



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA**

**PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSAS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA –  
PIBIC**

## **Análise espacial da incidência da dengue no Nordeste**

**Estudo Espacial da Dengue no Nordeste Brasileiro em 2024**

Área do conhecimento: Ciências da Saúde  
Subárea do conhecimento: Saúde Coletiva  
Especialidade do conhecimento: Epidemiologia espacial

Relatório Final  
Período da bolsa: de (setembro de 2024) a (agosto de 2025)

Este projeto é desenvolvido com bolsa de iniciação científica

PIBIC/CNPq

## Resumo

A dengue é uma arbovirose de grande impacto na saúde pública, cuja transmissão está relacionada a fatores ambientais, climáticos e sociais. Em 2024, o Brasil enfrentou uma das maiores epidemias já registradas, ultrapassando quatro milhões de casos, com destaque para o Nordeste como uma das regiões mais afetadas. Este estudo analisou a distribuição espacial da dengue nos nove estados nordestinos ao longo de 2024, avaliando sua incidência bem como sua relação com o desmatamento. Foram utilizados dados do SINAN, PRODES e IBGE, aplicando-se métodos de suavização Bayesiana, Índice de Moran Global e Local, além de autocorrelação espacial bivariada. Os resultados indicaram elevada concentração de casos, identificando clusters de alto risco e associação espacial positiva significativa entre dengue e desmatamento, especialmente na Bahia. Esses achados reforçam a importância de estratégias de vigilância e controle direcionadas, considerando a interação entre fatores ambientais e socioeconômicos para o enfrentamento da doença na região.

**Palavras-chave:** dengue; análise espacial; desmatamento; Nordeste brasileiro; saúde pública.

## Abstract

Dengue is an arboviral disease with a major impact on public health, whose transmission is related to environmental, climatic, and social factors. In 2024, Brazil faced one of the largest epidemics ever recorded, exceeding four million cases, with the Northeast as one of the most affected regions. This study analyzed the spatial distribution of dengue across the nine Northeastern states throughout 2024, evaluating its incidence as well as its relationship with deforestation. Data from SINAN, PRODES, and IBGE were used, applying Bayesian smoothing, Global and Local Moran's Index, and bivariate spatial autocorrelation. Results indicated a high concentration of cases, identifying high-risk clusters and a significant positive spatial association between dengue and deforestation, especially in Bahia. These findings highlight the importance of targeted surveillance and control strategies, considering the interaction between environmental and socioeconomic factors in addressing the disease in the region.

**Keywords:** dengue; spatial analysis; deforestation; Brazilian Northeast; public health.

# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Objetivos</b>	<b>8</b>
2.1	Objetivo Geral . . . . .	8
2.2	Objetivos Específicos . . . . .	8
<b>3</b>	<b>Revisão de Literatura</b>	<b>9</b>
3.1	Aspectos gerais do <i>Aedes aegypti</i> . . . . .	9
3.2	Epidemiologia da dengue no Brasil . . . . .	10
3.3	Epidemiologia da dengue no Nordeste . . . . .	10
3.4	Ferramentas de análise espacial na epidemiologia . . . . .	11
<b>4</b>	<b>Metodologia</b>	<b>13</b>
4.1	Local de estudo . . . . .	13
4.2	Dados . . . . .	13
4.3	Análise espacial . . . . .	13
4.3.1	Estimador Bayesiano Empírico . . . . .	13
4.3.2	Índice de Moran Global . . . . .	14
4.3.3	Índice de Moran Local (LISA) . . . . .	14
4.3.4	Autocorrelação espacial bivariada . . . . .	14
4.4	Ferramentas computacionais . . . . .	15
<b>5</b>	<b>Resultados</b>	<b>16</b>
5.1	Discussões . . . . .	20
<b>6</b>	<b>Conclusão</b>	<b>22</b>
<b>7</b>	<b>Perspectivas de futuros trabalhos</b>	<b>23</b>
	<b>Referências</b>	<b>24</b>
<b>8</b>	<b>Outras Atividades</b>	<b>26</b>

## Lista de Tabelas

- 1 Caracterização dos casos notificados de dengue no Nordeste, Brasil. 17

## Lista de Figuras

- 1 (A) Incidência de casos de dengue por 100.000 habitantes; (B) Distribuição espacial da incidência de casos de dengue, utilizando o Mapa I de Moran; (C) Risco relativo da incidência de casos de dengue no Brasil. . . . . 19
- 2 (A) Incidência do desmatamento na região Nordeste; (B) Análise de autocorrelação espacial bivariada (LISA bivariado) entre incidência de dengue e desmatamento. . . . . 20

## 1 Introdução

A dengue, uma arbovirose causada pelos vírus da família *Flaviviridae* e transmitida principalmente pelo mosquito *Aedes aegypti*, representa um dos maiores desafios para a saúde pública global. Estima-se que bilhões de pessoas vivem em áreas de risco, especialmente em regiões tropicais e subtropicais (World Health Organization [WHO], 2022). No Brasil, a doença está presente de maneira endêmica, com períodos sazonais que frequentemente evoluem para epidemias de grande magnitude (Teixeira et al., 2020). A manifestação clínica da dengue varia de formas assintomáticas a quadros graves, como a dengue hemorrágica e a síndrome do choque da dengue, colocando em risco a vida de milhões de pessoas a cada ano (Brasil, Ministério da Saúde, 2023).

A transmissão da dengue está intrinsecamente ligada a fatores ambientais e sociais. O mosquito vetor encontra condições ideais para reprodução em áreas de alta temperatura, alta pluviosidade e urbanização acelerada, características predominantes em muitas regiões do Brasil (Lima-Camara, 2016). Além disso, questões como infraestrutura deficiente de saneamento básico, descarte inadequado de resíduos sólidos e armazenamento de água em recipientes expostos ampliam os criadouros do vetor (Honório et al., 2009). A interação desses fatores cria um cenário perfeito para a expansão da dengue, tornando a sua prevenção e controle um desafio constante (Braga & Valle, 2007).

Historicamente, o Brasil já enfrentou diversas epidemias de dengue desde a reintrodução do *Aedes aegypti* nos anos 1970 (Gubler, 2011). As décadas seguintes foram marcadas por ciclos epidêmicos, impulsionados pela introdução de novos sorotipos do vírus e pela baixa imunidade da população (Barreto et al., 2008). Em anos recentes, as mudanças climáticas, como o aumento das temperaturas globais e padrões irregulares de chuva, têm intensificado a dinâmica de transmissão do vírus (Confalonieri et al., 2015). No Nordeste brasileiro, uma das regiões mais afetadas, os desafios se tornam ainda mais evidentes devido às condições climáticas específicas e à vulnerabilidade socioeconômica da população (Martins et al., 2021).

Estudos recentes realizados no ano de 2024 mostram que a dengue permanece um problema de grande magnitude, com destaque para o Nordeste, onde a incidência de casos apresenta tendências preocupantes (Oliveira et al., 2024). Pesquisas científicas apontam que os padrões de distribuição espacial da dengue nesta região têm se tornado cada vez mais complexos, sendo influenciados por fatores como mobilidade populacional, mudanças no uso do solo e intervenções urbanísticas (Carvalho et al., 2023). Esses estudos reforçam a necessidade de se compreender como a dengue se comporta no espaço geográfico para direcionar políticas públicas eficazes (Silva et al., 2023).

Em 2024, o Brasil enfrentou uma das maiores epidemias de dengue já registradas, com um número de casos ultrapassando os 4 milhões, conforme dados preliminares do Ministério da Saúde (Brasil, 2024). O Nordeste, particularmente, concentrou uma proporção significativa desses casos. Estudos recentes apontam que fatores como o aumento das chuvas, eventos extremos do El Niño e falhas na cobertura vacinal influenciaram diretamente o agravamento do surto (Pereira et al., 2024; Almeida & Souza, 2024). De acordo com Carvalho et al. (2025), a circulação simultânea de múltiplos sorotipos contribuiu para um au-

mento expressivo nos casos graves e nas hospitalizações. Além disso, há indícios de que áreas com maiores taxas de desmatamento apresentaram também maiores incidências da doença (Ferreira et al., 2024).

No contexto das análises espaciais, o estudo da dengue tem ganhado relevância por permitir a identificação de áreas críticas de transmissão, denominadas hotspots. Técnicas de geoprocessamento e modelagem espacial têm sido amplamente utilizadas para mapear a distribuição de casos, identificar clusters e correlacionar a incidência da doença com variáveis ambientais e sociais (Bhatt et al., 2013). Essa abordagem é particularmente importante no Nordeste, onde as condições naturais e sociais interagem de maneira única, moldando o padrão de ocorrência da dengue (Almeida et al., 2022).

Este artigo tem como objetivo analisar a distribuição espacial da dengue no Nordeste brasileiro ao longo do ano de 2024, utilizando ferramentas de análise espacial para identificar padrões, focos de transmissão e fatores determinantes da propagação da doença. Ao abordar a dengue sob uma perspectiva geográfica, espera-se contribuir para o desenvolvimento de estratégias de controle mais precisas e baseadas em evidências. A relevância desta investigação se justifica pela necessidade de compreensão aprofundada dos aspectos espaciais da dengue, essenciais para intervenções mais direcionadas e eficazes no enfrentamento desse problema de saúde pública.

## **2 Objetivos**

### **2.1 Objetivo Geral**

Analisar a distribuição espacial dos casos de dengue no Nordeste brasileiro durante o ano de 2024, buscando identificar padrões geográficos, áreas críticas de transmissão e associações com fatores ambientais como o desmatamento.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Mapear a incidência de dengue nos municípios do Nordeste, utilizando indicadores de suavização espacial (Índice Bayesiano);
- Identificar clusters espaciais de alto e baixo risco de transmissão com o uso do Índice de Moran e LISA;
- Avaliar a associação espacial entre a incidência de dengue e a taxa de desmatamento por meio da autocorrelação bivariada;
- Destacar municípios prioritários para ações de vigilância e controle com base nos padrões identificados.



### 3 Revisão de Literatura

#### 3.1 Aspectos gerais do *Aedes aegypti*

A dengue é uma arbovirose causada por quatro sorotipos distintos do vírus DENV (DENV-1 a DENV-4), pertencentes à família *Flaviviridae*, e transmitida principalmente pelo mosquito *Aedes aegypti*. Originalmente erradicado do Brasil em meados do século XX por campanhas de saúde pública voltadas ao combate da febre amarela urbana, o *Aedes aegypti* foi reintroduzido no país na década de 1970. A partir desse período, consolidou-se como vetor eficiente da dengue, favorecido por condições climáticas tropicais e pela urbanização acelerada (BRAGA; VALLE, 2007; TEIXEIRA et al., 2020).

O histórico da dengue no Brasil é marcado por surtos sucessivos que refletem tanto a presença do vetor quanto a circulação de diferentes sorotipos. Desde os primeiros registros de transmissão autóctone em meados dos anos 1980, o país vivenciou uma expansão territorial e um aumento exponencial de casos. Esse processo foi agravado pela introdução sucessiva de novos sorotipos, reduzindo a imunidade coletiva e aumentando o risco de formas graves da doença (BARRETO et al., 2008; GUBLER, 2011). Assim, a dengue consolidou-se como um dos principais problemas de saúde pública do país, com alta incidência endêmica e episódios epidêmicos de grande magnitude.

A transmissão da dengue está fortemente associada a processos de urbanização desordenada, que criam condições ideais para a proliferação do mosquito vetor. Em áreas urbanas densamente povoadas, o *Aedes aegypti* encontra uma ampla variedade de criadouros artificiais, como caixas d'água destampadas, pneus descartados e recipientes expostos que acumulam água de chuva. A infraestrutura precária de saneamento básico e a coleta ineficiente de resíduos sólidos contribuem para manter e expandir esses criadouros (HONÓRIO et al., 2009; LIMA-CAMARA, 2016).

A dengue pode se apresentar de forma assintomática ou com sintomas leves a graves. Os sintomas mais comuns incluem febre alta súbita, cefaleia intensa, dor retro-orbital, mialgia e artralgia, além de exantema em alguns casos (WHO, 2023). Em formas mais severas, podem ocorrer manifestações como sangramentos, choque hipovolêmico e disfunção de órgãos (Guzman et al., 2024). A detecção precoce dos sinais de alerta é essencial para prevenir a progressão da doença para formas graves. Pacientes com condições pré-existentes, como diabetes, hipertensão, doenças cardiovasculares e imunossupressão, têm maior risco de desenvolver formas graves da dengue (Silva et al., 2023). A presença dessas comorbidades está associada a maior necessidade de hospitalização e risco de óbito (Lima et al., 2024). Estudos recentes mostram que a coinfeção por diferentes sorotipos e a infecção secundária também estão relacionadas à pior evolução clínica da doença (Martins et al., 2024).

Além disso, o desmatamento tem um papel indireto mas relevante na expansão da dengue. Ao remover áreas naturais, há alteração de ecossistemas que força a adaptação de vetores e hospedeiros a ambientes urbanos e periurbanos. A conversão de florestas em áreas agrícolas ou urbanizadas leva à fragmentação de habitats e ao deslocamento de populações humanas para regiões anteriormente não ocupadas. Essa interface entre áreas desmatadas e cidades favorece a introdução e dispersão do mosquito em novas localidades, ampliando

o alcance da doença (CONFALONIERI; MARINHO; RODRIGUEZ, 2015; MARTINS et al., 2021).

Assim, a relação entre urbanização acelerada e desmatamento revela um ciclo preocupante: o crescimento desordenado sem planejamento ambiental e urbano adequado resulta em vulnerabilidade epidemiológica, com o aumento dos criadouros do vetor e a maior exposição das populações.

### **3.2 Epidemiologia da dengue no Brasil**

A circulação do *Aedes aegypti* e dos vírus da dengue no Brasil apresenta um histórico marcado por ondas epidêmicas sucessivas que se intensificaram a partir da década de 1980. Após alguns registros isolados no início dos anos 1980, como o surto em Boa Vista (Roraima), ocorreram epidemias regionais que sinalizaram a reestabilização do vetor no país. Entre 1986 e 1987, um surto de grande magnitude atingiu áreas urbanas do Rio de Janeiro e parte do Nordeste, associado principalmente ao sorotipo DENV-1, resultando em dezenas de milhares de casos notificados (TEIXEIRA; BARRETO; GUERRA, 2009; BRAGA; VALLE, 2007).

A introdução do DENV-2 no início da década de 1990 e do DENV-3 no final dos anos 1990/princípios dos anos 2000 desencadeou novos ciclos epidêmicos, com aumento expressivo de casos graves em diferentes estados (BARRETO et al., 2008; GUBLER, 2011). Ao longo dos anos 2000 e 2010, observou-se expansão da área de transmissão e elevada carga de doença: entre 2000 e 2015, milhões de casos foram notificados, com picos de hospitalizações e óbitos, evidenciando a interação entre circulação viral, dinâmica populacional e determinantes sociais e ambientais (TEIXEIRA et al., 2020; OLIVEIRA, 2024).

Em anos mais recentes, os ciclos epidêmicos se tornaram mais frequentes e intensos. Em 2019, o Brasil registrou cerca de 2,1 milhões de casos, um dos maiores valores das últimas décadas (Ministério da Saúde, 2022). Já em 2023 e 2024, a Região das Américas enfrentou uma onda epidêmica sem precedentes desde o início das séries históricas, com aumentos expressivos de casos e óbitos (Pan American Health Organization, 2024). Dados do Ministério da Saúde indicam que, em 2024, o Brasil ultrapassou 6,2 milhões de notificações nas primeiras 26 semanas epidemiológicas, impulsionadas pela circulação simultânea de múltiplos sorotipos, eventos climáticos extremos e mobilidade populacional (Ministério da Saúde, 2024; CARVALHO; SOUZA; BARCELLOS, 2025).

Esse panorama histórico evidencia dois pontos principais: (1) a introdução ou ressurgência de sorotipos menos circulantes frequentemente antecede picos epidêmicos, devido à suscetibilidade populacional; (2) fatores estruturais e ambientais, como urbanização desordenada, saneamento deficiente, variações climáticas e desmatamento, modulam fortemente a extensão espacial e a gravidade dos surtos (CONFALONIERI; MARINHO; RODRIGUEZ, 2015; ALMEIDA; COSTA; BARRETO, 2022).

### **3.3 Epidemiologia da dengue no Nordeste**

O Nordeste apresenta condições climáticas e socioambientais que favorecem a transmissão da dengue, como temperaturas elevadas durante quase todo o ano e períodos de chuva intensa que criam ambientes ideais para o acúmulo

de água e proliferação de criadouros. O processo de urbanização acelerada e frequentemente desordenada, aliado à infraestrutura urbana deficiente e à desigualdade social, intensifica a presença e a dispersão do *Aedes aegypti* (CARVALHO; SOUZA; BARCELLOS, 2023).

Em 2024, a região concentrou algumas das maiores taxas de incidência do país, com destaque para estados como Bahia, Pernambuco e Ceará. Municípios com baixa cobertura de saneamento, alta densidade populacional urbana e maior vulnerabilidade socioeconômica apresentaram risco elevado de surtos. Além disso, a circulação simultânea de múltiplos sorotipos na região contribuiu para o aumento dos casos graves (SILVA; SOUZA; CARVALHO, 2023; ALMEIDA; COSTA; BARRETO, 2022).

Outro fator agravante é o avanço do desmatamento em áreas estratégicas, especialmente na zona de transição entre a Caatinga e a Mata Atlântica. Essa modificação dos ecossistemas favorece a adaptação do vetor a novos ambientes, ampliando a área de ocorrência da doença. A conversão de florestas em áreas urbanas ou agrícolas cria novas interfaces entre humanos e vetores, aumentando a probabilidade de manutenção e expansão da cadeia de transmissão (SILVA; SOUZA; CARVALHO, 2023; ALMEIDA; COSTA; BARRETO, 2022).

### 3.4 Ferramentas de análise espacial na epidemiologia

A análise espacial tem desempenhado um papel fundamental na epidemiologia contemporânea, permitindo a identificação de padrões geográficos na ocorrência de doenças e fornecendo subsídios para o planejamento de intervenções em saúde pública (SOUZA et al., 2018). Entre as principais ferramentas utilizadas, destacam-se o *Índice de Moran* e os *Indicadores Locais de Associação Espacial (LISA)*, que permitem investigar se a distribuição de um fenômeno no espaço é aleatória ou apresenta autocorrelação espacial.

O *Índice de Moran*, proposto por Patrick Moran (1950), é uma medida global que indica a presença de agrupamentos espaciais (*clusters*). Valores positivos indicam que áreas com altas (ou baixas) taxas tendem a estar próximas de áreas com taxas semelhantes, enquanto valores negativos sugerem padrões de dispersão (ANSELIN, 1995). Estudos sobre dengue no Brasil têm demonstrado que o uso do Moran permite identificar regiões críticas de transmissão, direcionando recursos para áreas prioritárias (LIMA-CAMARA, 2020).

Os *Indicadores Locais de Associação Espacial (LISA)*, desenvolvidos por Anselin (1995), complementam o Moran global ao identificar *clusters* locais e *outliers* espaciais. Essa abordagem possibilita a distinção de áreas de alto risco (*hotspots*) e baixo risco (*coldspots*), com grande aplicabilidade no mapeamento de doenças infecciosas como a dengue (SILVA; SOUZA; CARVALHO, 2022).

Além dessas medidas, técnicas como a estatística *Getis-Ord Gi\** têm sido empregadas para identificar concentrações significativas de valores altos ou baixos no espaço, sendo particularmente úteis para análise de surtos (GETIS; ORD, 1992). Ferramentas computacionais como o GeoDa® e softwares estatísticos como o R, com pacotes especializados (*spdep*, *sf*), têm facilitado a aplicação dessas técnicas em estudos epidemiológicos (CARVALHO; SOUZA; BARCELLOS, 2021).

A literatura demonstra que essas ferramentas são indispensáveis para com-

preender a dinâmica espacial de doenças transmitidas por vetores. Por exemplo, (ALMEIDA; COSTA; BARRETO, 2022) utilizaram o Índice de Moran e o LISA para analisar a distribuição de dengue em áreas urbanas do Nordeste brasileiro, identificando *clusters* de alto risco associados a condições ambientais e socioeconômicas. (BHATT et al., 2013) destacam que o uso de análises espaciais em nível global também tem sido crucial para projetar a expansão geográfica da dengue e orientar estratégias de controle.

Portanto, a incorporação de análises espaciais em estudos epidemiológicos permite não apenas a visualização de padrões, mas também a formulação de hipóteses sobre determinantes sociais e ambientais que influenciam a propagação de doenças como a dengue.

## 4 Metodologia

### 4.1 Local de estudo

O presente estudo foi realizado na região Nordeste do Brasil, composta por nove estados: Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe. A região possui uma área territorial de aproximadamente 1.554.257 km<sup>2</sup> e população estimada em 57.667.842 habitantes, conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022). A densidade demográfica média é de 37,11 habitantes/km<sup>2</sup>, variando entre áreas urbanas densamente povoadas e regiões rurais menos ocupadas. As características climáticas predominantes são o clima tropical úmido no litoral e semiárido no interior, influenciando diretamente a proliferação do *Aedes aegypti* e, consequentemente, a dinâmica da transmissão da dengue.

### 4.2 Dados

Os dados sobre os casos de dengue foram obtidos do Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN), disponível na plataforma Open DataSUS (<<https://opendatus.saude.gov.br/>>). Foram incluídos apenas os casos confirmados, após filtragem e limpeza para remoção de registros duplicados e inconsistentes. As informações sobre desmatamento foram extraídas do Projeto de Monitoramento do Desmatamento no Brasil (PRODES), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). A população residente por município foi obtida junto ao IBGE (Censo 2022), utilizada para o cálculo das taxas de incidência por 100.000 habitantes.

As análises e o processamento inicial dos dados foram realizados no software R (versão 4.3.2), com os pacotes `tidyverse`, `sf`, `spdep` e `geobr`. As bases cartográficas foram obtidas do IBGE e processadas com o pacote `geobr` para atualização dos limites municipais. O nível de significância estatística adotado foi de 5% (nível de confiança de 95%).

### 4.3 Análise espacial

A análise espacial foi conduzida em três etapas principais, com o objetivo de identificar padrões de distribuição espacial da dengue e explorar associações com variáveis ambientais como o desmatamento.

#### 4.3.1 Estimador Bayesiano Empírico

Inicialmente, aplicou-se o estimador Bayesiano empírico proposto por (MARSHALL; MCGHEE, 1991) para suavização das taxas brutas de incidência, reduzindo a variabilidade em municípios com pequenas populações. O estimador é dado por:

$$\hat{\theta}_i = C_i Y_i + (1 - C_i) \mu$$

onde:

- $Y_i$ : taxa observada no município  $i$ ;
- $\mu$ : taxa média global;

- $C_i$ : fator de ponderação dependente do tamanho populacional.

#### 4.3.2 Índice de Moran Global

Para avaliar a presença de autocorrelação espacial global na incidência da dengue, foi utilizado o Índice de Moran Global (MORAN, 1948), calculado conforme a expressão:

$$I = \frac{n}{S_0} \frac{\sum_i \sum_j w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}$$

em que:

- $n$ : número de municípios;
- $w_{ij}$ : elementos da matriz de pesos espaciais;
- $x_i, x_j$ : valores observados;
- $\bar{x}$ : média global da variável;
- $S_0$ : soma de todos os pesos espaciais.

A significância do índice foi avaliada por permutações aleatórias (999 repetições).

#### 4.3.3 Índice de Moran Local (LISA)

Para identificar agrupamentos locais, utilizou-se o Índice de Moran Local ou Local Indicators of Spatial Association (LISA), conforme (ANSELIN, 1995). Essa técnica classifica os municípios em quatro categorias:

- **Alto-Alto**: alta incidência cercada por municípios com alta incidência;
- **Baixo-Baixo**: baixa incidência cercada por municípios com baixa incidência;
- **Alto-Baixo**: alta incidência cercada por baixa incidência;
- **Baixo-Alto**: baixa incidência cercada por alta incidência.

Os resultados foram apresentados em mapas temáticos para visualização das áreas críticas.

#### 4.3.4 Autocorrelação espacial bivariada

Para explorar a relação entre a incidência de dengue e o desmatamento, aplicou-se o Índice de Moran Bivariado, dado por:

$$I_{xy} = \frac{n}{S_0} \frac{\sum_i \sum_j w_{ij} (x_i - \bar{x})(y_j - \bar{y})}{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}$$

em que  $x_i$  e  $y_j$  representam, respectivamente, as variáveis de incidência de dengue e taxa de desmatamento.

#### **4.4 Ferramentas computacionais**

As análises espaciais foram realizadas utilizando:

- R (versão 4.3.2): análise estatística e espacial;
- GeoDa (versão 1.20): cálculos do Índice de Moran e LISA;
- QGIS (versão 3.28): construção e refinamento de mapas temáticos.

## 5 Resultados

Entre os casos analisados no Nordeste, foram diagnosticadas 208.131 pessoas com dengue de 01 de janeiro de 2024 até 30 de outubro 2024, conforme apresentado na Tabela 1, observamos uma divisão equilibrada entre os sexos, com a maioria sendo de pessoas do sexo feminino, correspondendo a 55,94% dos casos, e o restante (44,06%) sendo masculino. Esse equilíbrio sugere uma distribuição relativamente uniforme de casos de dengue entre os gêneros.

Em relação aos sintomas, a febre foi o mais prevalente, afetando 89,31% dos pacientes, seguido de cefaléia em 82,82% e mialgia em 78,86% dos casos, destacando esses sintomas como sinais principais da doença. Outros sintomas como náuseas (43,37%), vômitos (31,75%) e dor retro-orbital (29,90%) também foram notavelmente comuns, embora menos frequentes. Sintomas menos comuns incluíram conjuntivite (4,17%), leucopenia (3,92%) e resultado positivo na prova do laço (2,45%).

No que se refere a comorbidades, a hipertensão foi a condição pré-existente mais comum, afetando 6,94% dos pacientes, seguida por diabetes (2,80%). Outras condições como doenças hematológicas, hepáticas e renais crônicas apresentaram prevalência inferior a 1% cada. Observa-se, assim, uma diversidade de comorbidades que podem influenciar a progressão e gravidade da dengue nesses pacientes.

A análise racial revelou que a maioria dos pacientes se identifica como parda (78,35%), seguida pelos que se identificam como brancos (13,24%). Pacientes que se identificam como pretos correspondem a 6,71%, e aqueles que se identificam como amarelos e indígenas representam, juntos, menos de 2% dos casos. Em relação à necessidade de hospitalização, observa-se que a grande maioria (93,02%) dos casos não necessitou de internação, sugerindo que a maioria dos casos teve evolução leve ou moderada. No entanto, 6,98% dos pacientes foram hospitalizados, indicando que uma parcela menor apresentou quadros mais graves da doença.



Tabela 1: Caracterização dos casos notificados de dengue no Nordeste, Brasil.

<b>Variável/Categoria</b>	<b>Frequência</b>	<b>Percentual</b>
<b>Sexo (n = 207.999)</b>		
Feminino	116.246	55,94
Masculino	91.553	44,06
<b>Sintomas (n = 208.131)</b>		
Febre	185.876	89,31
Mialgia	164.136	78,86
Cefaleia	172.369	82,82
Exantema	25.419	12,21
Vômito	66.091	31,75
Náusea	90.261	43,37
Dor nas costas	60.158	28,90
Conjuntivite	8.684	4,17
Artrite	21.285	10,23
Artralgia	38.756	18,62
Petéquias	16.752	8,05
Leucopenia	8.169	3,92
Prova do laço	5.108	2,45
Dor retroorbital	62.240	29,90
<b>Comorbidades (n = 208.131)</b>		
Diabetes	5.825	2,80
Doenças hematológicas	1.353	0,65
Hepatopatias	1.437	0,69
Doença renal crônica	1.064	0,51
Hipertensão	14.453	6,94
Doença ácido-péptica	1.485	0,71
Autoimune	1.200	0,58
<b>Raça (n = 157.930)</b>		
Branca	20.911	13,24
Preta	10.595	6,71
Amarela	2.018	1,28
Parda	123.732	78,35
Indígena	674	0,43
<b>Hospitalização (n = 135.392)</b>		
Sim	9.445	6,98
Não	125.947	93,02
<b>Evolução (n = 189.022)</b>		
Cura	188.920	99,95
Óbito por Agravamento	49	0,03
Óbito por Outras Causas	39	0,02
Óbito em Investigação	14	0,01
<b>Critério (n = 208.131)</b>		
Laboratório	52.740	25,34
Clínico-Epidemiológico	155.391	74,66

A **Figura 1** ilustra a incidência de casos de dengue por 100.000 habitantes nos municípios da região Nordeste em 2024. O primeiro mapa (**Figura 1A**) utiliza o Índice Bayesiano para suavizar a progressão da incidência, garantindo uma distribuição mais equilibrada dos casos. O gradiente de cores vermelhas reflete as maiores taxas de incidência, destacando os municípios mais afetados.

Os municípios com as maiores incidências estão concentrados principalmente no estado da Bahia, incluindo: **Barra do Choça** (18.219,38 casos/100.000 habitantes), **Caetité** (16.081,32), **Piripá** (11.657,88), **Jacaraci** (11.078,94) e **Botuporã** (10.038,81). Em contraste, os menores índices foram registrados em **Belo Jardim** (1,20), **Viana** (1,89) e **Vargem Grande** (2,25). Ressalta-se que essa análise considera apenas os municípios com pelo menos um caso registrado.

Por outro lado, os municípios sem registros de dengue, que apresentam incidência igual a zero, concentram-se principalmente no estado do **Piauí**, com 68 municípios sem casos, seguido pelo **Rio Grande do Norte** (43), **Paraíba** (41) e **Maranhão** (39). Entre os 1.793 municípios nordestinos analisados, 242 não apresentaram registros confirmados de casos de dengue no período de janeiro a outubro de 2024.

A **Figura 1B** apresenta o **Lisa Map (Local Indicator of Spatial Association)**, que identifica padrões espaciais de associação entre municípios e seus vizinhos, utilizando cores para representar diferentes cenários de influência espacial separados em quatro quadrantes (Q) com base em suas taxas e médias vizinhas: Q1 (**Alto/Alto**: municípios com uma alta taxa e alta média nos municípios vizinhos), Q2 (**Baixo/Baixo**: municípios com baixas taxas e uma baixa média nos municípios vizinhos), Q3 (**Alto/Baixo**: municípios com altas taxas e uma baixa média nos municípios vizinhos) e Q4 (**Baixo/Alto**: municípios com baixas taxas e uma alta média nos municípios vizinhos).

Os municípios destacados em vermelho totalizam 100, concentrando-se majoritariamente no estado da **Bahia**, com 94 municípios, seguidos pelo **Piauí** (4), **Ceará** (1) e **Paraíba** (1). Já os municípios em azul somam 316, com maior prevalência nos estados do **Ceará** (80) e **Maranhão** (82).

As estatísticas de varredura espacial (**Figura 1C**) identificaram aglomerados espaciais de alto risco para casos de dengue, totalizando 228 municípios com risco relativo (RR) significativo. Dentre eles, 98 municípios apresentaram um RR superior a 4,54, estando predominantemente localizados no estado da **Bahia**, que concentra 83 desses municípios. Este padrão destaca a Bahia como uma área crítica para a incidência de casos de dengue.

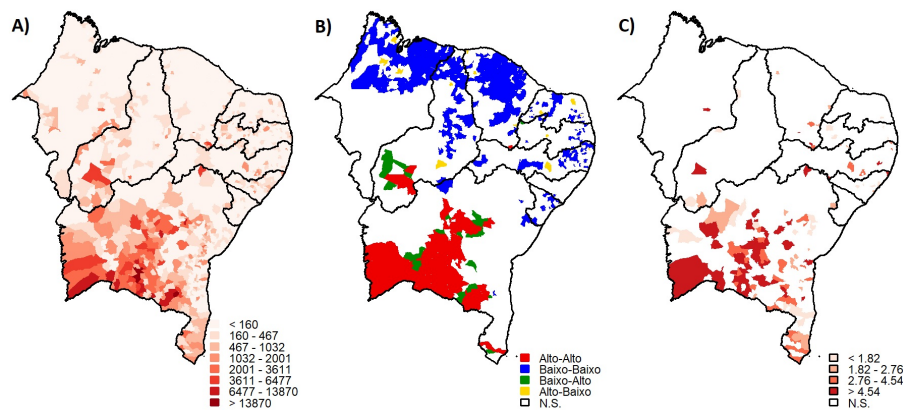


Figura 1: (A) Incidência de casos de dengue por 100.000 habitantes; (B) Distribuição espacial da incidência de casos de dengue, utilizando o Mapa I de Moran; (C) Risco relativo da incidência de casos de dengue no Brasil.

A **Figura 2**, apresenta a incidência do desmatamento (**Figura 2A**) e a análise espacial bivariada entre a incidência estimada de dengue e o desmatamento (**Figura 2B**) na região Nordeste, que revelou padrões importantes de autocorrelação espacial local e global. No total, foram identificados 55 municípios classificados como clusters “Alto-Alto” (altos valores tanto de dengue quanto de desmatamento, e vizinhos também com altos valores), 456 municípios em “Baixo-Alto” (baixo dengue com vizinhos de alto desmatamento), 77 em “Alto-Baixo” e 417 em “Baixo-Baixo”. Estes clusters refletem diferentes padrões espaciais entre a incidência da doença e as alterações ambientais.

A distribuição espacial dos clusters mostrou que, entre os municípios “Baixo-Alto”, a maior concentração ocorreu no **Piauí** (174 municípios), seguido pelo **Ceará** (110 municípios) e **Maranhão** (75 municípios). Os estados de **Paraíba**, **Pernambuco**, **Bahia** e **Rio Grande do Norte** apresentaram também municípios nesta categoria, porém em menor número. Já entre os municípios classificados como “Alto-Baixo”, a **Bahia** destacou-se com 50 municípios, representando a maior parcela dessa categoria. Quanto aos municípios com maior índice local de Moran bivariado ( $I_{i,local}$ ), destacaram-se diversos municípios importantes com diferentes níveis de significância estatística. Dentre os dez primeiros, três pertencem a **Pernambuco**: Solidão, classificado como cluster “Alto-Alto”, com  $I_{i,local}$  de 6,49 e valor- $p$  de 0,04; Cedro, com  $I_{i,local}$  de 5,31 e valor- $p$  de 0,03; e Tuparetama, com  $I_{i,local}$  de 2,91 e valor- $p$  de 0,02, todos com indicativos de autocorrelações locais positivas, embora apenas Solidão esteja classificado como cluster “Alto-Alto”.

Três municípios são do **Maranhão**: São João dos Patos, cluster “Alto-Alto”, com  $I_{i,local}$  de 5,12 e valor- $p$  de 0,008; Benedito Leite, também cluster “Alto-Alto”, com  $I_{i,local}$  de 3,93 e valor- $p$  de 0,15; e Pastos Bons, igualmente classificado como cluster “Alto-Alto”, com  $I_{i,local}$  de 3,03 e valor- $p$  de 0,04.

No **Ceará**, Altaneira destacou-se como cluster “Alto-Alto”, apresentando  $I_{i,local}$  de 4,08 e valor- $p$  de 0,12.

Na **Bahia**, os municípios de Cocos, com  $I_{i,local}$  de 4,02 e valor- $p$  de 0,04, e Piripá, com  $I_{i,local}$  de 3,87 e valor- $p$  de 0,13, apresentaram altos índices locais, embora não tenham sido classificados como clusters “Alto-Alto”.

Por fim, no **Piauí**, Poço Dantas apresentou o maior índice local, com  $I_{i,local}$  de 6,61, porém não significativo (valor- $p$  de 0,37).

Esses municípios com altos valores locais indicam áreas com correlação espacial bivariada positiva, embora alguns ainda apresentem significância estatística limitada.

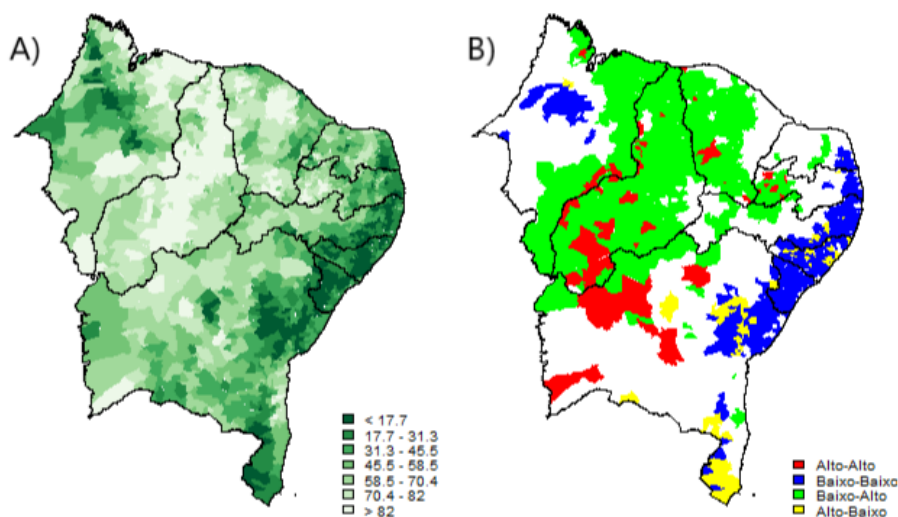


Figura 2: (A) Incidência do desmatamento na região Nordeste; (B) Análise de autocorrelação espacial bivariada (LISA bivariado) entre incidência de dengue e desmatamento.

A análise global por estado, realizada por meio do índice de Moran bivariado com bootstrap, indicou que os estados da **Bahia** (BA) e **Pernambuco** (PE) apresentaram os maiores índices de associação espacial entre dengue e desmatamento. Para a **Bahia**, o índice original foi 0,1214, com viés negativo de -0,1212 e erro padrão de 0,0225, enquanto para **Pernambuco**, o índice original foi 0,1257, com viés negativo de -0,1267 e erro padrão de 0,0361. Estes resultados reforçam a existência de associação espacial positiva e significativa entre a incidência da dengue e desmatamento especialmente nesses estados.

### 5.1 Discussões

Os resultados obtidos revelaram padrões espaciais significativos da incidência de dengue no Nordeste, com maior concentração de casos e clusters de alto risco localizados predominantemente no estado da Bahia. Essa concentração está alinhada a estudos prévios que apontam o papel de fatores ambientais, como precipitação elevada e temperaturas médias anuais mais altas, associados à proliferação do *Aedes aegypti* (MARTINS et al., 2021; ALMEIDA; COSTA; BARRETO, 2022).

A associação positiva encontrada entre incidência de dengue e áreas com maior desmatamento, especialmente na Bahia, sugere que a degradação ambiental pode estar ampliando a vulnerabilidade epidemiológica. Esse achado está em consonância com Confalonieri, Marinho e Rodriguez (2015), que indicam que mudanças no uso do solo podem favorecer a adaptação do vetor a novos ambientes, ampliando sua distribuição geográfica.

Embora as análises tenham revelado padrões robustos, é importante considerar que a subnotificação de casos, a qualidade das informações do SINAN e a defasagem temporal dos dados de desmatamento podem ter influenciado os resultados. Além disso, fatores socioeconômicos, infraestrutura de saneamento e mobilidade populacional não foram diretamente incluídos nos modelos espaciais, mas provavelmente desempenham papel relevante na dinâmica da doença.

## **6 Conclusão**

Os resultados deste estudo evidenciam que, em 2024, a dengue manteve-se como um grave problema de saúde pública no Nordeste brasileiro, com destaque para a Bahia como principal área de concentração de casos e clusters de alto risco. A análise espacial demonstrou padrões geográficos definidos na distribuição da doença e associação positiva significativa entre a incidência de dengue e o desmatamento, especialmente na Bahia. Esses achados reforçam a importância de estratégias de vigilância e controle direcionadas, considerando a interação entre fatores ambientais e socioeconômicos para o enfrentamento da doença na região.

## 7 Perspectivas de futuros trabalhos

Este estudo abre caminho para investigações mais abrangentes sobre a relação entre dengue e fatores ambientais no Nordeste brasileiro. Entre as possíveis linhas de continuidade, destacam-se:

- **Incorporação de variáveis climáticas** (temperatura, precipitação, umidade) em modelos de análise espacial-temporal, para compreender melhor a influência das condições meteorológicas sobre a distribuição da doença.
- **Análises multivariadas** que incluam indicadores socioeconômicos, infraestrutura de saneamento e mobilidade urbana para identificar determinantes adicionais da transmissão.
- **Estudos temporais de séries históricas** para verificar a persistência dos padrões espaciais identificados ao longo dos anos e prever áreas de risco futuro.
- **Aplicação de modelos preditivos com aprendizado de máquina** para identificar municípios prioritários para intervenção antes de novos surtos.
- **Expansão da análise para outras arboviroses**, como chikungunya e zika, investigando possíveis sobreposições espaciais e determinantes comuns.

O aprofundamento dessas linhas de pesquisa poderá contribuir para a formulação de estratégias mais eficientes de prevenção e controle, aliando evidências científicas à gestão integrada em saúde pública.

## Referências

- ALMEIDA, C. F.; COSTA, J. M.; BARRETO, F. R. Análise espacial da dengue: importância para o planejamento em saúde pública. *Cadernos de Saúde Coletiva*, v. 30, n. 2, p. 211–220, 2022. 10, 11, 12, 20
- ANSELIN, L. Local indicators of spatial association—lisa. *Geographical Analysis*, v. 27, n. 2, p. 93–115, 1995. 11, 14
- BARRETO, M. L. et al. Successes and failures in the control of infectious diseases in brazil: social and environmental context, policies, interventions, and research needs. *The Lancet*, v. 372, p. 1964–1976, 2008. 9, 10
- BHATT, S. et al. The global distribution and burden of dengue. *Nature*, v. 496, p. 504–507, 2013. 12
- BRAGA, I. A.; VALLE, D. *Aedes aegypti*: histórico do controle no brasil. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, v. 16, n. 2, p. 113–118, 2007. 9, 10
- CARVALHO, M. S.; SOUZA, W. V.; BARCELLOS, C. Análises espaciais em saúde pública: métodos e aplicações. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, v. 24, p. e210001, 2021. 11
- CARVALHO, M. S.; SOUZA, W. V.; BARCELLOS, C. Análises espaciais em saúde pública: métodos e aplicações. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, v. 24, p. e210001, 2023. 11
- CARVALHO, M. S.; SOUZA, W. V.; BARCELLOS, C. Dinâmica espaço-temporal da dengue no brasil: desafios recentes e perspectivas futuras. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, v. 28, p. e250001, 2025. 10
- CONFALONIERI, U. E. C.; MARINHO, D. P.; RODRIGUEZ, R. E. Mudanças climáticas e saúde: perspectivas para o brasil. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 31, p. 447–450, 2015. 10, 20
- GETIS, A.; ORD, J. K. The analysis of spatial association by use of distance statistics. *Geographical Analysis*, v. 24, n. 3, p. 189–206, 1992. 11
- GUBLER, D. J. Dengue, urbanization and globalization: the unholy trinity of the 21st century. *Tropical Medicine and Health*, v. 39, n. 4 Suppl, p. 3–11, 2011. 9, 10
- HONÓRIO, N. A. et al. Temporal distribution of *aedes aegypti* in different districts of rio de janeiro, brazil, measured by two types of traps. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, v. 104, n. 5, p. 837–843, 2009. 9
- LIMA-CAMARA, T. N. Emerging arboviruses and public health challenges in brazil. *Revista de Saúde Pública*, v. 50, n. 36, p. 1–7, 2016. 9
- LIMA-CAMARA, T. N. Emerging arboviruses and public health challenges in brazil. *Revista de Saúde Pública*, v. 50, n. 36, p. 1–7, 2020. 11



- MARSHALL, J. S.; MCGHEE, J. R. Dengue and dengue hemorrhagic fever: a global perspective. *Emerging Infectious Diseases*, v. 1, n. 1, p. 1–7, 1991. 13
- MARTINS, V. E. P. et al. Dengue in the brazilian northeast: spatio-temporal dynamics and climate variability. *Tropical Medicine and International Health*, v. 26, n. 4, p. 453–461, 2021. 10, 20
- Ministério da Saúde. *Casos graves e óbitos por dengue no Brasil, 2019 a 2022*. 2022. Acesso em: 14 ago. 2025. Disponível em: <<https://www.gov.br/saude/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/boletins/epidemiologicos/edicoes/2022/boletim-epidemiologico-vol-53-no20>>. 10
- Ministério da Saúde. *Boletim Epidemiológico de Arboviroses – Semana Epidemiológica 26 de 2024*. 2024. <<https://www.gov.br/saude/pt-br>>. Acesso em: 10 ago. 2025. 10
- MORAN, P. A. P. The interpretation of statistical maps. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, v. 10, n. 2, p. 243–251, 1948. 14
- OLIVEIRA, V. B. de. *Dengue no Brasil: desafios na vacinação e a necessidade de ações coordenadas*. 2024. Acesso em: 14 ago. 2025. Disponível em: <<https://www.gazetadopovo.com.br/opiniaao/artigos/dengue-brasil-desafios-vacinacao-aco-es-coordenadas/>>. 10
- Pan American Health Organization. *Epidemiological Update: Dengue in the Region of the Americas – 2024*. 2024. <<https://www.paho.org/en>>. Acesso em: 10 ago. 2025. 10
- SILVA, A. B.; SOUZA, L. S.; CARVALHO, M. S. Análise espacial aplicada à saúde: ferramentas e perspectivas. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, v. 25, p. e230022, 2022. 11
- SILVA, A. B.; SOUZA, L. S.; CARVALHO, M. S. Análise espacial aplicada à saúde: ferramentas e perspectivas. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, v. 26, p. e230022, 2023. 11
- SOUZA, W. V. et al. Aplicação de técnicas de análise espacial na investigação de doenças transmissíveis. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 34, n. 2, p. e00074917, 2018. 11
- TEIXEIRA, M. G.; BARRETO, M. L.; GUERRA, Z. Epidemiologia e medidas de prevenção da dengue. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 25, n. Supl 1, p. S7–S18, 2009. 10
- TEIXEIRA, M. G. et al. Epidemiologia e medidas de prevenção da dengue. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 36, n. 4, p. e00073819, 2020. 9, 10

## **8 Outras Atividades**

No último ano, além de participar do PIBIC, dediquei-me a atividades voltadas ao aprimoramento da minha formação acadêmica. Nesse período, tive a oportunidade de ampliar meus conhecimentos por meio de diversas disciplinas, incluindo Matemática Financeira, Análise Multivariada I e II, Modelos Lineares Generalizados, Métodos Quantitativos em Econometria II, Controle Estatístico de Qualidade e Estatística Computacional.