
- Nogueira RMR, Schatzmayr HG, de Filippis AMB, Santos FB, Cunha RV, Coelho JO, et al. Dengue virus type 3, Brazil, 2002. *Emerg Infect Dis* 2005; 11(9): 1376-81. <https://doi.org/10.3201/eid1109.041043>
- Temporão JG, Penna GO, Carmo EH, Coelho GE, Azevedo RSS, Nunes MRT, et al. Dengue virus serotype 4, Roraima State, Brazil. *Emerg Infect Dis* 2011; 17(5): 938-40. <https://doi.org/10.3201/eid1705.101681>
- Nogueira RMR, Eppinghaus ALF. Dengue virus type 4 arrives in the state of Rio de Janeiro: a challenge for epidemiological surveillance and control. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 2011; 106(3): 255-6. <https://doi.org/10.1590/S0074-02762011000300001>
- Centro de Operações de Emergência (COE). Informe semanal. Edição nº 16, SE 01 a 21/2024. Indicadores de dengue (2024) [Internet]. 2024 [acessado em 07 jun. 2024]. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-de-a-a-z/a/arboviroses/informe-semanal/informe-semanal-no-16.pdf>
- GOV.BR. Série histórica de casos prováveis de dengue (2000-2023) [Internet]. 2024 [acessado em 25 abr. 2024]. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-de-a-a-z/d/dengue/situacao-epidemiologica/serie-historica-casos-provaveis-de-dengue-2000-2023>

19. McBride CS, Baier F, Omondi AB, Spitzer SA, Lutomiah J, Sang R, et al. Evolution of mosquito preference for humans linked to an odorant receptor. *Nature* 2014; 515(7526): 222-7. <https://doi.org/10.1038/nature13964>
20. Xia S, Dweck HKM, Lutomiah J, Sang R, McBride CS, Rose NH, et al. Larval sites of the mosquito *Aedes aegypti formosus* in forest and domestic habitats in Africa and the potential association with oviposition evolution. *Ecol Evol* 2021; 11(22): 16327-43. <https://doi.org/10.1002/ece3.8332>
21. Rose NH, Badolo A, Sylla M, Akorli J, Otoo S, Gloria-Soria A, et al. Dating the origin and spread of specialization on human hosts in *Aedes aegypti* mosquitoes. *Elife* 2023; 12: e83524. <https://doi.org/10.7554/eLife.83524>
22. Powell JR, Tabachnick WJ. History of domestication and spread of *Aedes aegypti* – a review. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 2013;108 Suppl 1(Suppl 1): 11-7. <https://doi.org/10.1590/0074-0276130395>
23. Reiter P, Sprenger D. The used tire trade: a mechanism for the worldwide dispersal of container breeding mosquitoes. *J Am Mosq Control Assoc* 1987; 3(3): 494-501. PMID: 2904963.
24. Reiter P. *Aedes albopictus* and the world trade in used tires, 1988-1995: the shape of things to come? *J Am Mosq Control Assoc* 1998; 14(1): 83-94.
25. Consoli RAGB, Lourenço-De-Oliveira R. 1994. Principais mosquitos de importância sanitária no Brasil. Rio de Janeiro: Fiocruz; 1994.
26. Benchimol JL. Febre amarela e epidemias: configurações do problema ao longo do tempo. *Revista NUPEM* 2021; 13(29): 36-71. <https://doi.org/10.33871/nupem.2021.13.29.36.71>
27. Teixeira MG, Costa MCN, Barreto ML, Mota E. Dengue and dengue hemorrhagic fever epidemics in Brazil: what research is needed based on trends, surveillance, and control experiences? *Cad Saude Publica* 2005; 21(5): 1307-15. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2005000500002>
28. Tauil PL. Urbanização e ecologia do dengue. *Cad Saúde Pública* 2001; 17(suppl): S99-S102. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2001000700018>
29. Pinheiro VCS, Tadei WP. Frequency, diversity, and productivity study on the *Aedes aegypti* most preferred containers in the City of Manaus, Amazonas, Brazil. *Rev Inst Med Trop Sao Paulo* 2002; 44(5): 245-50. <https://doi.org/10.1590/S0036-46652002000500002>
30. Varejão JBM, Santos CB, Rezende HR, Bevilacqua LC, Falqueto A. Criadouros de *Aedes (Stegomyia) aegypti* (Linnaeus, 1762) em bromélias nativas na Cidade de Vitória, ES. *Rev Soc Bras Med Trop* 2005; 38(3): 238-40. <https://doi.org/10.1590/S0037-86822005000300006>
31. Ceretti-Júnior W, Medeiros-Sousa AR, Multini LC, Urbinatti PR, Vendrami DP, Natal D, et al. Immature mosquitoes in bamboo internodes in municipal parks, city of São Paulo, Brazil. *J Am Mosq Control Assoc* 2014; 30(4): 268-74. <https://doi.org/10.2987/14-6403R.1>
32. Lima-Camara TN, Urbinatti PR, Chiaravalloti-Neto F. Finding *Aedes aegypti* in a natural breeding site in an urban zone, Sao Paulo, Southeastern Brazil. *Rev Saude Publica* 2016; 50: 3. <https://doi.org/10.1590/S1518-8787.2016050006245>
33. Couret J, Dotson E, Benedict MQ. Temperature, larval diet, and density effects on development rate and survival of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *PLoS One* 2014; 9(2): e87468. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0087468>
34. Rueda LM, Patel KJ, Axtell RC, Stinner RE. Temperature-dependent development and survival rates of *Culex quinquefasciatus* and *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *J Med Entomol* 1990; 27(5): 892-8. <https://doi.org/10.1093/jmedent/27.5.892>
35. Chaves LF. Climate change and the biology of insect vectors of human pathogens. In: Johnson SN, Jones TH, eds. *Global climate change and terrestrial invertebrates*. Chichester: Wiley Online Library; 2017. p. 126-47. <https://doi.org/10.1002/9781119070894>
36. Watts DM, Burke DS, Harrison BA, Whitmire RE, Nisalak A. Effect of temperature on the vector efficiency of *Aedes aegypti* for dengue 2 virus. *Am J Trop Med Hyg* 1987; 36(1): 143-52. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.1987.36.143>
37. Rohani A, Wong YC, Zamre I, Lee HL, Zurainee MN. The effect of extrinsic incubation temperature on development of dengue serotype 2 and 4 viruses in *Aedes aegypti* (L.). *Southeast Asian J Trop Med Public Health* 2009; 40(5): 942-50. PMID: 19842378.
38. Lima-Camara TN, Honório NA, Lourenço-de-Oliveira R. Parity and ovarian development of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) in metropolitan Rio de Janeiro. *J Vector Ecol* 2007; 32(1): 34-40. [https://doi.org/10.3376/1081-1710\(2007\)32\[34:paodoa\]2.0.co;2](https://doi.org/10.3376/1081-1710(2007)32[34:paodoa]2.0.co;2)
39. Andrade PS, Urbinatti PR, Coelho RR, Almeida RMMS, Ribeiro SS, Lima-Camara TN. Parity and gonotrophic discordance of females of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) in the city of São Paulo, SP, Brazil. *J Vector Ecol* 2019; 44(2): 233-40. <https://doi.org/10.1111/jvec.12354>
40. Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC). AR6 Synthesis Report. *Climate Change 2023* [Internet]. [acessado em 25 abr. 2024]. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>
41. Miyazaki RD, Ribeiro ALM, Pignatti MG, Campelo Júnior JH, Pignati M. Monitoramento do mosquito *Aedes aegypti* (Linnaeus, 1762) (Diptera: Culicidae), por meio de ovitrampas no Campus da Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, Estado de Mato Grosso. *Rev Soc Bras Med Trop* 2009; 42(4): 392-97. <https://doi.org/10.1590/S0037-86822009000400007>
42. Honório NA, Castro MG, Barros FSM, Magalhães MAFM, Sabroza PC. The spatial distribution of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* in a transition zone, Rio de Janeiro, Brazil. *Cad Saude Publica* 2009; 25(6): 1203-14. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2009000600003>
43. Heinisch MRS, Diaz-Quijano FA, Chiaravalloti-Neto F, Pancetti FGM, Coelho RR, Andrade PS, et al. Seasonal and spatial distribution of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* in a municipal urban park in São Paulo, SP, Brazil. *Acta Trop* 2019; 189: 104-13. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2018.09.011>

44. Wilke ABB, Medeiros-Sousa AR, Ceretti-Junior W, Marrelli MT. Mosquito populations dynamics associated with climate variations. *Acta Trop* 2017; 166: 343-50. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2016.10.025>
45. Câmara FP, Theophilo RLG, Santos GT, Pereira SFRG, Câmara DCP, Matos RR. Estudo retrospectivo (histórico) da dengue no Brasil: características regionais e dinâmicas. *Rev Soc Bras Med Trop* 2007; 40(2): 192-6. <https://doi.org/10.1590/S0037-86822007000200009>
46. Monteiro ESC, Coelho ME, Cunha IS, Cavalcante MAS, Carvalho FAA. Aspectos epidemiológicos e vetoriais da dengue na cidade de Teresina, Piauí – Brasil, 2002 a 2006. *Epidemiol Serv Saúde* 2009; 18(4): 365-74. <https://doi.org/10.5123/S1679-49742009000400006>
47. Azevedo TS, Lorenz C, Chiaravalloti-Neto F. Spatiotemporal evolution of dengue outbreaks in Brazil. *Trans R Soc Trop Med Hyg* 2020; 114(8): 593-602. <https://doi.org/10.1093/trstmh/traa030>
48. McMichael AJ, Woodruff RE. Climate change and infectious diseases. In: Mayer KH, Pizer HF, eds. *The social ecology of infectious diseases*. London: Elsevier Science & Technology Academic Press; 2008. p.378-407.
49. Viana DV, Ignotti E. A ocorrência da dengue e variações meteorológicas no Brasil: revisão sistemática. *Rev Bras Epidemiol* 2013; 16(2): 240-56. <https://doi.org/10.1590/S1415-790X2013000200002>
50. Kraemer MUG, Reiner Jr 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; 4(5): 854-63. <https://doi.org/10.1038/s41564-019-0376-y>
51. Liu-Helmersson J, Rocklöv J, Sewe M, Brännström Å. Climate change may enable *Aedes aegypti* infestation in major European cities by 2100. *Environ Res* 2019; 172: 693-9. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.02.026>
52. Iwamura T, Guzman-Holst A, Murray KA. Accelerating invasion potential of disease vector *Aedes aegypti* under climate change. *Nat Commun* 2020; 11(1): 2130. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-16010-4>
53. Nunes MRT, Faria NR, Vasconcelos JM, Golding N, Kraemer MUG, Oliveira LF, et al. Emergence and potential for spread of Chikungunya virus in Brazil. *BMC Med* 2015; 13: 102. <https://doi.org/10.1186/s12916-015-0348-x>
54. Faria NR, Azevedo RSS, Kraemer MUG, Souza R, Cunha MS, Hill SC, et al. Zika virus in the Americas: early epidemiological and genetic findings. *Science* 2016; 352(6283): 345-9. <https://doi.org/10.1126/science.aaf5036>
55. Barcellos C, Matos V, Lana RM, Lowe R. Climate change, thermal anomalies, and the recent progression of dengue in Brazil. *Sci Rep* 2024; 14(1): 5948. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-56044-y>
56. Souza WM, Weaver SC. Effects of climate change and human activities on vector-borne diseases. *Nat Rev Microbiol* 2024; 22(8): 476-91. <https://doi.org/10.1038/s41579-024-01026-0>
57. Roiz D, Boussès P, Simard F, Paupy C, Fontenille D. Autochthonous chikungunya transmission and extreme climate events in southern France. *PLoS Negl Trop Dis* 2015; 9(6): e0003854. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0003854>
58. Lowe R, Lee SA, O'Reilly KM, Brady OJ, Bastos L, Carrasco-Escobar G, et al. Combined effects of hydrometeorological hazards and urbanisation on dengue risk in Brazil: a spatiotemporal modelling study. *Lancet Planet Health* 2021; 5(4): e209-e219. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(20\)30292-8](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(20)30292-8)
59. San Martín JL, Brathwaite O, Zambrano B, Solórzano JO, Bouckennooghe A, Dayan GH, et al. The epidemiology of dengue in the Americas over the last three decades: a worrisome reality. *Am J Trop Med Hyg* 2010; 82(1): 128-35. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.2010.09-0346>
60. Rodrigues NCP, Lino VTS, Daumas RP, Andrade MKN, O'Dwyer G, Monteiro DLM, et al. Temporal and spatial evolution of dengue incidence in Brazil, 2001-2012. *PLoS One* 2016; 11(11): e0165945. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165945>
61. Carmo RF, Silva Júnior JV, Pastor AF, Souza CDF. Spatiotemporal dynamics, risk areas and social determinants of dengue in Northeastern Brazil, 2014–2017: an ecological study. *Infect Dis Poverty* 2020; 9(1): 153. <https://doi.org/10.1186/s40249-020-00772-6>
62. Chiaravalloti Neto F, Moraes MS, Fernandes MA. Avaliação dos resultados de atividades de incentivo à participação da comunidade no controle da dengue em um bairro periférico do Município de São José do Rio Preto, São Paulo, e da relação entre conhecimentos e práticas desta população. *Cad Saúde Pública* 1998; 14(Suppl 2): S101-S109. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X1998000600009>
63. Chiaravalloti Neto F, Fiorin AM, Conversani DT, Cesarino MB, Barbosa AAC, Dibo MR, et al. Controle do vetor do dengue e participação da comunidade em Catanduva, São Paulo, Brasil. *Cad Saúde Pública* 2003; 19(6): 1739-49. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2003000600018>
64. Faria MTS, Ribeiro NRS, Dias AP, Gomes UAF, Moura PM. Saúde e saneamento: uma avaliação das políticas públicas de prevenção, controle e contingência das arboviroses no Brasil. *Ciênc Saúde Coletiva* 2023; 28(6): 1767-76. <https://doi.org/10.1590/1413-81232023286.07622022>
65. Zara ALSA, Santos SM, Fernandes-Oliveira ES, Carvalho RG, Coelho GE. Estratégias de controle do *Aedes aegypti*: uma revisão. *Epidemiol Serv Saúde* 2016; 25(2): 391-404. <https://doi.org/10.5123/S1679-49742016000200017>
66. Valdez-Delgado KM, Moo-Llanes DA, Danis-Lozano R, Cisneros-Vázquez LA, Flores-Suarez AE, Ponce-García G, et al. Field effectiveness of drones to identify potential *Aedes aegypti* breeding sites in household environments from Tapachula, a dengue-endemic city in southern Mexico. *Insects* 2021; 12(8): 663. <https://doi.org/10.3390/insects12080663>
67. Carrasco-Escobar G, Moreno M, Fornace K, Herrera-Varela M, Manrique E, Conn JE. The use of drones for mosquito surveillance and control. *Parasit Vectors* 2022; 15(1): 473. <https://doi.org/10.1186/s13071-022-05580-5>

68. Albuquerque AL, Magalhães T, Ayres CFJ. High prevalence and lack of diversity of *Wolbachia pipientis* in *Aedes albopictus* populations from Northeast Brazil. Mem Inst Oswaldo Cruz 2011; 106(6): 773-6. <https://doi.org/10.1590/S0074-02762011000600021>
69. Ferreira-de-Lima VH, Andrade PS, Thomazelli LM, Marrelli MT, Urbinatti PR, Almeida RMMS, et al. Silent circulation of dengue virus in *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) resulting from natural vertical transmission. Sci Rep 2020; 10(1): 3855. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60870-1>
70. Moreira LA, Iturbe-Ormaetxe I, Jeffery JA, Lu G, Pyke AT, Hedges LM, et al. A *Wolbachia* symbiont in *Aedes aegypti* limits infection with dengue, chikungunya, and Plasmodium. Cell 2009; 139(7): 1268-78. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2009.11.042>
71. Aliota MT, Peinado SA, Velez ID, Osorio JE. The wMel strain of *Wolbachia* Reduces Transmission of Zika virus by *Aedes aegypti*. Sci Rep 2016; 6: 28792. <https://doi.org/10.1038/srep28792>
72. Pinto SB, Riback TIS, Sylvestre G, Costa G, Peixoto J, Dias FBS, et al. Effectiveness of *Wolbachia*-infected mosquito deployments in reducing the incidence of dengue and other *Aedes*-borne diseases in Niterói, Brazil: a quasi-experimental study. PLoS Negl Trop Dis 2021; 15(7): e0009556. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0009556>
73. Pavan MG, Garcia GA, David MR, Maciel-de-Freitas R. The double-edged sword effect of expanding *Wolbachia* deployment in dengue endemic settings. Lancet Reg Health Am 2023; 27: 100610. <https://doi.org/10.1016/j.lana.2023.100610>
74. Torres-Flores JM, Reyes-Sandoval A, Salazar MI. Dengue vaccines: an update. BioDrugs 2022; 36(3): 325-36. <https://doi.org/10.1007/s40259-022-00531-z>
75. Diaz-Quijano FA, Carvalho DS, Raboni SM, Shimakura SE, Mello AM, Costa-Ribeiro MCV, et al. Effectiveness of mass dengue vaccination with CYD-TDV (Dengvaxia®) in the state of Paraná, Brazil: integrating case-cohort and case-control designs. Lancet Reg Health Am 2024; 35: 100777. <https://doi.org/10.1016/j.lana.2024.100777>

ABSTRACT

Dengue is an arbovirus infection whose etiologic agent is transmitted by the *Aedes aegypti* mosquito. Since the early 1980s, when the circulation of the dengue virus (DENV) was confirmed in Brazil, the disease has become a growing multifactorial public health problem. This article presented the main factors that have contributed to the frequent dengue epidemics in recent years, such as the behavior of the vector, climate change, and social, political, and economic aspects. The intersection between these different factors in the dynamics of the disease is highlighted, including the increase in the mosquito population due to higher temperatures and rainy periods, as well as the influence of socioeconomic conditions on the incidence of dengue. Some mosquito control strategies are also addressed, including the use of innovative technologies such as drones and the *Wolbachia* bacterium, as well as the hope represented by the dengue vaccine. Nevertheless, the need for integrated and effective public policies to reduce social inequalities and the impacts of climate change on the spread of dengue is emphasized.

Keywords: Arbovirus infections. Vectors. Climate change. Public policies. Control.

FONTE DE FINANCIAMENTO: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP (2022/03969-1); Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq.

