v7.n8.2026

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

INCIDÊNCIA DE DENGUE E VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL NOS MUNICÍPIOS DA PARAÍBA, BRASIL, 2023–2025: UMA ANÁLISE ESPACIAL

DENGUE INCIDENCE AND SOCIO-ENVIRONMENTAL VULNERABILITY IN MUNICIPALITIES OF PARAÍBA, BRAZIL, 2023–2025: A SPATIAL ANALYSIS

INCIDENCIA DEL DENGUE Y VULNERABILIDAD SOCIOAMBIENTAL EN MUNICIPIOS DE PARAÍBA, BRASIL, 2023–2025: UN ANÁLISIS ESPACIAL

Cristiane Souza de Araújo[1], Andrea Carla Lima Rodrigues[2], Dayse Luna Barbosa[3], Francisco Auriberto Ferreira Marques Júnior[4], Francisco César Martins de Oliveira[5]

e788667
https://doi.org/10.47820/recima21.v7i8.8667

PUBLICADO: 08/2026

RESUMO

Este estudo analisou a distribuição espacial da incidência de dengue e sua associação com indicadores de saneamento básico, condições socioeconômicas e características territoriais nos municípios da Paraíba, Brasil, entre 2023 e 2025. Foi realizado um estudo ecológico com análise espacial e modelagem por regressão linear múltipla. Foram ajustados o Modelo Autorregressivo Espacial (Spatial Autoregressive Model – SAR) e o Modelo de Erro Espacial (Spatial Error Model – SEM). O Índice Global de Moran indicou padrão espacial não aleatório da distribuição da doença (I = 0,128; p = 0,015). A análise local identificou agrupamentos Alto-Alto em Bernardino Batista e Poço Dantas, além de ocorrências isoladas em Juru e Baraúna, caracterizando áreas de elevada incidência. O Modelo 2 – SEM foi selecionado como modelo final, por apresentar menor Critério de Informação de Akaike entre os modelos avaliados (AIC = 3004,23) e parâmetro espacial significativo (λ = 0,295; p = 0,001), embora tenha permanecido autocorrelação espacial residual. O abastecimento domiciliar por poço apresentou associação positiva com a incidência de dengue (β = 3,12; p = 0,002), enquanto fossa rudimentar (β = −2,66; p < 0,001) e disposição de esgoto por vala (β = −6,98; p = 0,032) apresentaram associação negativa, interpretadas como marcadores de características territoriais. Carro-pipa e analfabetismo apresentaram apenas tendências de associação. Conclui-se que a incidência de dengue apresenta padrões espaciais associados às condições de saneamento, insegurança hídrica e desigualdades socioambientais, reforçando a necessidade de estratégias territorializadas de vigilância e controle.

PALAVRAS-CHAVE: Dengue. Análise espacial. Saneamento básico.

[1] Doutoranda em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Mestre em Engenharia Sanitária pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) e Graduada no Bacharelado em Ecologia (UFRN).
[2] Doutora em Recursos Naturais (UFCG), mestrado em Engenharia Civil e Ambiental (UFPB) e graduação em Engenharia Civil UFPB. Atualmente é professora Adjunta da Universidade Federal de Campina Grande(UFCG).
[3] Doutora em Recursos Naturais pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), mestrado em Recursos Hídricos (UFPB) e graduação em Engenharia Civil (UFPB). Professora associada da Universidade Federal de Campina Grande.
[4] Doutor em Engenharia Ambiental (UEPB) com Pós-Doutorado em Saneamento Ambiental (UFCG), Mestre em Engenharia Civil e Ambiental (UFCG) e Graduado em Engenharia Ambiental e Sanitária (IFCE). Professor substituto do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), Campus Maracanaú.
[5] Doutor em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais (UFCG), Mestre em Sistemas Agroindústrias UFCG, Bacharel em Direito (UFPB). Instrutor de curso no Comitê da Bacia Hidrográfica dos Rios Piancó-Piranhas-Açu (CBH-PPA/ADESE).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

ABSTRACT
This study analyzed the spatial distribution of dengue incidence and its association with indicators of basic sanitation, socioeconomic conditions and territorial characteristics in the municipalities of Paraíba, Brazil, between 2023 and 2025. An ecological study was carried out with spatial analysis and multiple linear regression modeling. The Spatial Autoregressive Model (SAR) and the Spatial Error Model (SEM) were adjusted. Moran's Global Index indicates a non-random spatial pattern of disease distribution (I = 0.128; p = 0.015). A local analysis identified High-High clusters in Bernardino Batista and Poço Dantas, along with isolated occurrences in Juru and Baraúna, characterizing areas of high incidence. Model 2 – SEM was selected as the final model, as it has the lowest Akaike Information Criterion among the evaluated models (AIC = 3004.23) and a significant spatial parameter (λ = 0.295; p = 0.001), although residual spatial autocorrelation has remained. The household supply by well has a positive association with the incidence of dengue (β = 3.12; p = 0.002), while rudimentary cesspit (β = −2.66; p < 0.001) and sewage disposal via open channel (β = −6.98; p = 0.032) showed negative association, interpreted as markers of territorial characteristics. Water tanker truck supply and illiteracy show only associational tendencies. It is concluded that the incidence of dengue presents spatial patterns associated with sanitation conditions, water insecurity and socio-environmental inequalities, reinforcing the need for territorialized surveillance and control strategies.

KEYWORDS: *Dengue. Spatial analysis. Basic sanitation*

RESUMEN
Este estudio analizó la distribución espacial de la incidencia del dengue y su asociación con indicadores de saneamiento básico, condiciones socioeconómicas y características territoriales de los municipios de Paraíba, Brasil, entre 2023 y 2025. Se realizó un estudio ecológico con análisis espacial y modelaje por regresión lineal múltiple. Se ajustaron el Modelo Autorregresivo Espacial (Spatial Autoregressive Model – SAR) y el Modelo de Error Espacial (Spatial Error Model – SEM). El Índice Global de Moran indica que un patrón espacial no aleatorio en la distribución de la enfermedad (I = 0,128; p = 0,015). El análisis local identificó agrupamientos Alto-Alto en Bernardino Batista y Poço Dantas, además de ocurrencias aisladas en Juru y Baraúna, caracterizando áreas de elevada incidencia. El Modelo 2 – SEM fue seleccionado como modelo final, por presentar el menor Criterio de Información de Akaike entre los modelos evaluados (AIC = 3004,23) y parámetro espacial significativo (λ = 0,295; p = 0,001), aunque persistió autocorrelación espacial residual. El abastecimiento domiciliario por pozo presentó una asociación positiva con la incidencia del dengue (β = 3,12; p = 0,002), mientras que la fosa rudimentaria (β = −2,66; p < 0,001) y la disposición de aguas residuales por canal abierto (β = −6,98; p = 0,032) presentaron asociación negativa, interpretadas como marcadores de características territoriales. El abastecimiento por camión cisterna y el analfabetismo presentaron solo tendencias de asociación. Se concluye que la incidencia de dengue presenta patrones espaciales asociados a condiciones de saneamiento, inseguridad hídrica y desigualdades socioambientales, reforzando la necesidad de estrategias territorializadas de vigilancia y control.

PALABRAS CLAVE*: Dengue. Análisis espacial. Saneamiento básico.*

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

INTRODUÇÃO

A vulnerabilidade socioambiental resulta da interação entre fatores sociais, ambientais e estruturais que ampliam a exposição das populações aos riscos e limitam sua capacidade de adaptação e resposta. Nessa perspectiva, os determinantes sociais da saúde, definidos como as condições em que as pessoas nascem, crescem, vivem, trabalham e envelhecem, bem como o acesso a recursos, poder e oportunidades, influenciam a distribuição das doenças e das desigualdades em saúde (WHO, 2025).

No caso das doenças transmitidas por vetores, como a dengue, esses determinantes incluem condições de moradia, acesso aos serviços de saúde, saneamento básico, escolaridade, renda, além de fatores climáticos e demográficos (Lima-Câmara, 2024; Sousa *et al.*, 2021; Almeida; Cota; Rodrigues, 2020). Entre esses aspectos, destacam-se as limitações relacionadas ao abastecimento de água e ao esgotamento sanitário, especialmente em regiões sujeitas à insegurança hídrica, compreendida como uma condição multidimensional associada não apenas à disponibilidade de água, mas também à acessibilidade, qualidade e confiabilidade do recurso (Young *et al*., 2019; Nahas *et al*., 2019).

No Brasil, apesar dos avanços normativos promovidos pela Política Nacional de Saneamento Básico (Lei nº 11.445/2007, atualizada pela Lei nº 14.026/2020), persistem importantes desigualdades no acesso aos serviços essenciais (Brasil, 2007; Brasil, 2020). Dados do Censo Demográfico de 2022 indicam que 17,1% da população brasileira ainda não possui acesso à água tratada e 37,5% permanecem sem atendimento adequado por rede de esgotamento sanitário (IBGE, 2024). Na Paraíba, esse cenário revela maior vulnerabilidade, uma vez que 24,96% da população não dispõe de abastecimento adequado de água e 52,81% permanecem sem acesso aos serviços de esgotamento sanitário (IBGE, 2024).

Essa situação torna-se ainda mais complexa em regiões semiáridas, onde as limitações estruturais são agravadas pelas características climáticas. No Semiárido brasileiro, a variabilidade climática e a irregularidade do abastecimento de água favorecem o uso de fontes alternativas, como poços e carros-pipa, refletindo limitações históricas da infraestrutura hídrica e vulnerabilidades territoriais (Melo *et al*., 2024; Azevêdo *et al*., 2017). Embora essas estratégias representem formas de adaptação à escassez hídrica, o armazenamento inadequado da água pode criar condições favoráveis à proliferação do *Aedes aegypti*, contribuindo para a manutenção da transmissão da dengue (Paraiba, 2025).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Além das limitações relacionadas ao abastecimento de água, outros componentes do saneamento também podem influenciar a proliferação do *Aedes aegypti*. Estruturas associadas ao saneamento inadequado, como fossas rudimentares, canais ou valas com possibilidade de acúmulo de água, podem atuar como potenciais criadouros quando apresentam condições ambientais favoráveis ao desenvolvimento do vetor (Illa; Murúa; Aballay, 2024; Gil *et al*., 2015). Nesse sentido, Araújo *et al.* (2020) evidenciaram a associação entre a ocorrência da dengue e indicadores de desigualdade social no Nordeste brasileiro, demonstrando que municípios com piores condições de renda, escolaridade e saneamento apresentam maior vulnerabilidade à ocorrência da doença.

A distribuição desigual dessas condições no território pode contribuir para a formação de diferentes padrões espaciais de ocorrência da dengue. Esses padrões refletem a influência conjunta de fatores ambientais, climáticos, socioeconômicos e relacionados à infraestrutura urbana, que tendem a ser compartilhados entre municípios vizinhos. Nesse contexto, a transmissão da dengue apresenta importante componente espacial, caracterizado pela dependência ou autocorrelação espacial, fenômeno em que unidades geográficas próximas podem apresentar valores semelhantes de incidência em decorrência de características territoriais comuns, da circulação do vetor e da mobilidade populacional (Moreira *et al*., 2022; Lippi *et al*., 2020; Arouca; Strauch; Francisco, 2020).

Na Paraíba, estudos anteriores identificaram distribuição espacial heterogênea da dengue e associação da incidência com indicadores de saneamento e fatores socioeconômicos (Silva *et al*., 2020; Mariano Neto; Gonçalves, 2024). Entretanto, permanecem limitadas as investigações que analisam, de forma integrada, esses fatores em escala estadual. O preenchimento dessa lacuna pode contribuir para ampliar a compreensão da distribuição espacial da dengue e subsidiar estratégias mais direcionadas de vigilância e controle.

Diante desse cenário, partiu-se da hipótese de que municípios com maior dependência de formas alternativas de abastecimento de água, condições menos adequadas de disposição de esgoto e indicadores socioeconômicos menos favoráveis apresentariam maior incidência de dengue e maior dependência espacial. Assim, este estudo teve como objetivo analisar a distribuição espacial da incidência de dengue e sua associação com indicadores de saneamento, condições socioeconômicas, demográficas e climáticas nos municípios da Paraíba, com vistas a identificar áreas prioritárias para subsidiar ações de vigilância e promoção da saúde.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

METODOLOGIA

Área de estudo

A área de estudo corresponde ao estado da Paraíba, situado na Região Nordeste do Brasil. Com uma extensão territorial de 56.467,2 km², o estado é composto por 223 municípios e possui uma população estimada em 3.974.687 habitantes, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2026). A densidade demográfica média é de 70,39 habitantes por km², e a área urbanizada totaliza aproximadamente 680,3 km² (IBGE, 2026). O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) do estado é de 0,698, classificando-o em nível de desenvolvimento humano médio (IBGE, 2026).

Delineamento do estudo e fontes de dados

Trata-se de um estudo ecológico, observacional, analítico e retrospectivo, baseado em dados secundários, que avaliou a distribuição espacial da incidência de dengue e sua associação com indicadores sanitários, socioeconômicos, demográficos e ambientais nos municípios do estado da Paraíba, Brasil.

A unidade de análise foi constituída pelos 223 municípios paraibanos. Para fins de caracterização territorial e comparação dos resultados, os municípios foram agrupados nas microrregiões de água e esgoto definidas pelo estado da Paraíba: Alto Piranhas, Borborema, Espinharas e Litoral (Paraíba, 2021). A utilização dessas microrregiões considerou a organização regionalizada dos serviços de saneamento básico no estado, permitindo contextualizar os resultados segundo diferentes padrões territoriais de infraestrutura e gestão desses serviços, segundo a Política Nacional de Saneamento Básico (BRASIL, 2007).

Foram considerados os casos prováveis de dengue registrados no Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN), conforme a definição adotada pelo Ministério da Saúde. Os dados, disponibilizados pelo Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS), foram extraídos em 10 de maio de 2026 e incluíram registros com data de início dos sintomas entre janeiro de 2023 e dezembro de 2025, considerando o ano de 2025 como período completo de notificação.

Os dados foram utilizados após os procedimentos rotineiros de processamento, qualificação e encerramento dos registros realizados pelo SINAN/DATASUS. Considerando que

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

a base disponibilizada corresponde aos registros consolidados pelo Ministério da Saúde, não foram aplicados procedimentos adicionais de identificação e exclusão de duplicidades.

Foram excluídos os registros de indivíduos residentes em outras unidades da Federação, sendo considerados apenas os casos de residentes nos municípios da Paraíba, de modo a estimar a incidência segundo o local de residência e evitar a inclusão de casos não pertencentes ao território analisado.

Para a análise da distribuição espacial da incidência de dengue, utilizou-se como variável dependente a taxa média de incidência de casos prováveis por 100.000 habitantes no período de 2023 a 2025 (Quadro 1).

A taxa anual de incidência foi calculada para cada município pela razão entre o número de casos prováveis de dengue e a população residente estimada para o respectivo ano, multiplicada por 100.000 habitantes, segundo a fórmula (1). Posteriormente, foi calculada a média aritmética das três taxas anuais de incidência, referente aos anos de 2023, 2024 e 2025, conforme a fórmula (2).

$$\text{Taxa anual de incidência (TI)} = \frac{\text{Casos prováveis de dengue}}{\text{População residente estimada}} \times 100.000 \quad (1)$$

$$\text{Taxa média de incidência} = \frac{(\text{TI } 2023) + (\text{TI } 2024\ ) + (\text{TI } 2025)}{3} \quad (2)$$

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Quadro 1. Descrição das variáveis dependente e independentes utilizadas na análise da incidência de dengue e seus fatores associados nos municípios da Paraíba, Brasil, 2023–2025

Variável	Unidade de medida	Fonte
Incidência média de dengue (2023–2025)	Casos por 100 mil habitantes	BRASIL, 2026
População total do município	Número de habitantes	IBGE, 2024
Domicílios abastecidos por poço	%	IBGE, 2024
Domicílios abastecidos por carro-pipa	%	IBGE, 2024
Domicílios com fossa rudimentar para disposição do esgoto doméstico	%	IBGE, 2024
Domicílios com vala para disposição do esgoto doméstico	%	IBGE, 2024
Taxa de analfabetismo da população de 15 anos ou mais (2022)	%	ICS, 2024
Pluviometria média (2023–2025)	mm/ano	AESA, 2026
Densidade demográfica (2022)	habitantes/km²	IBGE, 2026

Nota: Domicílios = domicílios particulares permanentes ocupados, segundo o Censo Demográfico 2022 (IBGE, 2024).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

As estimativas populacionais municipais utilizadas como denominador foram obtidas por interpolação geométrica entre os Censos Demográficos de 2010 e 2022, considerando a taxa média anual de crescimento populacional para estimar a população residente dos anos analisados. Optou-se pela projeção intercensitária para manter uma metodologia homogênea entre todos os municípios analisados e evitar diferenças decorrentes de revisões anuais das estimativas populacionais oficiais, utilizando-se uma série temporal derivada diretamente dos dois últimos recenseamentos populacionais disponíveis.

A taxa geométrica anual de crescimento populacional foi calculada pela expressão (3), sendo posteriormente aplicada para estimar a população de cada ano do período analisado pela fórmula (4).

$$r = \left(\frac{População\ 2022}{População\ 2010} \right)^{1/12} - 1 \quad (3)$$

Onde: r = taxa geométrica anual de crescimento populacional; População 2022 = população municipal registrada no Censo Demográfico de 2022; População 2010 = população municipal registrada no Censo Demográfico de 2010 e 12 = intervalo de anos entre os dois censos (2010–2022).

$$Pt = População\ 2010\ (1+r)t \quad (4)$$

Onde: Pt = população estimada no ano t; População 2010 = população do Censo Demográfico de 2010; r = taxa geométrica anual de crescimento populacional e t = número de anos transcorridos desde 2010.

As variáveis independentes foram selecionadas com base na literatura científica e na disponibilidade de dados para os municípios da Paraíba (Quadro 1). Foram incluídos indicadores relacionados ao abastecimento de água, disposição de esgoto, taxa de analfabetismo, características demográficas e condições climáticas, por representarem fatores contextuais associados à distribuição da dengue.

As informações demográficas, territoriais, urbanísticas e relacionadas às características domiciliares de saneamento foram obtidas a partir das bases oficiais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Foram utilizados dados provenientes do Censo Demográfico 2022

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

(IBGE, 2024) e do Portal Cidades (IBGE, 2025), considerando informações municipais disponíveis para o estado da Paraíba. Segundo o IBGE (2024), a fossa rudimentar consiste em um buraco no solo destinado à infiltração do esgoto, enquanto a vala corresponde a um canal aberto para o escoamento dos efluentes.

O indicador de analfabetismo da população com 15 anos ou mais foi obtido a partir do Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades – Brasil (IDSC-BR), disponibilizado pelo Instituto Cidades Sustentáveis (ICS), que sistematiza indicadores municipais alinhados aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

Os dados de precipitação pluviométrica média anual referentes ao período de 2023 a 2025 foram obtidos junto à Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA), por meio do sistema oficial de monitoramento pluviométrico estadual. Para representar a condição climática do período analisado, foi calculada a média aritmética da precipitação anual dos anos de 2023, 2024 e 2025.

Tratamento e análise dos dados

Inicialmente, os bancos de dados foram integrados por meio do código oficial dos municípios do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), sendo realizadas etapas de verificação de consistência, padronização, tratamento de valores ausentes e validação das informações. As variáveis foram organizadas em uma base única contendo indicadores de incidência de dengue, saneamento básico, condições socioeconômicas, demográficas e ambientais dos 223 municípios da Paraíba.

Para caracterização da ocorrência da dengue, foi usada a taxa média de incidência da doença por 100 mil habitantes no período de 2023 a 2025 como variável dependente. Inicialmente, realizou-se análise exploratória dos dados por meio de estatísticas descritivas, incluindo média e desvio-padrão.

A dependência espacial da incidência de dengue foi investigada por meio da Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE). Inicialmente, calculou-se o Índice Global de Moran, utilizando matriz de pesos espaciais baseada na contiguidade do tipo queen de primeira ordem, para verificar a existência de autocorrelação espacial entre os municípios. A significância estatística foi avaliada por testes de permutação.

Posteriormente, foram calculados os Indicadores Locais de Associação Espacial (Local Indicators of Spatial Association – LISA), permitindo identificar agrupamentos espaciais e

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

classificar os municípios em quatro padrões: Alto-Alto (AA), Baixo-Baixo (BB), Alto-Baixo (AB) e Baixo-Alto (BA). Os agrupamentos Alto-Alto (AA) representaram municípios com elevada incidência de dengue circundados por municípios com taxas igualmente elevadas, indicando áreas prioritárias para ações de vigilância e controle da doença. Os agrupamentos Baixo-Baixo (BB) corresponderam a municípios com baixa incidência cercados por municípios com comportamento semelhante, caracterizando áreas de menor ocorrência relativa da doença no período analisado. Os padrões Alto-Baixo (AB) e Baixo-Alto (BA) foram interpretados como áreas de transição espacial, nas quais municípios com valores distintos de incidência estavam cercados por localidades com comportamento diferente. Além daqueles sem associação espacial estatisticamente significativa ($p \geq 0,05$)

Para investigar a associação entre a incidência de dengue e os indicadores socioeconômicos, sanitários e ambientais, foi inicialmente ajustado um modelo de regressão linear múltipla pelo método dos mínimos quadrados ordinários (MQO). Foram avaliados os pressupostos do modelo, incluindo multicolinearidade entre as variáveis independentes (Número de Condição), normalidade dos resíduos (teste de Jarque-Bera), heterocedasticidade (testes de Breusch-Pagan) e autocorrelação espacial dos resíduos (Índice de Moran).

Foram ajustados o Modelo Autorregressivo Espacial (Spatial Autoregressive Model – SAR) e o Modelo de Erro Espacial (Spatial Error Model – SEM). A seleção do modelo mais adequado baseou-se na significância dos parâmetros espaciais e na comparação dos indicadores de ajuste, incluindo a log-verossimilhança, o Critério de Informação de Akaike (AIC) e o teste da Razão de Verossimilhança (Likelihood Ratio – LR). O coeficiente de determinação (R^2) foi utilizado como medida complementar da capacidade explicativa dos modelos.

Após a modelagem inicial, realizou-se o refinamento dos modelos, mantendo-se as variáveis com significância estatística ($p < 0,05$) e aquelas com associação limítrofe ($0,05 \leq p < 0,10$), desde que apresentassem plausibilidade epidemiológica e contribuíssem para o ajuste do Modelo 2.

O modelo espacial final foi definido considerando o melhor desempenho global, a significância do parâmetro espacial e os critérios de ajuste. Os coeficientes estimados pelo modelo selecionado foram interpretados quanto à magnitude, direção da associação e significância estatística. Adotou-se nível de significância de 5% ($p < 0,05$), considerando-se associações marginais quando $p < 0,10$, desde que sustentadas por plausibilidade epidemiológica.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

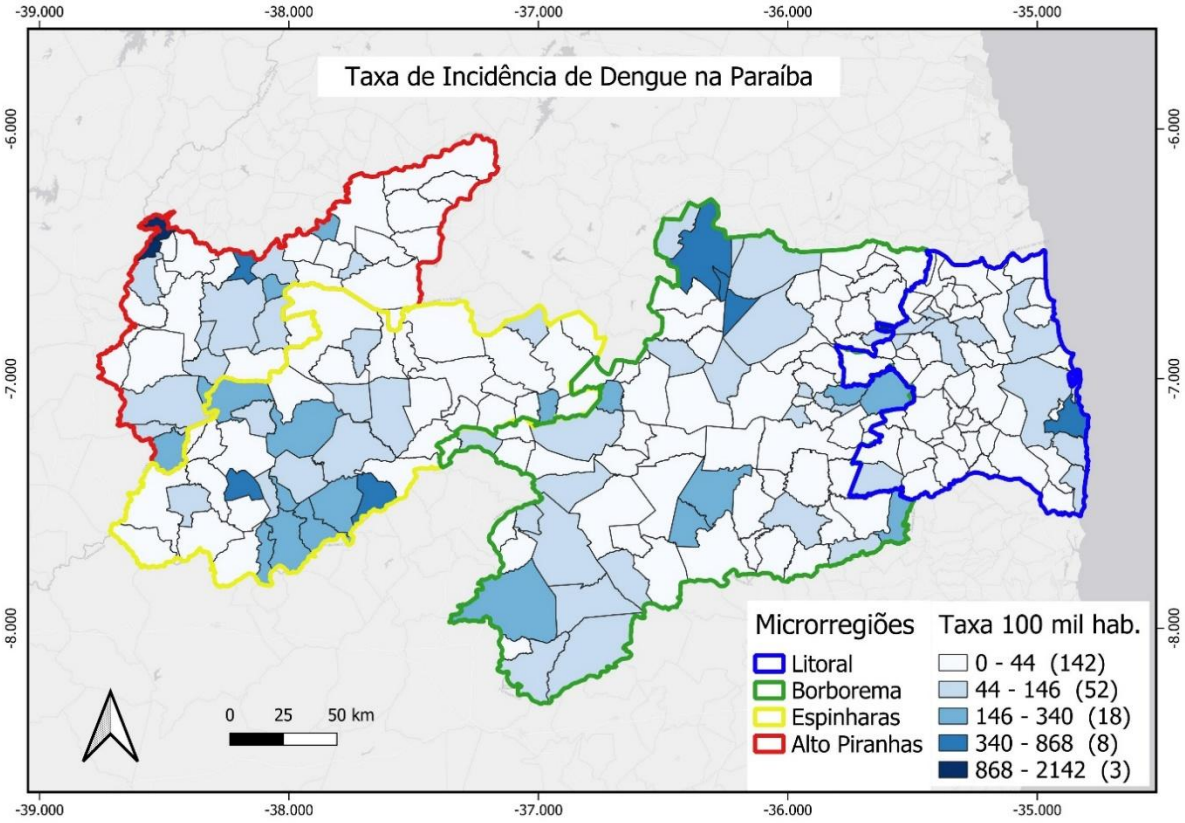
As análises estatísticas e geoespaciais foram realizadas nos softwares Jamovi (versão 2.6.26), QGIS (versão 3.40.1) e GeoDa (versão 1.22).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

a. Distribuição espacial da incidência de dengue

No período de 2023 a 2025, a incidência média de dengue nos municípios da Paraíba foi de 83,95 casos por 100 mil habitantes, com elevado desvio-padrão (213,30), indicando ampla variabilidade entre os municípios analisados (Figura 1).

Figura 1. Distribuição espacial da taxa média de incidência de dengue nos municípios da Paraíba, no período de 2023 a 2025



Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Os maiores valores da taxa de incidência média foram observados nos municípios de Poço Dantas (2.142,32 casos por 100 mil habitantes), Borborema (1.668,52), Bernardino Batista (875,06), Baraúna (733,13), Boa Ventura (623,29) e Água Branca (601,24). Esses municípios apresentaram valores extremos em relação ao conjunto analisado, evidenciando a concentração espacial de maiores taxas de incidência em determinadas áreas do território paraibano.

b. Autocorrelação espacial da incidência de dengue

A análise exploratória de dados espaciais evidenciou a existência de autocorrelação espacial positiva de baixa magnitude da incidência média de dengue nos municípios da Paraíba no período de 2023 a 2025. O Índice Global de Moran apresentou valor de I = 0,128, com pseudo-p = 0,015, obtido a partir de 999 permutações aleatórias, indicando significância estatística ao nível de 5%.

Esse resultado demonstra que a distribuição da dengue não ocorreu de forma aleatória no território paraibano, havendo tendência de agrupamento espacial entre municípios vizinhos. Assim, a presença de dependência espacial justifica a utilização de modelos de regressão espacial para investigar os fatores associados à incidência da dengue, uma vez que a violação do pressuposto de independência das observações pode comprometer as estimativas obtidas pelos modelos de regressão convencionais.

c. Análise local de autocorrelação espacial (LISA)

A análise local de autocorrelação espacial (LISA) permitiu identificar agrupamentos espaciais estatisticamente significativos da incidência de dengue nos municípios paraibanos. Foram observados clusters do tipo Alto-Alto, caracterizados por municípios com elevadas taxas de incidência de dengue circundados por municípios vizinhos que também apresentaram valores elevados da doença, indicando áreas de concentração espacial da incidência.

Foi identificado um agrupamento Alto-Alto formado pelos municípios de Bernardino Batista e Poço Dantas, na microrregião de água e esgoto de Alto Piranhas. Além disso, os municípios de Juru, na microrregião de Espinharas, e Baraúna, na microrregião de Borborema, foram classificados como Alto-Alto, indicando que apresentaram elevadas taxas de incidência de dengue e associação espacial com municípios vizinhos que também apresentaram altas taxas da doença (Figura 2).

Todos esses municípios estão inseridos no Semiárido brasileiro, região caracterizada por elevada variabilidade pluviométrica, recorrência de eventos de escassez hídrica e maior

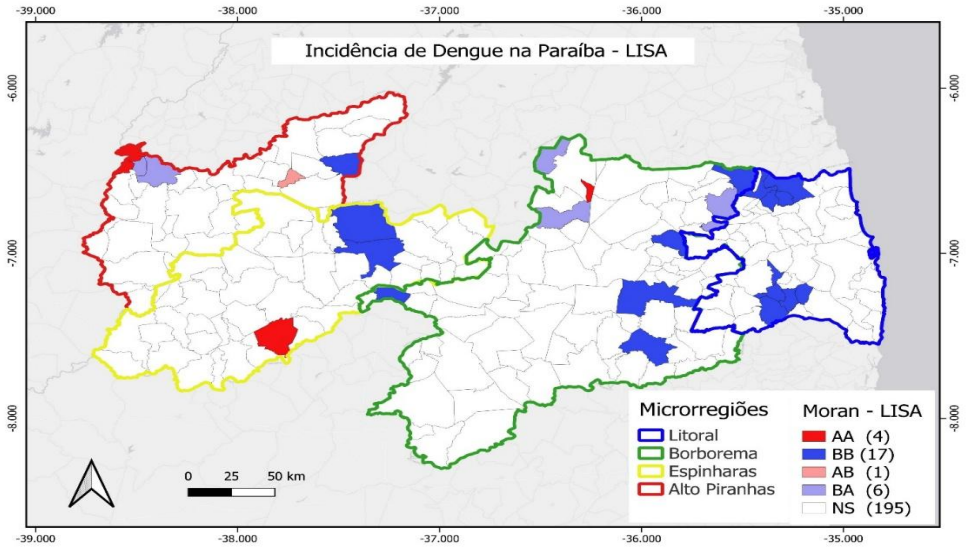
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

dependência de estratégias de armazenamento domiciliar de água, condições que podem estar associadas à formação de criadouros do Aedes aegypti quando o manejo da água ocorre de forma inadequada (IBGE, 2025).

Esses resultados identificam áreas de concentração espacial da incidência de dengue e indicam territórios prioritários para o fortalecimento da vigilância epidemiológica, do controle vetorial e de ações intersetoriais voltadas à melhoria das condições de saneamento básico. A identificação desses agrupamentos sugere que fatores ambientais, climáticos e socioeconômicos compartilhados entre municípios vizinhos podem estar relacionados à distribuição espacial da doença, embora a análise ecológica não permita estabelecer relações causais.

A análise dos indicadores municipais evidencia que esses territórios apresentam condições estruturais semelhantes, especialmente relacionadas à vulnerabilidade hídrica, ao saneamento básico e às desigualdades sociais. Observa-se maior dependência de formas alternativas de abastecimento de água, como poços e carro-pipa, associada à menor cobertura de redes convencionais de abastecimento, condições que podem favorecer práticas de armazenamento domiciliar de água e ampliar oportunidades para a formação de criadouros do Aedes aegypti.

Figura 2. Mapa de autocorrelação espacial local (LISA) da taxa média de incidência de dengue nos municípios da Paraíba, no período de 2023 a 2025



Nota: AA = Alto–Alto; BB = Baixo–Baixo; AB = Alto–Baixo; BA = Baixo–Alto; NS = sem associação espacial estatisticamente significativa (p ≥ 0,05).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Em Poço Dantas, destacam-se as elevadas proporções de domicílios abastecidos por poços (59,81%) e por carro-pipa (17,64%), enquanto Bernardino Batista não apresenta cobertura de esgotamento sanitário por rede geral. Além disso, esses municípios apresentam elevados percentuais de analfabetismo, variando de 22,99% em Baraúna a 29,48% em Poço Dantas, indicando contextos de maior vulnerabilidade socioambiental.

Esses resultados estão em consonância com Silva *et al*. (2020), que identificaram elevadas taxas de incidência de dengue no Sertão paraibano; Oliveira *et al*. (2022), que destacaram a ocorrência de quadros epidêmicos nas mesorregiões do Sertão e da Borborema; e Mariano Neto e Gonçalves (2024), que observaram maior ocorrência da doença em direção ao interior do estado da Paraíba.

d. Modelagem espacial da incidência de dengue

A modelagem espacial da incidência de dengue foi realizada considerando a existência de autocorrelação espacial significativa entre os municípios (Índice Global de Moran = 0,128; pseudo-p = 0,015), indicando que municípios próximos apresentaram padrões semelhantes de incidência.

Modelo 1

A associação entre a incidência média de dengue e as variáveis independentes selecionadas foi inicialmente avaliada por regressão linear múltipla pelo método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO). O modelo apresentou significância global ($F = 4,09$; $p < 0,001$) e explicou 11,7% da variabilidade da incidência municipal de dengue ($R^2 = 0,117$; R^2 ajustado = 0,089). Embora não tenha sido identificada multicolinearidade relevante (Número de Condição = 17,18), foram identificadas violações dos pressupostos da regressão linear clássica, caracterizadas pela ausência de normalidade dos resíduos e presença de heterocedasticidade (teste de Breusch-Pagan; $p < 0,001$).

Em resposta à autocorrelação espacial observada nos resíduos do modelo MQO, foram ajustados os modelos espaciais SAR e SEM, visando incorporar explicitamente a dependência espacial e avaliar se a inclusão dos componentes espaciais proporcionava melhor representação da distribuição da incidência de dengue. Ambos apresentaram melhor ajuste em relação ao MQO, evidenciado por maiores valores de log-verossimilhança e menores valores do Critério de Informação de Akaike (AIC). A seleção do modelo final considerou os critérios de ajuste global

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

(AIC, log-verossimilhança e teste LR), a significância dos parâmetros espaciais e a adequação do modelo à estrutura espacial dos dados.

Os parâmetros espaciais foram estatisticamente significativos no modelo SAR (ρ = 0,273; p = 0,00196) e no modelo SEM (λ = 0,280; p = 0,00236), indicando associação espacial entre os valores de incidência de dengue observados em municípios vizinhos e sugerindo que a incorporação dos componentes espaciais contribuiu para representar parte da estrutura espacial dos dados.

No modelo SAR, o coeficiente positivo do parâmetro ρ indica associação espacial entre os valores de incidência observados em municípios vizinhos, sendo compatível com um padrão de dependência espacial. Entretanto, esse resultado não permite inferir mecanismos de transmissão intermunicipal da doença.

No modelo SEM, o parâmetro λ representa a dependência espacial associada ao termo de erro, sugerindo que fatores não observados ou variáveis não incluídas no modelo apresentam correlação espacial entre os municípios vizinhos. Apesar da melhoria observada no ajuste do modelo, o teste de Moran aplicado aos resíduos do modelo SEM permaneceu estatisticamente significativo (Moran's I = 0,1058; p = 0,00266), indicando persistência de autocorrelação espacial residual e sugerindo que parte da estrutura espacial da incidência de dengue não foi capturada pelas variáveis incluídas no modelo.

A comparação das medidas de ajuste dos modelos está apresentada na Tabela 1 e os coeficientes estimados (β) e os respectivos valores de p das variáveis explicativas nos modelos MQO, SAR e SEM são apresentados na Tabela 2.

Tabela 1. Comparação dos modelos de regressão clássica e espacial para a incidência média de dengue nos municípios da Paraíba, 2023–2025

Indicador	MQO	SAR	SEM
R^2	0,117	0,158	0,158
Log-verossimilhança	-1498,37	-1494,79	**-1494,95**
AIC	3012,75	3007,57	**3005,89**
Parâmetro espacial	—	ρ = 0,273 (p = 0,00196)	λ = 0,280 (p =0,00236)
LR	—	7,17 (p = 0,0074)	6,85 (p = 0,0089)

Nota: R^2 = coeficiente de determinação; AIC = Critério de Informação de Akaike; ρ = coeficiente de defasagem espacial; λ = coeficiente de erro espacial; LR = teste da razão de verossimilhança.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

O modelo SEM apresentou o melhor desempenho relativo entre os modelos avaliados, considerando conjuntamente o menor valor de AIC, a elevada log-verossimilhança, a significância do parâmetro espacial e a parcimônia do modelo. Esses resultados indicam que a incorporação da dependência espacial proporcionou melhor ajuste em relação ao modelo MQO. Entretanto, a permanência de autocorrelação espacial residual significativa evidencia que parte da variabilidade espacial da incidência de dengue permaneceu não explicada pelas variáveis incluídas, indicando a possível influência de fatores adicionais não contemplados nesta análise.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Tabela 2. Coeficientes estimados dos modelos MQO, SAR e SEM para a taxa média de incidência de dengue (Modelo 1), Paraíba, Brasil, 2023–2025 (n = 223)

Variável	MQO β (p-valor)	SAR β (p-valor)	SEM β (p-valor)
Constante	-22,837 (0,773)	-47,50 (0,533)	-29,72 (0,736)
Domicílios abastecidos por poço (%)	**3,396** (<0,001)	**3,154** (0,001)	**3,198** (0,001)
Domicílios abastecidos por carro-pipa (%)	**1,999** (0,029)	**1,876** (0,031)	**1,891** (0,047)
Domicílios com fossa rudimentar (%)	**−2,770** (<0,001)	**−2,594** (<0,001)	**−2,708** (<0,001)
Domicílios com vala para esgoto (%)	*−6,329* (0,053)	*−5,997* (0,055)	**−6,669** (0,042)
Taxa de analfabetismo (%)	**6,594** (0,046)	**6,613** (0,036)	**7,253** (0,040)
Densidade demográfica	0,065 (0,151)	0,056 (0,195)	0,063 (0,195)
Precipitação média	0,019 (0,729)	0,020 (0,702)	0,017 (0,783)
ρ (SAR)	—	**0,273** (0,002)	—
λ (SEM)	—	—	**0,280** (0,002)

Nota**:** Valores em negrito indicam associação estatisticamente significativa (p < 0,05); valores em *itálico* indicam associação marginal (0,05 ≤ p < 0,10), considerada na interpretação quando sustentada por plausibilidade epidemiológica. β = coeficiente de regressão; ρ = parâmetro espacial do Modelo Autorregressivo Espacial (*Spatial Autoregressive Model* – SAR); λ = parâmetro espacial do Modelo de Erro Espacial (*Spatial Error Model* – SEM

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Modelo 2

Para a análise do Modelo 2, a variável referente à disposição do esgoto por vala foi mantida por apresentar associação marginal nos modelos iniciais e permanecer estatisticamente significativa no Modelo 1 – SEM, além de demonstrar consistência entre os modelos avaliados. Essa variável representa uma condição inadequada de saneamento associada a contextos de vulnerabilidade socioambiental e, portanto, não deve ser interpretada como evidência de efeito protetor dessa modalidade de esgotamento sanitário nem como indicativo de redução direta da incidência de dengue.

Por se tratar de um estudo ecológico, as associações identificadas no nível municipal devem ser interpretadas com cautela, pois podem refletir características coletivas dos territórios e não necessariamente relações individuais entre exposição e ocorrência da doença, como ilustrado pelas associações observadas para as variáveis vala e fossa rudimentar.

O Modelo 2 foi inicialmente ajustado por regressão linear múltipla pelo método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), apresentando significância global ($F = 5,05$; $p < 0,001$) e explicando 10,4% da variabilidade da incidência municipal de dengue ($R^2 = 0,104$; R^2 ajustado = 0,083). Embora não tenha sido identificada multicolinearidade relevante entre as variáveis independentes (Número de Condição = 14,08), foram observadas violações dos pressupostos da regressão linear clássica, com ausência de normalidade dos resíduos ($p < 0,001$) e presença de heterocedasticidade ($p < 0,001$).

Os modelos SAR e SEM apresentaram melhores indicadores de ajuste em comparação ao MQO, com aumento da capacidade explicativa, redução dos valores de AIC e significância dos parâmetros espaciais (Tabela 3 e Tabela 4). Porém, o teste de Moran aplicado aos resíduos permaneceu estatisticamente significativo (Moran's I = 0,1146; p = 0,00214).

Tabela 3. Comparação do desempenho dos modelos MQO, SAR e SEM para a taxa média de incidência de dengue (Modelo 2), Paraíba, Brasil, 2023–2025 (n = 223)

Indicador	MQO	SAR	SEM
R^2	0,104	0,149	0,150
Log-verossimilhança	-1500,04	-1496,16	-1496,12
AIC	3012,07	3006,32	3004,23
Parâmetro espacial	—	ρ = 0,284 (p = 0,001)	λ = 0,295 (p = 0,001)
Teste LR	—	7,76 (p = 0,005)	7,84 (p = 0,005)

Nota: ρ = coeficiente espacial autoregressivo; λ = coeficiente espacial do erro; LR = teste da razão de verossimilhança.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Tabela 4. Coeficientes estimados dos modelos MQO, SAR e SEM para a taxa média de incidência de dengue (Modelo 2), Paraíba, Brasil, 2023–2025

Variável	MQO β (p-valor)	SAR β (p-valor)	SEM β (p-valor)
Constante	40,666 (0,527)	9,515 (0,878)	24,772 (0,729)
Domicílios abastecidos por poço (%)	**3,266 (0,001)**	**3,035 (0,002)**	**3,120 (0,002)**
Domicílios abastecidos por carro-pipa (%)	**1,660 (0,041)**	**1,547 (0,046)**	*1,663 (0,058)*
Domicílios com fossa rudimentar (%)	**-2,631 (<0,001)**	**-2,454 (<0,001)**	**-2,656 (<0,001)**
Domicílios com vala para esgoto (%)	**-6,730 (0,037)**	**-6,370 (0,040)**	**-6,983 (0,032)**
Taxa de analfabetismo (%)	4,877 (0,119)	*5,128 (0,088)*	*5,936 (0,084)*
ρ (SAR)	—	**0,284 (0,001)**	—
λ (SEM)	—	—	**0,295 (0,001)**

Nota**:** Valores em negrito indicam associação estatisticamente significativa (p < 0,05); valores em *itálico* indicam associação marginal (0,05 ≤ p < 0,10), considerada na interpretação quando sustentada por plausibilidade epidemiológica. β = coeficiente de regressão; ρ = parâmetro espacial do Modelo Autorregressivo Espacial (*Spatial Autoregressive Model* – SAR); λ = parâmetro espacial do Modelo de Erro Espacial (*Spatial Error Mod*el – SEM).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Seleção do modelo espacial final

Para a seleção do modelo final, foram comparados os dois modelos de erro espacial (Modelo 1 – SEM e Modelo 2 – SEM). O Modelo 2 – SEM foi selecionado como modelo final por apresentar maior parcimônia e menor AIC (3004,23). Embora o Modelo 1 tenha apresentado maior R^2 (0,158) e maior log-verossimilhança (-1494,95), o Modelo 2 apresentou melhor equilíbrio entre qualidade ajuste e parcimônia (Tabela 5).

Tabela 5. Comparação dos modelos espaciais finais (SEM) para a taxa média de incidência de dengue, Paraíba, Brasil, 2023–2025

Indicador	Modelo 1 – SEM	Modelo 2 – SEM
Número de variáveis explicativas	7	5
Observações	223	223
R^2	0,158	0,150
Log-verossimilhança	-1494,95	-1496,12
AIC	3005,89	**3004,23**
Parâmetro espacial (λ)	0,280 (p = 0,002)	0,295 (p = 0,001)
Moran's I dos resíduos	0,1058 (p = 0,00266)	0,1146 (p = 0,00214)
Variáveis significativas (p < 0,05)	Poço; Carro-pipa; Fossa rudimentar; Vala; Analfabetismo	Poço; Fossa rudimentar; Vala
Variáveis marginais (0,05 ≤ p < 0,10)	—	Carro-pipa; Analfabetismo

Nota: λ = parâmetro de dependência espacial do Modelo de Erro Espacial (*Spatial Error Model* – SEM). O Moran's I dos resíduos refere-se ao teste de autocorrelação espacial aplicado aos resíduos do modelo ajustado. Valores de p < 0,05 indicam persistência de autocorrelação espacial residual.

O parâmetro espacial do Modelo 2 permaneceu estatisticamente significativo (λ = 0,295; p = 0,001), indicando a existência de associação espacial residual foi incorporada ao modelo por meio do componente de erro espacial. Entretanto, o teste de Moran aplicado aos resíduos

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

permaneceu significativo (I = 0,1146; p = 0,00214), indicando que parte da estrutura espacial da incidência de dengue permaneceu não explicada pelas variáveis incluídas.

Fatores associados à incidência de dengue

Os resultados do modelo espacial final (Modelo 2 – SEM) indicaram que municípios com maior proporção de domicílios abastecidos por fontes alternativas de água apresentaram maiores taxas de incidência de dengue, com associação positiva e estatisticamente significativa para o abastecimento por poço (β = 3,120; p = 0,002). A variável referente ao abastecimento por carro-pipa apresentou associação positiva marginal (β = 1,663; p = 0,059), sendo mantida no modelo devido à sua plausibilidade epidemiológica e contribuição para o ajuste.

A dependência dessas fontes alternativas pode estar relacionada a práticas de armazenamento domiciliar de água, especialmente quando realizadas sem proteção adequada dos recipientes, favorecendo a formação de ambientes potenciais para o desenvolvimento do *Aedes aegypti*. Esse resultado é compatível com evidências apresentadas em documentos técnicos da Secretaria de Estado da Saúde da Paraíba, que destacam o armazenamento inadequado de água em recipientes como tambores e outros reservatórios como condição associada à manutenção de criadouros do vetor (Paraíba, 2025). Embora essa associação não permita estabelecer relação causal, a maior ocorrência dessas formas de abastecimento pode representar um marcador territorial de insegurança hídrica e limitações estruturais no acesso regular à água.

No contexto do Semiárido paraibano, esses resultados são particularmente relevantes, pois a dependência de poços e do abastecimento por carro-pipa reflete estratégias de adaptação à irregularidade hídrica, mas também limitações históricas da infraestrutura de abastecimento e vulnerabilidades relacionadas à segurança hídrica (Barreto; Feitosa; Anjos, 2025). A persistência dessas formas alternativas de abastecimento evidencia dificuldades de acesso regular à água. Nesse contexto, Maia, Cunha e Cunha (2024) defendem o redirecionamento gradual dos recursos destinados ao abastecimento emergencial por carros-pipa para o fortalecimento dos sistemas públicos de abastecimento, visando à universalização do acesso à água potável.

Quanto aos indicadores relacionados à disposição dos esgotos domésticos, a proporção de domicílios com fossa rudimentar (β = −2,656; p < 0,001) e disposição do esgoto por vala (β = −6,983; p = 0,032) apresentou associação negativa com a incidência de dengue. Contudo, esse resultado não deve ser interpretado como efeito protetor dessas formas inadequadas de

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

saneamento, mas como um possível reflexo de características territoriais dos municípios, onde essas modalidades são mais frequentes em áreas rurais e menos urbanizadas, atuando como marcadores das condições socioespaciais e da dinâmica de transmissão da doença (Kolimenakis *et al*., 2021; Sepetauskas *et al*., 2025). Nesse contexto, a World Health Organization (WHO) e o United Nations Children's Fund (UNICEF) (2023) destacam que os déficits de acesso à água e aos sistemas de esgotamento sanitário permanecem concentrados em populações vulneráveis, especialmente em países de baixa renda e áreas rurais, evidenciando desigualdades persistentes na oferta desses serviços.

Esses resultados são consistentes com evidências da literatura nacional. Peixoto *et al*. (2023) observaram maior infestação por *Aedes aegypti* em municípios com menor cobertura de abastecimento de água, esgotamento sanitário e coleta de resíduos sólidos. De forma semelhante, Raymundo e Medronho (2021) verificaram que o abastecimento adequado de água e a presença de sistema público de esgotamento sanitário estiveram associados à menor incidência de arboviroses transmitidas pelo *Aedes aegypti*, como a Zika, reforçando a importância dos serviços de saneamento na redução da vulnerabilidade ambiental.

A taxa de analfabetismo apresentou associação positiva marginal com a incidência de dengue ($\beta = 5{,}936$; $p = 0{,}084$), indicando tendência de maiores taxas da doença em municípios com piores indicadores educacionais. Essa variável pode atuar como marcador de vulnerabilidade socioambiental, refletindo desigualdades no acesso à informação, aos serviços de saúde e aos recursos de prevenção (Guimarães *et a*l., 2023; Paiva; Souza, 2018). Segundo a WHO e a UNICEF (2023), níveis limitados de alfabetização em saúde podem comprometer ações de promoção da saúde e prevenção de doenças. Entretanto, essa interpretação deve ser considerada como hipótese contextual, pois o delineamento ecológico não permite avaliar práticas individuais de prevenção.

A significância do parâmetro espacial no modelo SEM ($\lambda = 0{,}295$; $p = 0{,}001$) indica que a dependência espacial foi relevante para explicar a variabilidade da incidência de dengue entre os municípios. Entretanto, o teste de Moran aplicado aos resíduos do modelo permaneceu significativo (Moran's I = 0,1146; $p = 0{,}00214$), sugerindo que parte da estrutura espacial não foi totalmente capturada pelas variáveis incluídas no modelo e indicando a possível influência de fatores territoriais não observados. Estudos realizados na Paraíba corroboram esse padrão, demonstrando heterogeneidade espacial da incidência da dengue associadas a diferentes características territoriais (Mariano Neto; Gonçalves, 2024).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

A distribuição da dengue nos municípios paraibanos reflete uma interação complexa entre fatores ambientais, sanitários, sociais e territoriais, na qual a insegurança hídrica, as condições de infraestrutura e as desigualdades socioeconômicas podem estar associadas à configuração da vulnerabilidade à doença. Esses resultados reforçam a importância de estratégias regionalizadas de vigilância e controle, articuladas a políticas de ampliação do acesso regular à água, melhoria dos serviços de saneamento e redução das vulnerabilidades sociais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo evidenciou que a incidência de dengue nos municípios da Paraíba apresentou distribuição espacial não aleatória no período de 2023 a 2025, com concentração de áreas de maior risco e dependência espacial entre municípios vizinhos do Sertão Paraibano. A identificação de aglomerados espaciais e a heterogeneidade da distribuição da doença reforçam a importância da incorporação da dimensão espacial na vigilância epidemiológica e no planejamento das ações de controle.

Os modelos espaciais apresentaram melhor desempenho comparativo em relação ao modelo de regressão linear múltipla, indicando que a consideração da dependência espacial contribuiu para uma representação mais adequada da distribuição da incidência de dengue. Entre os modelos avaliados, o Modelo 2 – SEM foi selecionado como modelo final por apresentar maior parcimônia e melhor desempenho segundo o Critério de Informação de Akaike (AIC), embora a permanência de autocorrelação espacial residual indique que parte da variabilidade espacial da doença não foi explicada pelas variáveis incluídas.

As associações observadas evidenciaram a relevância de indicadores relacionados ao saneamento básico e às condições socioeconômicas, especialmente o abastecimento de água por poço, sugerindo que a vulnerabilidade à dengue resulta da interação entre fatores sanitários, sociais e ambientais.

Os resultados obtidos podem subsidiar a definição de áreas prioritárias para vigilância e controle, contribuindo para o planejamento de intervenções mais territorializadas. Além do fortalecimento das ações de vigilância epidemiológica e controle vetorial, os resultados reforçam a importância da ampliação do acesso ao abastecimento de água e ao esgotamento sanitário, bem como da redução das desigualdades socioeconômicas, como estratégias complementares para o enfrentamento da dengue em municípios mais vulneráveis.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Limitações do estudo

Este estudo apresenta limitações inerentes ao delineamento ecológico, que permite identificar associações entre características municipais, mas não estabelecer relações causais nem realizar inferências em nível individual, em razão da possibilidade de falácia ecológica. A utilização de dados secundários pode estar sujeita à subnotificação, inconsistências nos registros e diferenças municipais na capacidade diagnóstica e de vigilância epidemiológica. Embora a utilização da taxa média de incidência tenha reduzido flutuações aleatórias, especialmente em municípios de pequena população, não foi empregada suavização bayesiana das taxas. Além disso, a análise foi baseada na incidência média do período, não contemplando a dinâmica espaço-temporal anual da doença. Também não foram incorporadas variáveis potencialmente relacionadas à transmissão da dengue, como precipitação, temperatura e umidade com defasagens temporais, índices entomológicos, sorotipos circulantes, mobilidade intermunicipal, cobertura da Atenção Primária à Saúde e capacidade local de vigilância. Apesar dessas limitações, a abordagem espacial permitiu identificar padrões territoriais e fatores contextuais associados à incidência de dengue, fornecendo evidências úteis para subsidiar ações de vigilância e controle da doença.

Declaração do uso de inteligência artificial generativa

Os autores declaram ter utilizado ferramentas de inteligência artificial generativa para auxiliar na pesquisa bibliográfica (Consensus) e na revisão textual e aprimoramento da redação do manuscrito (ChatGPT). Todo o conteúdo foi revisado criticamente pelos autores, que se responsabilizam integralmente pela acurácia das informações, integridade científica e originalidade do manuscrito.

Financiamento

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

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA (AESA). **Sistema de monitoramento pluviométrico do Estado da Paraíba**. João Pessoa: AESA, 2026. Disponível em: https://www.aesa.pb.gov.br/chuvas/. Acesso em: 10 jan. 2026.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

ALMEIDA, L. S.; COTA, A. L. S.; RODRIGUES, D. F. Saneamento, arboviroses e determinantes ambientais: impactos na saúde urbana. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 10, p. 3857-3868, 2020. DOI: https://doi.org/10.1590/1413-812320202510.30712018. Disponível em: https://www.scielo.br/j/csc/a/SYkNjBXG7JMCJxCjshr7sLB/abstract/?lang=pt. Acesso em: 20 jun. 2026.

ARAÚJO, D. C. *et al.* Determining the association between dengue and social inequality factors in north-eastern Brazil: a spatial modelling. **Geospatial Health**, Pavia, v. 15, n. 1, p. 854, 2020. DOI: https://doi.org/10.4081/gh.2020.854. Disponível em: https://www.geospatialhealth.net/index.php/gh/article/view/854. Acesso em: 24 mai. 2026.

AROUCA, M. C. G.; STRAUCH, J. C. M.; FRANCISCO, C. N. Análise socioespacial das doenças relacionadas ao saneamento ambiental nos municípios fluminenses. **Hygeia: Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde**, Uberlândia, v. 16, n. 1, p. 299-313, 2020. DOI: https://doi.org/10.14393/Hygeia16054730. Disponível em: https://seer.ufu.br/index.php/hygeia/article/view/54730. Acesso em: 20 mai. 2026.

AZEVÊDO, E. L. *et al.* How do people gain access to water resources in the Brazilian semiarid (Caatinga) in times of climate change? **Environmental Monitoring and Assessment**, Dordrecht, v. 189, e375, 2017. DOI: https://doi.org/10.1007/s10661-017-6087-z. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-017-6087-z. Acesso em: 24 mai. 2026.

BARRETO, J. B.; FEITOSA, P. H. C.; ANJOS, K. L. Desigualdades socioambientais do abastecimento de água nas microrregiões de água e esgoto da Paraíba. **Raízes: Revista de Ciências Sociais e Econômicas**, Campina Grande, v. 45, n. 1, p. 171-187, 2025. DOI: https://doi.org/10.37370/raizes.2025.v45.894. Disponível em: https://raizes.revistas.ufcg.edu.br/index.php/raizes/article/view/894. Acesso em: 24 mai. 2026.

BRASIL. **Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007.** Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995, e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. *Diário Oficial da União: seção 1*, Brasília, DF, 8 jan. 2007. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm. Acesso em: 10 jan. 2026.

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020.** Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera as Leis nos 9.984, de 17 de julho de 2000, 10.768, de 19 de novembro de 2003, 11.107, de 6 de abril de 2005, 11.445, de 5 de janeiro de 2007, 12.305, de 2 de agosto de 2010, 13.089, de 12 de janeiro de 2015, e a Lei nº 13.529, de 4 de dezembro de 2017. *Diário Oficial da União: seção 1*, Brasília, DF, 16 jul. 2020. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm. Acesso em: 10 jan. 2026.

BRASIL. Ministério da Saúde. Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS). **Informações de Saúde.** Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2026. Disponível em: https://dadosabertos.saude.gov.br/dataset/arboviroses-dengue. Acesso em: 10 mai. 2026.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

GIL, L. H. S. *et a*l. Rudimentary cesspits as breeding sites for *Aedes aegypti* in urban areas of Northern Brazil. **Revista Pan-Amazônica de Saúde**, Ananindeua, v. 6, n. 3, p. 73-80, 2015. DOI: https://doi.org/10.5123/S2176-62232015000300010. Disponível em: https://arca.fiocruz.br/items/89d59919-4d3d-4475-859d-9c571193f42e. Acesso em: 24 mai. 2026.

GUIMARÃES, L. M. *et al*. Associação entre escolaridade e taxa de mortalidade por dengue no Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 39, n. 9, e00215122, 2023. DOI: https://doi.org/10.1590/0102-311XPT215122. Disponível em: https://www.scielo.br/j/csp/a/hXQKqG6PJHzygYT66dVQPCr/?lang=pt. Acesso em: 24 mai. 2026.

ILLA, E.; MURÚA, F.; ABALLAY, F. H. *Aedes (Stegomyia) aegypti* in ditches from an arid region of Argentina. **Journal of Arid Environments**, London, v. 223, p. 105194, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2024.105194. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0140196324000740?via%3Dihub. Acesso em: 24 mai. 2026.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Demográfico 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/downloads.html?localidade=BR. Acesso em: 20 jun. 2026.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Portal Cidades: Paraíba**. Rio de Janeiro: IBGE, 2026. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pb/. Acesso em: 15 jun. 2026.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Semiárido brasileiro**. Rio de Janeiro: IBGE, 2025. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15974-semiarido-brasileiro.html. Acesso em: 28 mai. 2026.

INSTITUTO CIDADES SUSTENTÁVEIS (ICS). **IDSC-BR - Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades – Brasil**. São Paulo: Instituto Cidades Sustentáveis, 2024. Disponível em: https://www.cidadessustentaveis.org.br/paginas/idsc-br. Acesso em: 22 out. 2025.

KOLIMENAKIS, A. *et al.* The role of urbanisation in the spread of *Aedes* mosquitoes and the diseases they transmit: a systematic review. **PLoS Neglected Tropical Diseases**, San Francisco, v. 15, n. 9, e0009631, 2021. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0009631. Disponível em: https://journals.plos.org/plosntds/article?id=10.1371/journal.pntd.0009631. Acesso em: 24 mai. 2026.

LIMA-CÂMARA, T. N. A dengue é produto do meio: uma abordagem sobre os impactos do ambiente no mosquito *Aedes aegypti* e nos casos da doença. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, São Paulo, v. 27, e240048, 2024. DOI: https://doi.org/10.1590/1980-549720240048. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbepid/a/tScn3zQV4kWqYrh35fKYWdM/?lang=en. Acesso em: 20 mai. 2026.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

LIPPI, C. A. *et al.* Spatiotemporal tools for emerging and endemic disease hotspots in small areas: an analysis of dengue and chikungunya in Barbados, 2013-2016. **The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene**, Baltimore, v. 103, n. 1, p. 149-156, 2020. DOI: https://doi.org/10.4269/ajtmh.19-0919. Disponível em: https://www.ajtmh.org/view/journals/tpmd/103/1/article-p149.xml. Acesso em: 20 mai. 2026.

MAIA, K. F.; CUNHA, L. H.; CUNHA, P. H. Carros-pipa, compras governamentais e economia da água no Semiárido brasileiro. **Raízes: Revista de Ciências Sociais e Econômicas**, Campina Grande, v. 44, e890, 2024. DOI: https://doi.org/10.37370/raizes.2024.v44.890. Disponível em: https://raizes.revistas.ufcg.edu.br/index.php/raizes/article/view/890. Acesso em: 10 mai. 2026.

MARIANO NETO, M.; GONÇALVES, G. L. Distribuição espacial da incidência de dengue no estado da Paraíba, Brasil. **Geotemas**, Pau dos Ferros, v. 14, n. 1, e02414, 2024. DOI: https://doi.org/10.33237/2236-255X.2024.5618. Disponível em: https://periodicos.apps.uern.br/index.php/GEOTemas. Acesso em: 24 jun. 2026.

MELO, V. F. *et al*. Soluções alternativas de abastecimento de água em zonas rurais: comparativo e análise entre cinco municípios da Paraíba. **Caderno Pedagógico**, Lajeado, v. 21, n. 8, e6531, 2024. DOI: https://doi.org/10.54033/cadpedv21n8-082. Disponível em: https://ojs.studiespublicacoes.com.br/ojs/index.php/cadped/article/view/6531. Acesso em: 10 mai. 2026.

MOREIRA, R. M. *et al*. Autocorrelação espacial de serviços de saneamento e qualidade de vida para o estado de Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento**, Curitiba, v. 11, n. 3, p. 664-684, 2022. DOI: https://doi.org/10.3895/rbpd.v11n3.14927. Disponível em: https://periodicos.utfpr.edu.br/rbpd. Acesso em: 24 mai. 2026.

NAHAS, M. I. P. *et al.* Desigualdade e discriminação no acesso à água e ao esgotamento sanitário na Região Metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 35, n. 4, e00100818, 2019. DOI: https://doi.org/10.1590/0102-311X00100818. Disponível em: https://www.scielo.br/j/csp/. Acesso em: 24 jun. 2026.

OLIVEIRA, A. A. *et al.* Variabilidade climática e casos de dengue em cidades do estado da Paraíba, Brasil. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 11, n. 11, e50111133256, 2022. DOI: https://doi.org/10.33448/rsd-v11i11.33256. Disponível em: https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/33256. Acesso em: 20 jun. 2026.

PAIVA, R. F. P. S.; SOUZA, M. F. P. Associação entre condições socioeconômicas, sanitárias e de atenção básica e a morbidade hospitalar por doenças de veiculação hídrica no Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 34, n. 1, e00017316, 2018. DOI: https://doi.org/10.1590/0102-311X00017316. Disponível em: https://www.scielo.br/j/csp/. Acesso em: 24 jun. 2026.

PARAÍBA**.** Lei Complementar nº 168, de 22 de junho de 2021. Institui as Microrregiões de Água e Esgoto do Alto Piranhas, do Espinharas, da Borborema e do Litoral e suas respectivas estruturas de governança. **Diário Oficial do Estado da Paraíba**, João Pessoa, 23 jun. 2021.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Disponível em: https://leisestaduais.com.br/pb/lei-complementar-n-168-2021-paraiba-institui-as-microrregioes-de-agu. Acesso em: 17 out. 2025.

PARAÍBA. Secretaria de Estado da Saúde. **Boletim epidemiológico das arboviroses n. 05/2022**. João Pessoa: Secretaria de Estado da Saúde da Paraíba, 2025. Disponível em: https://paraiba.pb.gov.br/diretas/saude/arquivos-1/vigilancia-em-saude/boletim-epidemiologico-arboviroses-urbanas-no-05_2025.pdf. Acesso em: 10 mai. 2026.

PEIXOTO, M. V. S. *et al.* Microcefalia associada à infecção por Zika vírus: análise espacial e correlação com a vulnerabilidade social e a infestação predial no estado de Sergipe. **Hygeia: Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde**, Uberlândia, v. 19, e1932, 2023. DOI: https://doi.org/10.14393/Hygeia1968192. Disponível em: https://seer.ufu.br/index.php/hygeia. Acesso em: 24 jun. 2026.

RAYMUNDO, C. E.; MEDRONHO, R. A. Association between socio-environmental factors, coverage by family health teams, and rainfall in the spatial distribution of Zika virus infection in Rio de Janeiro, Brazil. **BMC Public Health**, London, v. 21, p. 1199, 2021. DOI: https://doi.org/10.1186/s12889-021-11249-y. Disponível em: https://bmcpublichealth.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12889-021-11249-y. Acesso em: 24 jun. 2026.

SEPETAUSKAS, C. S. N. *et al.* Unveiling connections: mobility and dengue case networks on an intraurban scale. **Physica D: Nonlinear Phenomena**, Amsterdam, v. 481, e134812, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.physd.2025.134812. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/journal/physica-d-nonlinear-phenomena. Acesso em: 24 jun. 2026.

SILVA, E. T. C. *et al.* Análise espacial da distribuição dos casos de dengue e sua relação com fatores socioambientais no estado da Paraíba, Brasil, 2007-2016. **Saúde em Debate**, Rio de Janeiro, v. 44, n. 125, p. 465-477, 2020. DOI: https://doi.org/10.1590/0103-1104202012514. Disponível em: https://www.scielo.br/j/sdeb/. Acesso em: 24 mai. 2026.

SOUSA, S. C. *et al.* Factors associated with the occurrence of dengue epidemics in Brazil: a systematic review. **Revista Panamericana de Salud Pública**, Washington, DC, v. 45, e84, 2021. DOI: https://doi.org/10.26633/RPSP.2021.84. Disponível em: https://journal.paho.org/en/articles/factors-associated-occurrence-dengue-epidemics-brazil-systematic-review. Acesso em: 24 jul. 2026.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **World report on social determinants of health equity.** Geneva: World Health Organization, 2025. Disponível em: https://www.who.int/publications/b/67293. Acesso em: 30 jun. 2026.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO); UNITED NATIONS CHILDREN'S FUND (UNICEF). **Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000–2022***: special focus on gender*. Geneva: World Health Organization, 2023. Disponível em: https://www.who.int/publications/i/item/9789240076921. Acesso em: 30 jun. 2026.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

YOUNG, S. L. *et al.* The Household Water Insecurity Experiences (HWISE) Scale: development and validation of a household water insecurity measure for low-income and middle-income countries. **BMJ Global Health**, London, v. 4, n. 5, 2019. DOI: https://doi.org/10.1136/bmjgh-2019-001750. Disponível em: https://gh.bmj.com/content/4/5/e001750. Acesso em: 20 jul. 2026.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.