

Métodos de Séries Temporais em Estudos Epidemiológicos da Dengue no Brasil: Uma Revisão de Escopo

Time Series Methods in Epidemiological Studies of Dengue in Brazil: A Scoping Review

Métodos de Series Temporales en Estudios Epidemiológicos del Dengue en Brasil: Una Revisión de Alcance

RESUMO

Objetivo: No Brasil, a dengue deixou de ser um problema sazonal e passou a representar um desafio complexo de saúde pública, com surtos difíceis de prever pelos métodos tradicionais. Em 2024, o recorde de casos e os impactos da pandemia de COVID-19 evidenciaram limitações nos registros e na vigilância epidemiológica. **Método:** Este estudo mapeou a produção científica brasileira (2020–2025) sobre métodos de séries temporais, por meio de uma revisão de escopo baseada nas diretrizes JBI e PRISMA-ScR, analisando 32 artigos de bases como PubMed, Scopus, LILACS e SciELO. **Resultados:** Observou-se que, embora modelos modernos como LSTM estejam em crescimento, predominam métodos clássicos, como Prais-Winsten e ARIMA/SARIMA, devido à sua aplicabilidade prática. A principal limitação identificada foi a baixa qualidade dos dados do SINAN. **Conclusão:** Conclui-se que avanços dependem da integração de modelos robustos com dados mais confiáveis.

DESCRIPTORES: Brasil; Dengue; Revisão de Escopo; Séries Temporais; Vigilância Epidemiológica.

ABSTRACT

Objective: In Brazil, dengue has shifted from a seasonal issue to a complex public health challenge, with outbreaks that are difficult to predict using traditional methods. In 2024, record case numbers and the impacts of the COVID-19 pandemic highlighted limitations in epidemiological surveillance and data quality. **Methods:** This study mapped Brazilian scientific production (2020–2025) on time series methods through a scoping review based on JBI and PRISMA-ScR guidelines, analyzing 32 articles from databases such as PubMed, Scopus, LILACS, and SciELO. **Results:** Although modern models like LSTM are gaining ground, classical methods such as Prais-Winsten and ARIMA/SARIMA still predominate due to their practical applicability. The main limitation identified was the poor quality of SINAN data. **Conclusion:** Progress depends on integrating robust models with more reliable data.

DESCRIPTORS: Brazil; Dengue; Scoping Review; Time Series; Epidemiological Surveillance.

RESUMEN

Objetivo: En Brasil, el dengue ha dejado de ser un problema estacional y se ha convertido en un desafío complejo de salud pública, con brotes difíciles de predecir mediante métodos tradicionales. En 2024, el número récord de casos y los impactos de la pandemia de COVID-19 evidenciaron limitaciones en la vigilancia epidemiológica y en la calidad de los datos. **Método:** Este estudio analizó la producción científica brasileña (2020–2025) sobre métodos de series temporales mediante una revisión de alcance basada en las directrices JBI y PRISMA-ScR, evaluando 32 artículos de bases como PubMed, Scopus, LILACS y SciELO. **Resultados:** Aunque los modelos modernos como LSTM están en crecimiento, predominan los métodos clásicos como Prais-Winsten y ARIMA/SARIMA debido a su aplicabilidad práctica. La principal limitación identificada fue la baja calidad de los datos del SINAN. **Conclusión:** Se concluye que el avance depende de integrar modelos más robustos con datos más confiables.

DESCRIPTORES: Brasil; Dengue; Revisión de alcance; Series temporales; Vigilancia epidemiológica.

RECEBIDO EM: 25/04/2026 APROVADO EM: 28/05/2026

Como citar este artigo: Souza EGJ, Souza EC, Melo JP, Soares RVS. Métodos de Séries Temporais em Estudos Epidemiológicos da Dengue no Brasil: Uma Revisão de Escopo. Saúde Coletiva (Edição Brasileira) [Internet]. 2026 [acesso ano mês dia];18 (111):20510–20529. Disponível em: DOI: 10.36489/saudecoletiva.2026v18i11p20510–20529



Elton Gustavo José de Souza

Bacharelado em Farmácia pela Universidade Federal de Pernambuco, Sanitarista e Farmacêutico da Secretaria Estadual de Saúde de Pernambuco. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9951-0283>



Eloisa da Conceição Souza

Bacharelado em Enfermagem pela Faculdade Estácio do Recife. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5638-1983>



Junior Pereira de Melo

Bacharelado em Farmácia pela Uninassau, Especialista em Farmácia Clínica e Hospitalar ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-3818-110X>



Rôgean Vinícius Santos Soares

Biólogo Sanitarista, doutorando em Saúde Coletiva pela UFRJ. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-8010-6076>

INTRODUÇÃO

A dengue constitui, há várias décadas, um dos principais problemas de saúde pública no Brasil. A doença apresenta elevada carga de morbidade, impacto socioeconômico significativo e recorrência de grandes epidemias. Trata-se de uma arbovirose amplamente distribuída no território nacional, cuja transmissão é sustentada pela presença disseminada do vetor *Aedes aegypti*, favorecida por condições climáticas tropicais, processos de urbanização desordenados e desigualdades socioambientais históricas^(1,2). Nas últimas décadas, o país tem registrado ciclos epidêmicos sucessivos, com aumento expressivo no número de casos notificados, hospitalizações e óbitos, o que reforça a centralidade da dengue na agenda da vigilância epidemiológica⁽³⁾.

Sob a perspectiva epidemiológica, a ocorrência de picos epidêmicos de dengue no Brasil está fortemente associada a períodos de maior temperatura e precipitação. A circulação simultânea de diferentes sorotipos virais, a imunidade parcial da população e a variabilidade climática também contribuem para a complexidade da dinâmica de transmissão. Segundo Teixeira et al.⁽²⁾, esses fatores produzem padrões temporais não lineares, nos quais as observações sucessivas apresentam dependência serial, característica principal das séries temporais epidemiológicas.

A vigilância da dengue no Brasil baseia-se predominantemente em dados provenientes de sistemas de informação em saúde, em especial o Sistema de

Informação de Agravos de Notificação (SINAN), que organiza os registros em séries temporais semanais, mensais ou anuais. Esses registros constituem a principal base concreta para análises epidemiológicas, dando subsídio ao monitoramento da doença, a identificação de tendências e a avaliação de estratégias de controle⁽¹⁾.

Contudo, a exploração analítica desses dados exige métodos estatísticos capazes de lidar adequadamente com autocorrelação, sazonalidade e ruído, elementos inerentes às séries temporais. Embora essencial para a vigilância epidemiológica, o SINAN é um sistema de notificação passiva, sujeito à subnotificação e a atrasos na digitação, limitações que se acentuaram, principalmente, durante a pandemia de COVID-19⁽⁴⁾.

Historicamente, parcela significativa dos estudos sobre dengue no país utilizou abordagens descritivas simples ou modelos de regressão linear clássica para analisar tendências temporais. Conforme discutido por Antunes e Cardoso⁽⁵⁾, esse tipo de abordagem, embora útil em análises exploratórias, apresenta limitações importantes quando aplicado a dados dependentes no tempo, sobretudo pela violação do pressuposto de independência entre observações. Como consequência, interpretações baseadas exclusivamente nesses métodos podem produzir estimativas imprecisas e conclusões enviesadas sobre a evolução da doença.

Nas últimas décadas, a epidemiologia da dengue no Brasil passou a incorporar, de forma progressiva, métodos específicos de análise de séries

temporais, em resposta às limitações observadas nas abordagens descritivas tradicionais. Modelos como a regressão de *Prais-Winsten*, a regressão *Joinpoint* e os modelos autorregressivos integrados de médias móveis (ARIMA) passaram a ser empregados de forma mais sistemática para estimar tendências, identificar mudanças estruturais e realizar previsões de curto prazo. Essas abordagens permitem incorporar explicitamente a dependência temporal dos dados, oferecendo maior consistência analítica às inferências epidemiológicas^(5,6).

Mais recentemente, a literatura tem incorporado modelos espaço-temporais e técnicas baseadas em *machine learning* e *deep learning*, ampliando a capacidade de análise e previsão da dengue. Segundo McGough et al.⁽⁷⁾, redes neurais recorrentes do tipo *Long Short-Term Memory* (LSTM) e modelos *ensemble* apresentam maior sensibilidade a padrões não lineares e potencial para integrar múltiplas fontes de informação, como variáveis climáticas e ambientais. Ainda assim, esses autores ressaltam desafios relacionados à interpretabilidade dos modelos e à viabilidade de incorporação dessas abordagens na rotina dos serviços de vigilância em saúde.

Apesar do avanço metodológico observado, a produção científica recente sobre o uso de séries temporais na epidemiologia da dengue no Brasil permanece fragmentada. Os estudos diferem quanto aos modelos adotados, aos indicadores epidemiológicos analisados, às escalas temporal e espacial utilizadas e às limitações metodológicas reconhecidas. Essa heterogeneidade dificulta

uma leitura integrada do estado da arte e torna menos clara a identificação sistemática de lacunas e tendências no campo, conforme evidenciado por estudos recentes incluídos nesta revisão.

Essa diversidade de abordagens metodológicas, associada à heterogeneidade dos contextos analisados, evidencia a necessidade de mapear o escopo da produção científica recente. Diferentemente das revisões sistemáticas tradicionais, esse tipo de abordagem permite explorar campos de investigação caracterizados por diversidade conceitual e metodológica⁽⁸⁾.

Não obstante, a literatura nacional ainda carece de uma síntese crítica que permita compreender não apenas quais métodos têm sido utilizados, mas em que contextos esses modelos se mostram mais adequados ou limitados. Observa-se, também, que a maior parte das análises temporais permanece centrada na incidência de casos, com menor atenção a desfechos relacionados à gravidade da doença.

A ausência de sínteses metodológicas recentes limita a consolidação de diretrizes analíticas para a vigilância da dengue no Brasil. Assim, o presente estudo teve como objetivo mapear e sintetizar os métodos de análise de séries temporais empregados em pesquisas epidemiológicas sobre dengue realizadas no Brasil e publicadas entre 2020 e 2025, identificando os modelos utilizados, os indicadores analisados e os seus principais achados e limitações.

MATERIAIS E MÉTODOS

Esta revisão de escopo foi desenvolvida conforme as diretrizes metodológicas propostas pelo *JBIManual for Evidence Synthesis* e o relato do estudo seguiu o *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses extension for Scoping Reviews* (PRISMA-ScR). A escolha desse delineamento metodológico fundamenta-se na diversidade conceitual e metodológica observada na literatura sobre o uso de

séries temporais na epidemiologia da dengue, o que torna pertinente uma abordagem capaz de mapear amplamente os métodos empregados e as lacunas existentes⁽⁹⁾.

A formulação da questão de pesquisa seguiu o acrônimo PCC (População, Conceito e Contexto), conforme preconizado pelo JBI. Considerou-se como população os dados epidemiológicos relacionados à dengue; como conceito, os métodos de análise de séries temporais; e como contexto, estudos realizados no Brasil. A questão norteadora da revisão foi definida como: “Quais são os métodos de séries temporais utilizados, os indicadores epidemiológicos analisados e as limitações metodológicas na literatura científica sobre dengue no Brasil nos últimos cinco anos?”.

A estratégia de busca foi elaborada de forma a contemplar os principais descritores relacionados à dengue e à análise de séries temporais, combinados por operadores booleanos AND e OR. As buscas foram realizadas nas bases de dados PubMed/MEDLINE, Scopus, SciELO e LILACS/BVS, considerando

estudos publicados no período de 2020 a 2025, nos idiomas português, inglês e espanhol e com acesso livre ao texto completo. Esse período foi escolhido por representar a fase mais recente de incorporação de técnicas preditivas e modelos baseados em *machine learning* na literatura nacional. A opção por estudos com acesso livre visou garantir a reprodutibilidade da análise e a transparência metodológica. As buscas foram realizadas no mês de dezembro de 2025 e o detalhamento completo das estratégias de busca utilizadas em cada base encontra-se apresentado no quadro 1.

Foram considerados elegíveis estudos originais que aplicaram métodos de análise de séries temporais a dados epidemiológicos de dengue no Brasil. Foram excluídos artigos de revisão, estudos metodológicos sem aplicação empírica, editoriais, cartas ao editor, dissertações, teses e trabalhos que não apresentaram análise temporal dos dados ou que não se referiam ao contexto brasileiro.

Quadro 1 – Estratégias de busca utilizadas nas bases de dados

Base de dados	Estratégia de busca
PubMed (MEDLINE)	(“Dengue”[Mesh] OR “Dengue”[Title/Abstract] OR “Severe Dengue”[Mesh]) AND (“Time Series”[Title/Abstract] OR “Interrupted Time Series Analysis”[Mesh] OR “Spatio-Temporal Analysis”[Mesh] OR “Forecasting”[Mesh] OR “Trend Analysis”[Title/Abstract] OR “Prais-Winsten”[Title/Abstract] OR “ARIMA”[Title/Abstract] OR “SARIMA”[Title/Abstract] OR “Joinpoint”[Title/Abstract] OR “Temporal Trends”[Title/Abstract]) AND (“Brazil”[Mesh] OR “Brazil”[Title/Abstract] OR “Brasil”[Title/Abstract])
LILACS / BVS	(tw:(dengue)) AND (tw:(“series temporais” OR “time series” OR “prais-winsten” OR “joinpoint” OR “arima” OR “sarima” OR “tendencia temporal” OR “analise de tendencia”)) AND (tw:(brasil OR brasil))
SciELO	(Dengue) AND (“Series Temporais” OR “Time Series” OR “Prais-Winsten” OR “ARIMA” OR “Joinpoint” OR “Tendencia Temporal” OR “Trend Analysis”) AND (Brasil OR Brazil)
Scopus	TITLE-ABS-KEY (“Dengue”) AND TITLE-ABS-KEY (“Time Series” OR “Prais-Winsten” OR “ARIMA” OR “SARIMA” OR “Joinpoint” OR “Trend Analysis” OR “Forecasting”) AND TITLE-ABS-KEY (“Brazil” OR “Brasil”)

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

O processo de seleção dos estudos foi realizado em etapas. Inicialmente, procedeu-se à remoção de duplicatas. Em seguida, os títulos e resumos foram avaliados quanto aos critérios de elegibilidade. Os estudos potencialmente relevantes foram submetidos à leitura do texto completo para confirmação da inclusão. Todas as etapas de triagem e seleção foram conduzidas de forma independente por dois revisores, e eventuais divergências foram resolvidas por consenso.

A extração dos dados foi realizada a partir de um instrumento previamente elaborado, contemplando informações sobre ano de publicação, local do estudo, fonte dos dados epidemiológicos, indicadores analisados, métodos de séries temporais empregados, inclusão de covariáveis e principais achados dos estudos. Os dados extraídos foram organizados de forma sistemática, permitindo a síntese descritiva e analítica dos achados.

A síntese dos resultados foi conduzida de maneira descritiva e narrativa, com apresentação dos estudos segundo categorias analíticas previamente definidas. A ausência de avaliação de qualidade dos estudos selecionados não compromete os objetivos deste estudo, uma vez que a revisão de escopo visa mapear métodos e abordagens, e não estimar efeitos. O protocolo desta revisão foi previamente registrado no *Open Science Framework* (OSF), sob o DOI 10.17605/OSF.IO/7E36X, assegurando a transparência e reprodutibilidade do processo metodológico.

RESULTADOS

A busca nas bases de dados resultou na identificação inicial de um conjunto de estudos potencialmente relevantes. Após a remoção de duplicatas e a aplicação dos critérios de elegibilidade, foram incluídos 32 estudos na síntese final. O processo de seleção seguiu as etapas recomendadas pelo PRISMA-ScR e está representado no fluxograma apresenta-

do na Figura 1.

No que se refere ao período de publicação, houve aumento progressivo do número de publicações ao longo do período analisado, com maior concentração a partir de 2023, indicando crescimento recente do interesse científico pelo uso de métodos de séries temporais aplicados à epidemiologia da dengue no Brasil no período considerado.

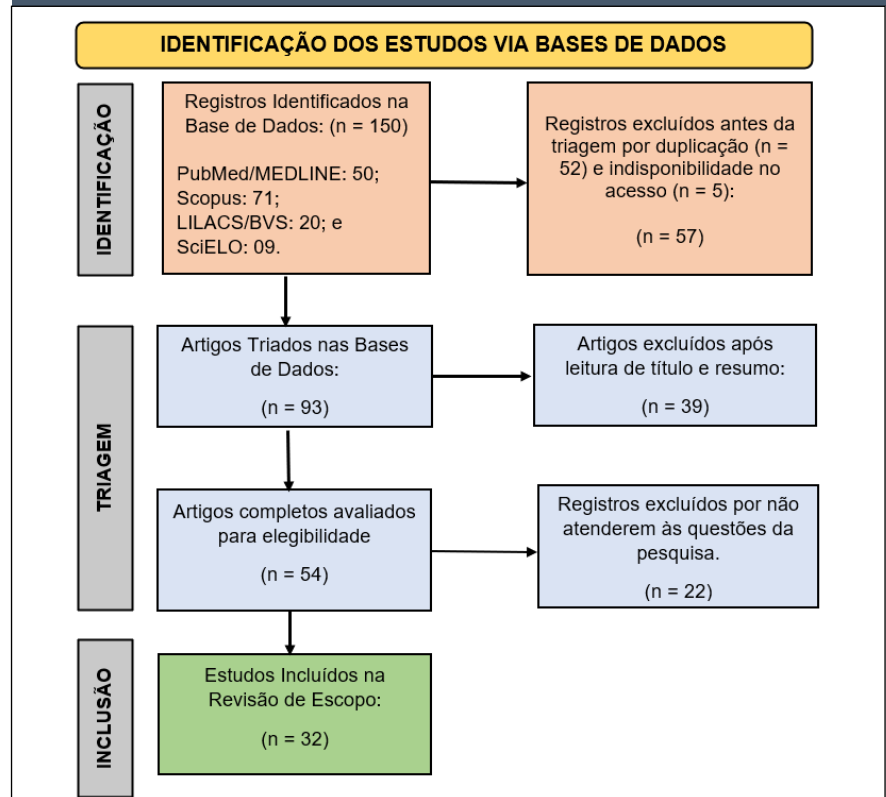
Quanto à abrangência geográfica, a maioria dos estudos apresentou abrangência nacional ou concentrou-se em regiões específicas do país, com destaque para as regiões Sudeste e Nordeste. Observou-se menor número de investigações conduzidas em nível municipal ou em estados das regiões Norte e Centro-Oeste, evidenciando desigualdade na produção científica segundo o território analisado.

O indicador epidemiológico mais

frequentemente analisado foi o número de casos notificados, geralmente expresso como taxa de incidência. Outros indicadores, como hospitalizações, óbitos e taxas de letalidade, foram utilizados de forma pontual, geralmente em análises complementares ou em estudos com delineamento específico. A predominância da incidência reflete a maior disponibilidade e padronização desse indicador nos sistemas de vigilância.

Em relação às fontes de dados epidemiológicos, predominou o uso de informações provenientes do SINAN, isoladamente ou em combinação com outras bases oficiais. Alguns estudos também utilizaram dados secundários de hospitalizações e mortalidade, embora esses desfechos tenham sido explorados de forma menos frequente quando comparados à incidência de casos notificados.

Figure 2. PRISMA 2020 flowchart of the process from study identification to inclusion.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

No que se refere aos métodos de análise de séries temporais, os estudos incluídos revelaram uma heterogeneidade expressiva de abordagens metodológicas, variando desde modelos descritivos de tendência até técnicas preditivas baseadas em *machine learning*. Os modelos descritivos de tendência, como a regressão de *Prais-Winsten* e análises de séries temporais interrompidas, foram amplamente utilizados, especialmente em estudos voltados à avaliação de tendências de longo prazo. Modelos autorregressivos, como ARIMA e SARIMA, também foram empregados com frequência, sobretudo em análises preditivas de curto prazo. Esse padrão sugere uma transição recente da literatura nacional, ainda marcada por abordagens descritivas, para modelos com maior ênfase preditiva.

Parte dos estudos incorporou modelos espaço-temporais, buscando captar

simultaneamente a dependência temporal e a heterogeneidade espacial da transmissão da dengue. Essas abordagens foram mais comuns em investigações de abrangência regional ou estadual. Observou-se ainda incremento atual no uso de técnicas baseadas em *machine learning* e *deep learning*, incluindo redes neurais do tipo *LSTM* e modelos *ensemble*, especialmente em estudos que integraram variáveis climáticas e ambientais.

A incorporação de covariáveis nos modelos temporais foi relatada em parcela significativa dos estudos. As variáveis mais frequentemente utilizadas incluíram temperatura, precipitação e indicadores ambientais, além de variáveis socioeconômicas em menor proporção. Em geral, os estudos que incluíram covariáveis relataram melhoria no desempenho dos modelos, embora tenham reconhecido desafios

metodológicos associados à seleção e ao tratamento dessas variáveis.

As limitações metodológicas mais frequentemente reportadas pelos autores envolveram problemas relacionados à qualidade dos dados epidemiológicos, como subnotificação de casos, atraso na notificação e inconsistências nos registros ao longo do tempo. Também foram mencionadas limitações relacionadas à complexidade dos modelos empregados, especialmente no caso de abordagens baseadas em *machine learning*, incluindo dificuldades de interpretação dos resultados e maior demanda computacional.

A síntese detalhada das características dos estudos incluídos, dos métodos de séries temporais utilizados e dos principais achados dos estudos encontra-se apresentada na tabela 1.

Table 2. Quantitative parameters associated with external breast prosthesis manufacturing processes					
AUTOR(ES) / ANO	MÉTODO DE SÉRIE TEMPORAL	ESCALA TEMPORAL / PERÍODO DA SÉRIE	INDICADOR EPIDEMIOLÓGICO	PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES	LIMITAÇÕES REPORTADAS
Achcar et al., 2020 ⁽¹⁰⁾	Regressão polinomial bayesiana + modelo de volatilidade estocástica (MCMC)	Série mensal (2007–2016)	Casos de dengue	Modelagem conjunta da média e variabilidade da série epidemiológica	Alta complexidade computacional
Alves et al., 2025 ⁽¹¹⁾	Modelo Bayesiano espaço-temporal (CAR/INLA)	Série semanal (2015–2018)	Casos de dengue por bairro	Integração de variáveis entomológicas, climáticas e socioambientais para previsão	Não reportado pelos autores
Araújo et al., 2024 ⁽¹²⁾	Rede neural + Interrupted Time Series	Série temporal histórica (2011–2020)	Casos de dengue	Avaliação do impacto da mobilidade urbana na transmissão durante a pandemia	Não reportado pelos autores
Bomfim et al., 2020 ⁽¹³⁾	Redes neurais recorrentes + ARIMA + modelo mecanístico	Série semanal (2007–2015)	Casos de dengue por bairro	Uso de mobilidade humana para melhorar previsão de surtos	Não reportado pelos autores
Castro et al., 2021 ⁽¹⁴⁾	Modelagem espaço-temporal com covariáveis ambientais	Série semanal (2010–2016)	Casos de dengue	Identificação de padrões espaço-temporais de surtos	Dependência de qualidade dos dados históricos
Chen & Moraga, 2025 ⁽¹⁵⁾	AR, MA, ARIMA, SARIMAX, RF, SVM, XGBoost, LSTM + ensemble	Série semanal (Jan 2016–Jan 2024)	Casos de dengue	Comparação sistemática entre modelos estatísticos e de ML	Não reportado pelos autores
Chen & Moraga, 2025 ⁽¹⁶⁾	LSTM com variáveis climáticas e efeitos espaciais	Série semanal (2016–2022)	Casos de dengue por estado	Previsão nacional integrando clima e dependência espacial	Sensível a regiões com baixa conectividade
Conceição et al., 2021 ⁽¹⁷⁾	Regressão binomial negativa com sazonalidade e defasagens	Série diária (Jan–Ago 2020)	Casos confirmados de dengue	Avaliação do impacto do isolamento social na transmissão	Subnotificação e atraso de registro
Daudt-Lemos et al., 2025 ⁽¹⁸⁾	Regressão Joinpoint + análise espaço-temporal	Série semanal (2023–2024)	Incidência de arboviroses	Identificação de tendências recentes de expansão epidemiológica	Não reportado pelos autores

De Lima & Laporta, 2020 ⁽¹⁹⁾	ARIMA, ETS, TBATS, STLM, StructTS, NNETAR, MLP	Série mensal (2000–2017)	Casos confirmados	Comparação extensiva de modelos preditivos para dengue	Influência da cocirculação de arboviroses
Drumond et al., 2020 ⁽²⁰⁾	Série de Fourier (decomposição sazonal)	Série mensal (2007–2017)	Casos prováveis	Caracterização da sazonalidade e permanência epidêmica	Não reportado pelos autores
Figueredo et al., 2023 ⁽²¹⁾	Correlação cruzada trend-free (pDCCA)	Série semanal (2017–2021)	Casos confirmados	Associação entre variáveis climáticas e incidência	Interrupção de dados climáticos na pandemia
Freitas et al., 2025 ⁽²²⁾	Modelo Bayesiano binomial negativa com efeitos temporais	Série semanal (2022–2025)	Casos prováveis	Construção de bandas probabilísticas epidêmicas	Não reportado pelos autores
Geraldini et al., 2024 ⁽²³⁾	Regressão linear com erros ARIMA e variáveis climáticas	Série mensal (2013–2022)	Incidência	Efeito de temperatura e precipitação sobre a doença	Não reportado pelos autores
Gomes et al., 2024 ⁽²⁴⁾	GAM + DLNM + metanálise	Série diária (2010–2019)	Casos notificados	Modelagem de efeitos climáticos defasados e não lineares	Heterogeneidade regional
Leandro et al., 2022 ⁽²⁵⁾	Prais–Winsten + análise espacial	Série anual (2012–2021)	Casos municipais	Tendência temporal associada a fatores sociais e ambientais	Uso de dados secundários
Li et al., 2022 ⁽²⁶⁾	LSTM com big data geoespacial	Série semanal (2007–2019)	Casos semanais	Previsão integrada com dados ambientais e históricos	Não reportado pelos autores
Li, 2022 ⁽²⁷⁾	LSTM com variáveis climáticas (Google Earth Engine)	Série semanal (2013–2020)	Casos de dengue	Sistema de previsão com deep learning e dados ambientais	Dependência de grande volume de dados
Lopes et al., 2024 ⁽²⁸⁾	Case time series + DLNM	Série diária (2010–2019)	Hospitalizações por dengue	Associação entre temperatura e gravidade clínica	Não reportado pelos autores
Martins et al., 2020 ⁽²⁹⁾	Joinpoint + análise espaço-temporal	Série anual (2001–2019)	Incidência	Identificação de mudanças de tendência e clusters	Não reportado pelos autores
McGough et al., 2021 ⁽⁷⁾	Ensemble learning + SVM + HMM	Série anual (2001–2017)	Anos epidêmicos	Previsão antecipada de anos de surto	Desempenho variável entre regiões
Monnaka & Oliveira, 2021 ⁽³⁰⁾	Correlação temporal (Google Trends)	Série semanal (2017–2019)	Casos de dengue	Uso de dados digitais como indicador precoce	Dependência de comportamento de busca
Oliveira et al., 2020 ⁽³¹⁾	Modelo VAR multivariado	Série semanal (2013, 2015 e 2016)	Casos confirmados/ descartados de arboviroses	Interdependência entre dengue, Zika e chikungunya	Qualidade da notificação
Pereira et al., 2025 ⁽³²⁾	Análise espaço-temporal	Série longitudinal (2007–2023)	Incidência	Expansão geográfica da dengue no Sul do Brasil	Não reportado pelos autores
Roster et al., 2024 ⁽⁴⁾	Interrupted Time Series + ML	Série semanal (Mar–Abr 2020)	Casos de dengue	Estimativa de subnotificação na pandemia	Sensível à qualidade dos dados
Santana et al., 2022 ⁽³³⁾	Modelo Bayesiano espaço-temporal (Poisson)	Série anual (2007–2017)	Óbitos por dengue	Dinâmica espacial da mortalidade	Não reportado pelos autores
Sebastianelli et al., 2024 ⁽³⁴⁾	Ensemble machine learning espaço-temporal	Série mensal (2001–2019)	Incidência	Sistema preditivo multimodal nacional	Desempenho reduzido em áreas de baixa incidência
Silva AAP et al., 2022 ⁽³⁵⁾	ARIMA + GLM + análise de clusters	Série anual (2001–2019)	Casos de dengue e vegetação	Relação entre desmatamento e incidência	Não reportado pelos autores
Silva TFG et al., 2025 ⁽³⁶⁾	Análise de tendência temporal	Série anual (2001–2022)	Incidência e letalidade	Evolução temporal nacional da doença	Dependência de dados secundários
Silva TR et al., 2022 ⁽³⁷⁾	Correlação de Spearman + análise espacial	Série anual (2009–2019)	Casos confirmados	Tendência nacional e distribuição espacial	Subnotificação potencial
Souza et al., 2024 ⁽³⁸⁾	Tendência temporal + análise espaço-temporal	Série semanal (2024)	Casos prováveis	Identificação de clusters durante grande surto recente	Recorte temporal curto
Xavier et al., 2021 ⁽³⁹⁾	ARMAX com variáveis climáticas	Série mensal (2007–2016)	Incidência	Integração de dados climáticos por sensoriamento remoto	Frequência mensal limitada para vigilância

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos estudos incluídos na revisão (2026).

DISCUSSÃO

A análise dos estudos incluídos nesta revisão demonstra que diferentes métodos de séries temporais têm sido mobilizados para responder a demandas distintas da vigilância epidemiológica da dengue, não havendo evidência de uma abordagem única capaz de atender a todos os contextos analíticos. Conforme sintetizado na Tabela 1, observa-se a coexistência de modelos descritivos de tendência, abordagens espaço-temporais e técnicas preditivas baseadas em *machine learning*, refletindo tanto a diversidade de objetivos analíticos quanto as limitações operacionais e institucionais do contexto brasileiro.

Embora os estudos revelem avanços metodológicos importantes, esse progresso ocorre de forma desigual. Métodos clássicos, como a regressão de Prais-Winsten e a regressão Joinpoint, permanecem amplamente utilizados em análises de tendência de longo prazo, enquanto modelos mais complexos — como redes neurais recorrentes (*LSTM*) e abordagens *ensemble* — concentram-se em estudos pontuais, frequentemente exploratórios, com baixa padronização metodológica e limitada comparabilidade entre si.

A persistente predominância do método de *Prais-Winsten* nos estudos de tendência temporal sugere que fatores operacionais exercem influência relevante sobre a escolha metodológica. Conforme observado na Tabela 1, esse modelo é especialmente frequente em análises baseadas em séries anuais ou de longa duração, nas quais a estimativa de tendências globais constitui o principal objetivo. Sua ampla difusão em *softwares* estatísticos tradicionais e a clareza interpretativa dos resultados contribuem para sua adoção recorrente, sobretudo no âmbito da vigilância epidemiológica de rotina. Segundo Antunes e Cardoso⁽⁵⁾, essas abordagens apresentam vantagens importantes para a análise de tendências temporais em dados epidemiológicos, sobretudo pela

simplicidade de aplicação e pela clareza interpretativa.

No conjunto de estudos analisados, tais características mostraram-se particularmente relevantes em investigações voltadas à vigilância de longo prazo e à avaliação de eventos externos, como mudanças nos padrões de notificação durante a pandemia de COVID-19, conforme discutido por Conceição et al.⁽¹⁷⁾. Ainda assim, os próprios estudos indicam que a aplicação exclusiva desses modelos pode ser insuficiente para capturar a complexidade espacial da transmissão da dengue.

Diante do exposto por Drumond et al.⁽²⁰⁾ e por Martins et al.⁽²⁹⁾, a incorporação da dimensão espacial representa um avanço metodológico relevante. Os modelos espaço-temporais permitem identificar padrões regionais persistentes e áreas de maior risco ao longo do tempo, evitando interpretações excessivamente agregadas que tendem a mascarar desigualdades territoriais. Essa abordagem mostrou-se particularmente pertinente no contexto brasileiro, marcado por expressiva heterogeneidade socioambiental e por dinâmicas regionais distintas de transmissão da dengue.

Outro aspecto que se destaca nos resultados é o crescimento recente do uso de modelos preditivos. Segundo De Lima e Laporta⁽¹⁹⁾, modelos autor-regressivos, como ARIMA e SARIMA, continuam sendo amplamente empregados para previsões de curto prazo, especialmente em cenários nos quais a interpretabilidade dos parâmetros é um requisito central. Em contrapartida, estudos mais recentes apontam que técnicas baseadas em *machine learning* apresentam maior capacidade de capturar padrões não lineares e integrar múltiplas fontes de dados⁽¹⁵⁾.

Conforme discutido por Li et al.⁽²⁶⁾ e McGough et al.⁽⁷⁾, redes neurais do tipo *LSTM* e modelos *ensemble* têm demonstrado desempenho preditivo superior, sobretudo quando variáveis climáticas e ambientais são incorpora-

das à modelagem. Enquanto modelos clássicos, como ARIMA e SARIMA, oferecem maior transparência e facilidade de implementação, os ganhos preditivos observados em modelos *LSTM* frequentemente vêm acompanhados de desafios operacionais ainda pouco discutidos nos estudos nacionais. A epidemia de 2024 expôs, de forma particularmente contundente, limites ainda pouco explorados nos modelos revisados, levantando a hipótese de que abordagens calibradas em períodos estáveis possam não capturar adequadamente eventos epidemiológicos extremos.

Embora modelos preditivos baseados em *machine learning* tenham apresentado desempenho superior em diversos estudos, conforme sintetizado na Tabela 1, sua aplicabilidade operacional na vigilância epidemiológica permanece limitada. A elevada complexidade computacional, a menor interpretabilidade dos resultados e a dependência de grandes volumes de dados constituem barreiras importantes à incorporação rotineira dessas abordagens, especialmente em contextos municipais do Sistema Único de Saúde, nos quais a infraestrutura analítica é heterogênea. Poucos estudos discutem de forma aprofundada como esses ganhos se traduzem em decisões operacionais no âmbito da vigilância em saúde.

Segundo McGough et al.⁽⁷⁾, a menor interpretabilidade dos resultados e a maior demanda computacional apresentam desafios importantes para a incorporação dessas abordagens na rotina da vigilância em saúde. Essa problemática se torna ainda mais evidente quando se considera o contexto do Sistema Único de Saúde, especialmente em nível municipal, onde a infraestrutura analítica e a disponibilidade de equipes técnicas especializadas são heterogêneas. Assim, a escolha dos modelos deve considerar não apenas o desempenho estatístico, mas também sua viabilidade operacional e utilidade prática para a tomada de decisão.

No que se refere à incorporação

de covariáveis ambientais, os estudos incluídos indicam que a integração de variáveis como temperatura e precipitação tende a ampliar a capacidade explicativa dos modelos temporais. Segundo Teixeira et al.⁽²⁾, a dengue deve ser compreendida como um fenômeno ecoepidemiológico, no qual fatores climáticos, ambientais e sociais interagem de forma complexa.

Estudos que incorporaram variáveis climáticas à modelagem temporal, como os de Xavier et al.⁽³⁹⁾, Geraldini et al.⁽²³⁾ e Gomes et al.⁽²⁴⁾, demonstraram que a inclusão desses fatores contribui para uma representação mais realista da dinâmica da dengue. Entretanto, esses trabalhos também evidenciaram desafios metodológicos relevantes, incluindo colinearidade entre variáveis ambientais e a definição adequada de defasagens temporais, aspectos que exigem atenção cuidadosa na especificação e interpretação dos modelos.

A análise de séries temporais no Brasil permanece fortemente condicionada às características operacionais do SINAN, cujos atrasos na digitação municipal e flutuações de cobertura limitam o desempenho de modelos preditivos sensíveis. Sobressalta, nesse contexto, a longevidade do uso de métodos como o *Prais-Winsten*, sugerindo que a facilidade operacional e a ampla difusão em *softwares* estatísticos tradicionais ainda ditam, em grande medida, o ritmo da produção científica nacional.

Segundo Santana et al.⁽³³⁾, a subnotificação de casos e o atraso na alimentação dos sistemas de informação permanecem como desafios estruturais da vigilância da dengue no Brasil. Essa constatação dialoga diretamente com os achados desta revisão, uma vez que tais limitações afetam tanto análises descritivas quanto modelos preditivos, comprometendo a confiabilidade das estimativas e das previsões. Conforme apontado pelo Ministério da Saúde⁽¹⁾, o fortalecimento dos sistemas de informação em saúde constitui condição indispensável para o aprimoramento

das análises epidemiológicas. A precisão matemática, contudo, esbarra na precariedade do dado primário.

Por fim, observa-se uma lacuna relevante na análise de desfechos relacionados à gravidade da dengue. Segundo Lopes et al.⁽²⁸⁾, indicadores como hospitalizações e letalidade ainda são pouco explorados em modelos temporais, apesar de sua importância para o planejamento dos serviços de saúde. Essa reflexão faz jus ao padrão identificado nos estudos incluídos nesta revisão, nos quais a incidência foi o indicador predominante. A ampliação do uso desses desfechos em análises futuras pode contribuir para uma compreensão mais abrangente dos impactos da dengue sobre o sistema de saúde.

Os achados desta revisão indicam que a escolha dos métodos de séries temporais deve considerar não apenas o desempenho estatístico dos modelos, mas também sua adequação à escala temporal analisada, à qualidade dos dados disponíveis e à capacidade operacional dos serviços de vigilância. A complementaridade entre abordagens descritivas, espaço-temporais e preditivas emerge como estratégia central para alinhar rigor metodológico e utilidade prática no contexto da vigilância epidemiológica da dengue no Brasil. A escolha metodológica deve considerar o objetivo da análise, a qualidade dos dados disponíveis, a escala espacial e temporal e a capacidade operacional dos serviços de saúde, de modo a alinhar rigor analítico e aplicabilidade prática no contexto brasileiro.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta revisão de escopo evidenciou que a análise de séries temporais é uma ferramenta central para a compreensão da dinâmica epidemiológica da dengue no Brasil. A produção científica recente revela avanço metodológico significativo, marcado pela ampliação do uso de modelos espaço-temporais e de abordagens preditivas, ao mesmo tempo em

que mantém a aplicação de métodos descritivos tradicionais amplamente consolidados no campo da vigilância epidemiológica.

As conclusões desta revisão indicam que nenhuma abordagem analítica, de forma isolada, é capaz de responder às múltiplas demandas impostas pela vigilância epidemiológica da dengue, especialmente em um contexto marcado por heterogeneidade territorial e limitações estruturais dos sistemas de informação. Modelos descritivos de tendência permanecem relevantes para o monitoramento de longo prazo e para a avaliação de eventos externos, enquanto abordagens espaço-temporais contribuem para a identificação de desigualdades territoriais e áreas prioritárias de intervenção. Por sua vez, modelos preditivos, incluindo técnicas baseadas em *machine learning*, ampliam a capacidade de antecipação de cenários, embora imponham desafios relacionados à interpretabilidade e à viabilidade operacional.

A discussão dos resultados também evidencia que o avanço metodológico não pode ser dissociado da qualidade dos dados epidemiológicos disponíveis. A subnotificação de casos, o atraso na notificação e inconsistências nos sistemas de informação permanecem como limitações estruturais que afetam tanto análises descritivas quanto preditivas. Nesse sentido, o aprimoramento dos sistemas de vigilância em saúde constitui condição indispensável para o uso efetivo de modelos analíticos mais robustos no contexto do Sistema Único de Saúde.

Outro aspecto relevante refere-se à predominância de estudos centrados na incidência da dengue, com exploração limitada de desfechos relacionados à gravidade da doença, como hospitalizações e letalidade. A incorporação sistemática desses indicadores em modelos temporais representa uma oportunidade importante para futuras pesquisas, especialmente no que diz respeito ao planejamento de recursos e à avaliação do impacto da dengue sobre os serviços

de saúde.

Diante do exposto, os resultados desta revisão reforçam a necessidade de escolhas metodológicas que considerem não apenas o desempenho estatístico dos modelos, mas também sua interpretabilidade, aplicabilidade prática e adequação às diferentes escalas da vigilância epidemiológica. A complementaridade entre abordagens descritivas, espaço-temporais e preditivas emerge como estratégia fundamental para ali-

nhar rigor analítico e utilidade operacional.

Ao mapear de forma sistemática os métodos de séries temporais empregados em estudos epidemiológicos sobre dengue no Brasil, este trabalho contribui para a consolidação do conhecimento metodológico no campo da saúde coletiva e para consolidar uma leitura metodológica integrada da produção nacional sobre dengue. Espera-se que os achados aqui apresentados subsi-

diem futuras investigações e orientem o uso crítico e contextualizado de métodos analíticos na vigilância e no controle da dengue, fortalecendo a capacidade de resposta dos serviços de saúde frente aos desafios impostos por essa arbovirose. O desafio futuro não se restringe ao refinamento dos modelos, mas à capacidade de traduzir inovação metodológica em respostas oportunas no âmbito da vigilância epidemiológica.

REFERÊNCIAS

1. Brasil. Ministério da Saúde. Boletim epidemiológico: dengue. Brasília (DF): Ministério da Saúde; 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-de-a-z/d/dengue>
2. Teixeira MG, et al. Epidemiological trends of dengue disease in Brazil (2000–2010). *PLoS Negl Trop Dis*. 2013;7(12):e2520. doi:10.1371/journal.pntd.0002520.
3. Brasil. Ministério da Saúde. Monitoramento das arboviroses. Brasília (DF): Ministério da Saúde; 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-de-a-a-z/a/aedes-aegypti/monitoramento-das-arboviroses>
4. Roster KO, et al. Impact of the COVID-19 pandemic on dengue in Brazil: interrupted time series analysis of changes in surveillance and transmission. *PLoS Negl Trop Dis*. 2024;18(12):e0012726. doi:10.1371/journal.pntd.0012726.
5. Antunes JLF, Cardoso MRA. Using time series analysis in epidemiological studies. *Epidemiol Serv Saude*. 2015;24(3):565–576. doi:10.5123/S1679-49742015000300024.
6. Box GEP, Jenkins GM, Reinsel GC. Time series analysis: forecasting and control. 5th ed. Hoboken: Wiley; 2015.
7. McGough SF, et al. A dynamic, ensemble learning approach to forecast dengue fever epidemic years in Brazil using weather and population susceptibility cycles. *J R Soc Interface*. 2021;18(179):20201006. doi:10.1098/rsif.2020.1006.
8. Peters DH, et al. Implementation research: what it is and how to do it. *Br J Sports Med*. 2014;48(8):731–736. doi:10.1136/bmj.f6753.
9. Tricco AC, et al. PRISMA extension for scoping reviews (PRISMA-ScR). *Ann Intern Med*. 2018;169(7):467–473. doi:10.7326/M18-0850.
10. Achcar JA, et al. Use of stochastic volatility models in epidemiological data: application to a dengue time series in São Paulo city, Brazil. *J Biostat Epidemiol*. 2020;6(1):19–29. doi:10.18502/jbe.v6i1.4755.
11. Alves MB, et al. ARBOALVO: a Bayesian spatiotemporal learning and predictive model for dengue cases in the endemic Northeast city of Natal, Rio Grande do Norte, Brazil. *PLoS Negl Trop Dis*. 2025;19(4):e0012984. doi:10.1371/journal.pntd.0012984.
12. Araújo JLB, et al. The impact of COVID-19 mobility restrictions on dengue transmission in urban areas. *PLoS Negl Trop Dis*. 2024;18(11):e0012644. doi:10.1371/journal.pntd.0012644.
13. Bomfim R, et al. Predicting dengue outbreaks at neighbourhood level using human mobility in urban areas. *J R Soc Interface*. 2020;17(171):20200691. doi:10.1098/rsif.2020.0691.
14. Castro LA, et al. Using heterogeneous data to identify signatures of dengue outbreaks at fine spatio-temporal scales across Brazil. *PLoS Negl Trop Dis*. 2021;15(5):e0009392. doi:10.1371/journal.pntd.0009392.
15. Chen X, Moraga P. Assessing dengue forecasting methods: a comparative study of statistical models and machine learning techniques in Rio de Janeiro, Brazil. *Trop Med Health*. 2025;53(1):52. doi:10.1186/s41182-025-00723-7.
16. Chen X, Moraga P. Forecasting dengue across Brazil with LSTM neural networks and SHAP-driven lagged climate and spatial effects. *BMC Public Health*. 2025;25(1):973. doi:10.1186/s12889-025-22106-7.
17. Conceição GM, et al. Effect of social isolation on dengue cases during the COVID-19 pandemic in São Pau-

lo State, Brazil. *Travel Med Infect Dis.* 2021;43:102149. doi:10.1016/j.tmaid.2021.102149.

18. Daudt-Lemos M, et al. Rising incidence and spatiotemporal dynamics of emerging and reemerging arboviruses in Brazil. *Viruses.* 2025;17(2):158. doi:10.3390/v17020158.

19. De Lima MVM, Laporta GZ. Evaluation of the models for forecasting dengue in Brazil from 2000 to 2017: an ecological time-series study. *Insects.* 2020;11(11):794. doi:10.3390/insects11110794.

20. Drumond B, et al. Dinâmica espaço-temporal da dengue no Distrito Federal, Brasil: ocorrência e permanência de epidemias. *Cien Saude Colet.* 2020;25(5):1641–1652. doi:10.1590/1413-81232020255.32952019.

21. Figueredo MB, et al. Analysis of the correlation between climatic variables and dengue cases in the city of Alagoinhas/BA. *Sci Rep.* 2023;13:7512. doi:10.1038/s41598-023-34349-8.

22. Freitas LP, et al. A statistical model for forecasting probabilistic epidemic bands for dengue cases in Brazil. *Infect Dis Model.* 2025;10(4):1479–1487. doi:10.1016/j.idm.2025.07.014.

23. Geraldini B, Johansen IC, Justus M. Influence of temperature and precipitation on dengue incidence in Campinas, São Paulo State, Brazil (2013–2022). *Rev Soc Bras Med Trop.* 2024;57:e00710-2024. doi:10.1590/0037-8682-0080-2024.

24. Gomes JPM, et al. Relação entre temperatura do ar e incidência de dengue: estudo de séries temporais em Minas Gerais, Brasil (2010–2019). *Cad Saude Publica.* 2024;40(3):e00076723. doi:10.1590/0102-311XPT076723.

25. Leandro GCW, et al. Análise temporal e espacial dos casos municipais de dengue no Paraná e indicadores sociais e ambientais, 2012 a 2021: estudo ecológico. *Rev Bras Epidemiol.* 2022;25:e220039. doi:10.1590/1980-549720220039.2.

26. Li Z, et al. Improving dengue forecasts by using geospatial big data analysis in Google Earth Engine and the historical dengue information-aided long short-term memory modeling. *Biology (Basel).* 2022;11(2):169. doi:10.3390/biology11020169.

27. Li Z. Forecasting weekly dengue cases by integrating Google Earth Engine-based risk predictor generation and Google Colab-based deep learning modeling in Fortaleza and the Federal District, Brazil. *Int J Environ Res Public Health.* 2022;19(20):13555. doi:10.3390/ijerph192013555.

28. Lopes R, et al. Ambient temperature and dengue hospitalization in Brazil: a 10-year period case time series analysis. *Environ Epidemiol.* 2024;9(1):e360. doi:10.1097/EE9.0000000000000360.

29. Martins ABS, et al. Dengue in Northeastern Brazil: spatial and temporal analysis. *Rev Soc Bras Med Trop.* 2020;53:e20200012. doi:10.1590/0037-8682-0435-2020.

30. Monnaka VU, Oliveira CAC. Correlação e sensibilidade do Google Trends para surtos de dengue e febre amarela no estado de São Paulo. *Einstein (Sao Paulo).* 2021;19:eAO5969. doi:10.31744/einstein_journal/2021AO5969.

31. Oliveira JF, et al. Interdependence between confirmed and discarded cases of dengue, chikungunya and Zika viruses in Brazil: a multivariate time-series analysis. *PLoS One.* 2020;15(2):e0228347. doi:10.1371/journal.pone.0228347.

32. Pereira SB, et al. Emergence and spatiotemporal incidence of dengue in Rio Grande do Sul, Brazil. *Sci Rep.* 2025;15(1):18933. doi:10.1038/s41598-025-02548-0.

33. Santana LMR, et al. Spatio-temporal dynamics of dengue-related deaths and associated factors. *Rev Inst Med Trop Sao Paulo.* 2022;64:e30. doi:10.1590/S1678-9946202264030.

34. Sebastianelli A, et al. A reproducible ensemble machine learning approach to forecast dengue outbreaks. *Sci Rep.* 2024;14:2575. doi:10.1038/s41598-024-52796-9.

35. Silva AAP, et al. Can the loss of vegetation drive the increase in dengue fever cases? *PLoS One.* 2022;17(1):e0262473. doi:10.1371/journal.pone.0262473.

36. Silva TFG, et al. Tendências na incidência e letalidade da dengue no Brasil, 2001–2022. *Epidemiol Serv Saude.* 2025;34:e20240424. doi:10.1590/s2237-96222025v34e20240424.pt.

37. Silva TR, et al. Tendência temporal e distribuição espacial da dengue no Brasil. *Cogitare Enferm.* 2022;27:e84000. doi:10.5380/ce.v27i0.84000.

38. Souza CDF, et al. Space-time dynamics of the dengue epidemic in Brazil, 2024. *BMC Infect Dis.* 2024;24(1):1056. doi:10.1186/s12879-024-09813-z.

39. Xavier LL, et al. Analysis of climate factors and dengue incidence in the metropolitan region of Rio de Janeiro. *PLoS One.* 2021;16(5):e0251403. doi:10.1371/journal.pone.0251403.