

VII-291 - PADRÕES ESTATÍSTICOS DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE DENGUE NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO ENTRE 2014 E 2021

Thiago Teixeira Mendonça⁽¹⁾

Mestrando em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos na Universidade de Brasília (PTARH/UnB).

Stephanie Iris Graciano Pinto⁽²⁾

Doutoranda em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos na Universidade de Brasília (PTARH/UnB).

Carlos Henrique Ribeiro Lima⁽³⁾

Professor associado ao departamento de Engenharia Civil e Ambiental e vinculado ao Programa de Pós Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos na Universidade de Brasília (PTARH/UnB).

Endereço⁽¹⁾: Campus Universitário Darcy Ribeiro, Anexo SG-12 – Asa Norte – Brasília - DF - CEP: 70.910-900 - Brasil - e-mail: thiagomendonca26@gmail.com.

RESUMO

O cenário de aumento de casos globais da doença da dengue, proporcionada por uma série de fatores, dentre os quais estão as mudanças climáticas, vem proporcionando um aumento na preocupação dos órgãos com os efeitos da doença ao redor do mundo (Sousa et al., 2018; WHO, 2019). Estudos recentes vêm expandindo o conhecimento sobre a epidemiologia da dengue e os motivos por trás dela (Nuraini et al., 2021; Oliveira et al., 2023; Ribeiro et al., 2021). Neste contexto, o objetivo do presente trabalho foi encontrar e compreender padrões estatísticos da doença, além da distribuição espaço-temporal dos casos nos municípios do Rio de Janeiro entre os anos de 2014 e 2021. Para isso, os dados de casos de dengue foram organizados de duas formas distintas, que foram comparadas durante e ao final do documento: a contagem do total de meses epidêmicos que ocorreram ao longo dos anos e as incidências ao longo dos anos, para cada município. A partir destes dados foram aplicadas técnicas de análise exploratória e testes de hipóteses com base na estatística I de Moran. Os resultados obtidos corroboram com a literatura, demonstrando que o clima é um fator que possui grande correlação com a doença da dengue, uma vez que as epidemias observadas ocorreram com mais frequência nos períodos de regime de chuvas mais intensas e temperaturas mais elevadas no local de estudo. Ademais, obteve-se relevantes contribuições quanto aos padrões espaciais de distribuição de casos, observando-se exemplos de agrupamento de municípios com incidências elevadas na região oeste do estado. Portanto, este trabalho é relevante para o aprofundamento da discussão sobre o tema em estudos futuros.

PALAVRAS-CHAVE: Dengue, Estatística espacial, Epidemiologia, Saúde Pública.

INTRODUÇÃO

A dengue é um dos dez principais riscos à saúde humana, de acordo com a Organização Mundial da Saúde (WHO, 2019). Sua transmissão ocorre através de mosquitos fêmeas do gênero *Aedes*, em sua maioria da espécie *Aedes aegypti*, infectadas pelo vírus da dengue (DENV). Os mesmos mosquitos podem transmitir as doenças da Zika e Chikungunya se infectados pelos vírus correspondentes (ZIKV e CHIKV). Cinco diferentes tipos imunológicos existem atualmente para a dengue - DEN-1, DEN-2, DEN-3, DEN-4 e DEN-5 - e, entre os sintomas mais comuns da doença, tem-se: dor de cabeça, náusea, febre e dores nas articulações, músculos e ossos, motivo pelo qual seu outro nome em inglês é "breakbone fever" (WHO, 2023).

A transmissão da dengue ocorre através de mosquitos fêmeas do gênero *Aedes*, em sua maioria da espécie *Aedes aegypti*, infectadas pelo vírus da dengue (DENV). Estes mesmos mosquitos podem também hospedar e transmitir as doenças da Zika e Chikungunya se infectados pelos vírus correspondentes (ZIKV e CHIKV). Os mosquitos desse gênero se reproduzem em meios com água parada e seu desenvolvimento é potencializado em temperaturas ambientes mais altas, próximas dos 35°C. Por esses motivos, é categorizada como uma doença sensível ao clima (DSC), uma denominação de doenças que possuem relação direta entre sua ocorrência e aspectos climáticos, como índices de chuva e temperatura elevadas (Sousa et al., 2018). Estudos realizados nos



últimos 20 anos têm observado aumentos na incidência de OSCs devido às mudanças climáticas, além do reaparecimento e surgimento de novas doenças (Zezzo et al, 2021).

Além das condições climáticas, um fator recorrentemente relacionado à epidemiologia da dengue são as condições precárias de saneamento básico. Múltiplos autores tratam qualitativamente sobre o efeito da falta de saneamento no aumento da incidência da doença (Nuraini et al., 2021; Oliveira et al., 2023; Ribeiro et al., 2021). Apesar disso, ainda há uma carência de estudos que realizam análises quantitativas comparando os efeitos do acesso, ou falta de, a condições propícias de saneamento básico. Fatores sociais e econômicos também são recorrentemente correlacionados com a incidência da dengue.

A Epidemiologia é, segundo Last (2001), “o estudo da distribuição e dos determinantes de estados ou eventos relacionados à saúde em populações específicas, e sua aplicação na prevenção e controle dos problemas de saúde” (apud Bonita; Beaglehole; Kjellström, 2010). Dentre os papéis da Epidemiologia, pode-se citar a busca pela compreensão de doenças, suas distribuições de casos e seus determinantes. Para a realização destas análises, técnicas estatísticas podem ser utilizadas de forma a garantir que as grandes quantidades de dados sejam analisadas de maneira coerente.

Neste contexto, o presente trabalho se propôs a realizar uma análise estatística exploratória com fins de compreender padrões de distribuição de casos de dengue nos municípios do estado do Rio de Janeiro e buscar compreensões quanto aos motivos pela distribuição espacial entre 2014 e 2021. Estes dados serão úteis como base e justificativa em estudos futuros que busquem a compreensão da epidemiologia da doença a nível intermunicipal.

MATERIAIS E MÉTODOS

O recorte temporal foi feito entre os anos de 2014 e o recorte geográfico nos 92 municípios do estado do Rio de Janeiro. Os arquivos de delimitação geográfica e de população estimada para cada município em cada ano foram obtidos através dos bancos de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A figura 1 apresenta a localização da área de estudo

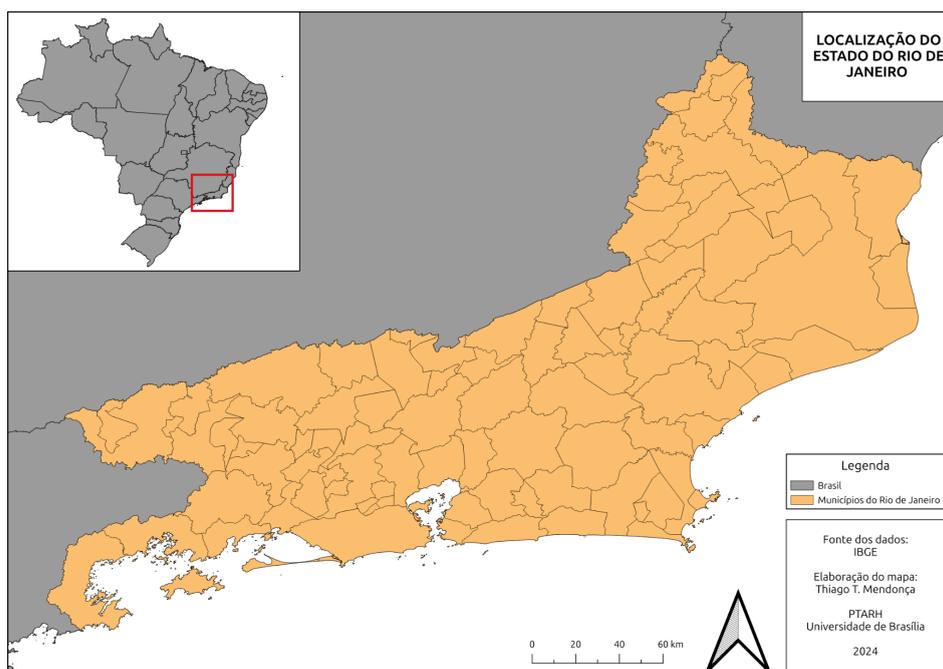


Figura 1: Localização da área de estudo.



Os dados de dengue foram obtidos através do Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN), plataforma vinculada ao Sistema Único de Saúde (SUS) do Brasil. A seleção de dados foi feita conforme as indicações do SINAN: considerou-se como "casos" todos os casos prováveis disponibilizados pela plataforma, sendo descartados os diagnosticados negativamente e utilizou-se o município de residência para definir a localização dos casos.

Para as análises da doença nos municípios utilizou-se os conceitos de incidência, de canal endêmico e de epidemia. A incidência é o número de casos em determinado período dividido pela população. Em geral é expressado em casos/100.000 habitantes. O canal endêmico é utilizado por órgãos da saúde para acompanhamento do comportamento de determinada doença em determinado período de tempo. Uma situação de epidemia ou surto epidêmico ocorre quando o valor observado de casos é acima do limite superior do canal endêmico. A equação aplicada para o cálculo foi a seguinte:

$$\text{Limite superior do canal endêmico} = \mu + (\sigma * 1,96) \quad \text{equação (1)}$$

onde:

μ é a média de casos de dengue em cada mês, em cada município, entre 2014 e 2021;
 σ é o desvio padrão de casos de dengue em cada mês, em cada município, entre 2014 e 2021.

O desvio padrão multiplicado por 1.96 é somado à média de casos de forma que os valores do limite superior destoam do esperado a ponto de serem considerados anomalias, conforme um teste de hipóteses com intervalo de confiança de 95%. Com base neste cálculo realizou-se a comparação entre os casos ocorridos em cada mês, em cada ano, em cada município, com o limite superior do respectivo canal endêmico, obtendo-se como resultado um indicativo se o mês estudado foi considerado epidêmico ou não. Estes dados permitiram a realização de uma análise estatística exploratória quanto à distribuição de meses epidêmicos e de incidência de dengue nos municípios analisados. A contagem de meses epidêmicos é metodologia adaptada de um trabalho de Drumond (2020) realizado no Distrito Federal também analisando estatísticas da dengue no local.

Para realizar a análise geoespacial da distribuição dos parâmetros, aplicou-se o método de I de Moran, que fornece informações sobre a dependência espacial dos parâmetros estudados. Define-se um parâmetro como espacialmente dependente quando sua distribuição espacial não é aleatória. Um valor de Moran igual a 1 indica agrupamento, um valor igual a -1 indica distanciamento e valores mais próximos a zero indicam aleatoriedade na distribuição (Gimond, 2023).

Um teste de hipóteses foi feito, onde a hipótese nula H_0 corresponde à afirmação de que a distribuição do parâmetro estudado é aleatória. A hipótese alternativa H_1 afirma, portanto, que há algum padrão de distribuição. Para isso, comparou-se o valor-p obtido no cálculo com um valor de significância $\alpha = 1\% = 0,01$. Quaisquer valores-p acima de 0,01 são considerados insuficientes para rejeitar a hipótese nula.

O cálculo de I de Moran foi feito com dois valores distintos de entrada. Na primeira aplicação, utilizou-se os valores contabilizados de número total de meses epidêmicos entre 2014 e 2021, por município. Na segunda, utilizou-se os dados de incidência por 100.000 habitantes em cada município, no mês de fevereiro, em cada um dos anos de estudo. Optou-se pelo mês de fevereiro já que este foi o mês com maior pico de epidemias ao longo dos anos.

RESULTADOS OBTIDOS

Ao longo do período de estudo, observou-se entre os 92 municípios do estado do RJ um total de 793 meses considerados epidêmicos. Todos os municípios analisados passaram por ao menos uma epidemia. O valor máximo encontrado de meses epidêmicos por municípios foi igual a 12 e o mínimo foi 3. Os 29 municípios que passaram por 10 ou mais meses epidêmicos ao longo desses anos foram responsáveis por um total de 40% do total de meses epidêmicos observados. A figura 2 apresenta os dados.

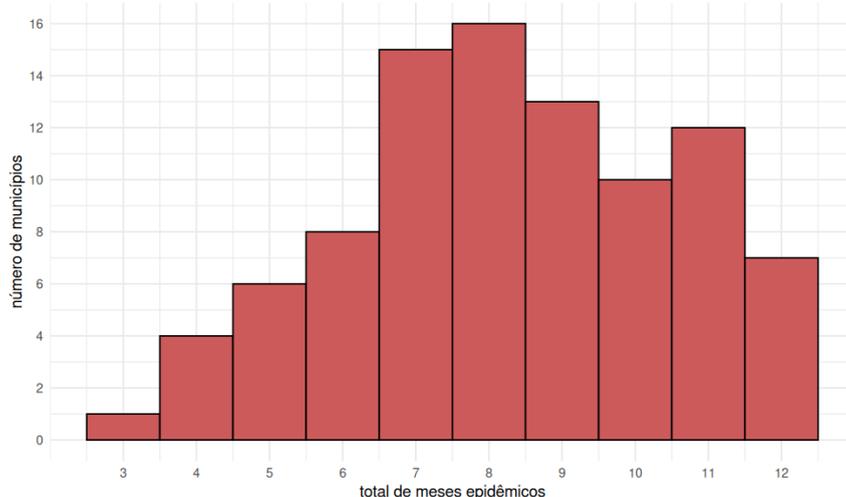


Figura 2: histograma da distribuição de meses epidêmicos totais e a quantidade de municípios correspondentes.

Comparando-se a distribuição do total de meses que foram considerados epidêmicos ao longo dos anos, é possível observar quais foram os períodos do ano em que houve mais epidemias. Os três primeiros meses do ano compõem o trimestre com maior número de meses epidêmicos, se comparado aos outros trimestres (figura 3). Estes três primeiros meses, somados a dezembro, são os meses do ano em que ocorrem os picos nos índices pluviométricos históricos no estado do Rio de Janeiro.

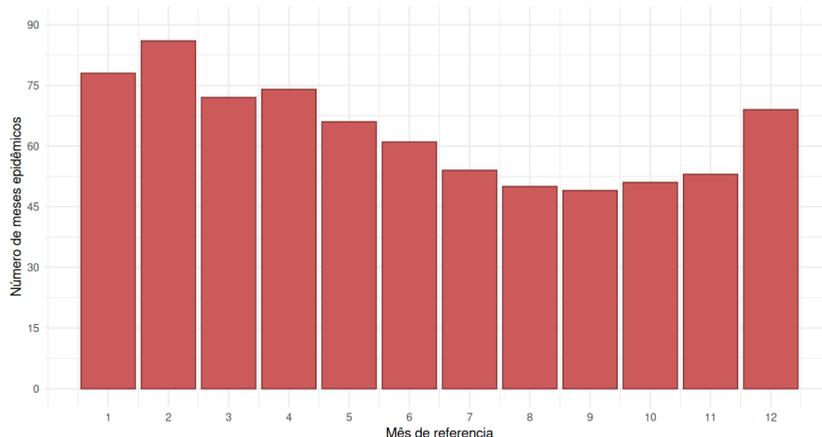


Figura 3: gráfico representando os meses do ano que tiveram mais epidemias ao longo de todo o período de estudo, em todos os municípios.

Outro ponto de interesse neste trabalho foi compreender se haveria alguma relação entre a incidência média de casos em determinado mês, ao longo dos anos, e a ocorrência de meses epidêmicos. Os meses com incidências médias maiores possuem limites superiores do canal endêmico maiores do que os meses com incidências médias menores. Assim, apesar de a proporção ser a mesma, uma pequena flutuação total de casos durante os meses com menor média de casos poderia torná-los epidêmicos, enquanto nos meses com média maior de casos é necessária uma flutuação maior de casos. A semelhança das duas curvas presentes na figura 4 demonstra que os meses com maiores ocorrências de epidemias são também os meses com incidências médias maiores.

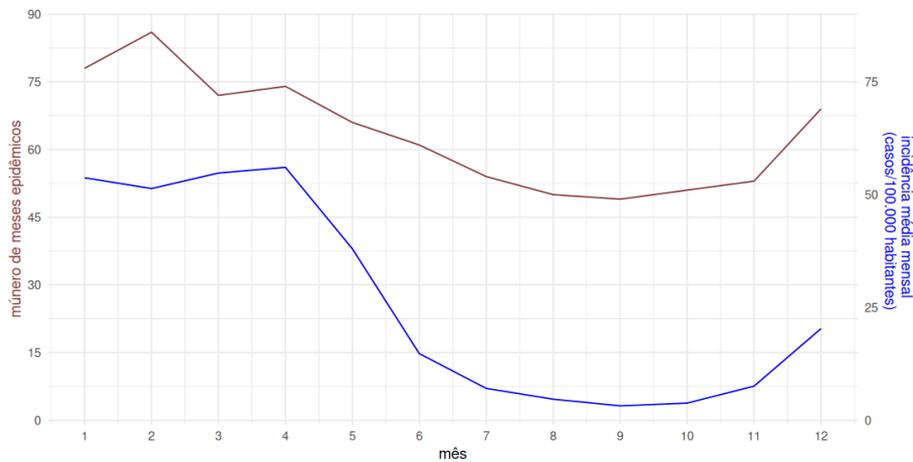


Figura 4: comparativo entre número de meses epidêmicos e incidência média mensal.

Em relação à distribuição de casos ao longo de todo o período estudado, observam-se dois grandes picos de casos entre os anos de 2015 e 2017, além de um pico menor no ano de 2019 (figura 5). Reconhecer estes picos é útil para a realização das análises de distribuição espacial que são apresentadas na sequência.

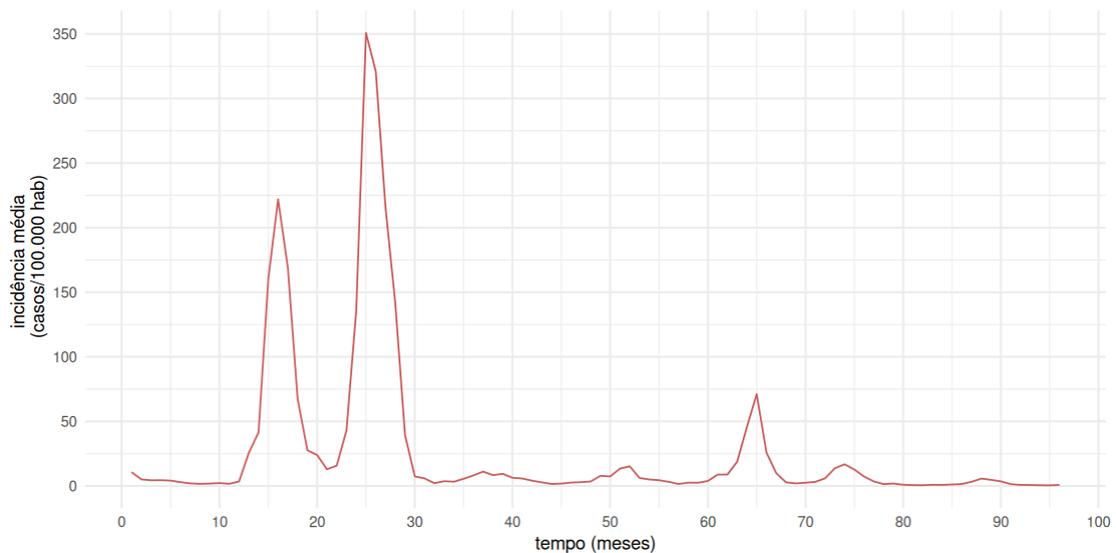


Figura 5: variação da incidência média ao longo do período estudado.

Aplicando o mesmo método anterior para um município específico, neste caso o município de Casimiro de Abreu, um dos que passou por 12 meses epidêmicos durante o período estudado, obtém-se um gráfico semelhante que possibilita visualizar a relação entre o número de casos e o limite do canal endêmico (figura 6)

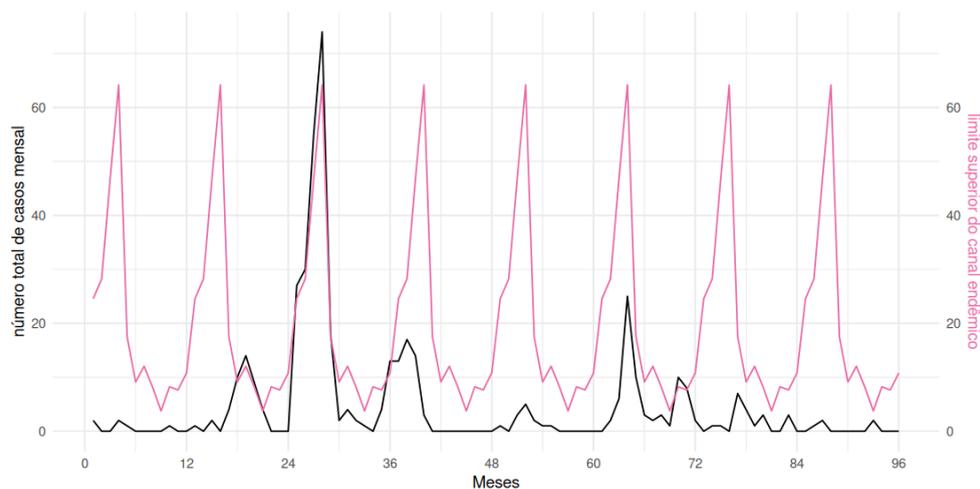


Figura 6: Comparativo entre número de casos e limite superior do canal endêmico da dengue no município de Casimiro de Abreu.

A estatística de I de Moran global aplicada nos dados de meses epidêmicos ao longo dos anos retornou os seguintes resultados: Valor-p = 0,1403 e Estatística I de Moran = 0,064. O valor-p encontrado, equivalente a 14%, é insuficiente para rejeitar a hipótese nula de que a distribuição espacial é aleatória quando comparado a α . Além disso, a estatística I é muito próxima de 0, o que reafirma a aleatoriedade da dispersão. Portanto, analisando-se a distribuição espacial a partir do número de meses epidêmicos que cada município teve, não é possível afirmar que houve um agrupamento espacial de epidemias ao longo dos anos de estudo.

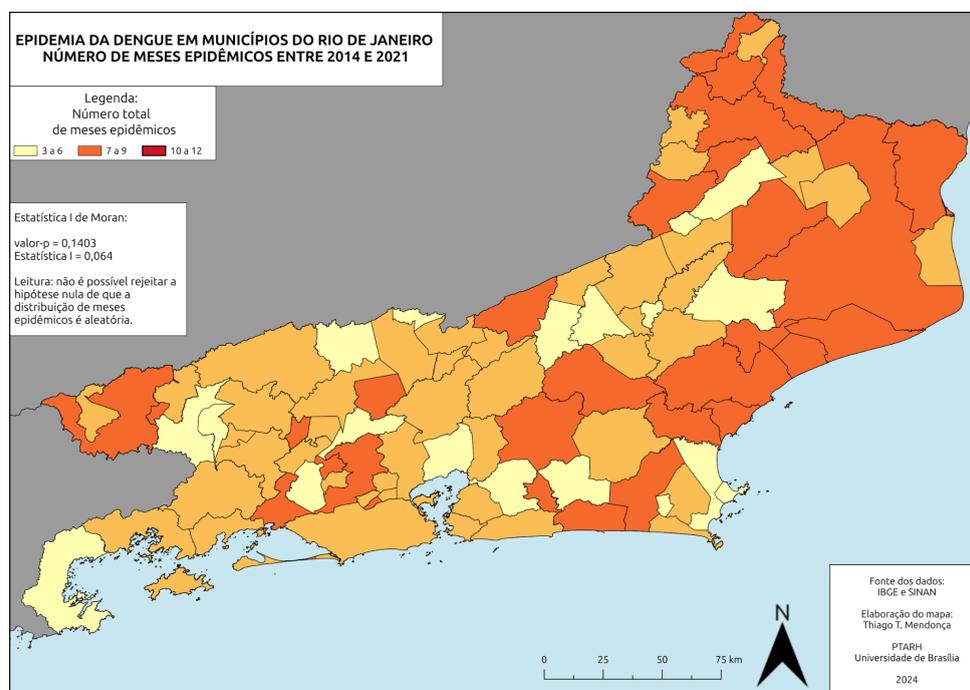


Figura 7: distribuição espacial de dengue conforme o número de meses epidêmicos que cada município passou entre 2014 e 2021.

Apesar de o teste de Moran aplicado à distribuição de meses epidêmicos não ter apresentado resultados significativos, sua aplicação à distribuição de incidência oferece resultados interessantes. Dentre os 8 anos estudados, 3 deles (2014, 2017 e 2020) tiveram valores-p superiores ao limite delimitado de significância (0,01) e foram, portanto, descartados das análises seguintes. A figura 8 apresenta os mapas com as incidências separados em quintis para facilitar a visualização, além dos resultados dos cálculos do teste estatístico.

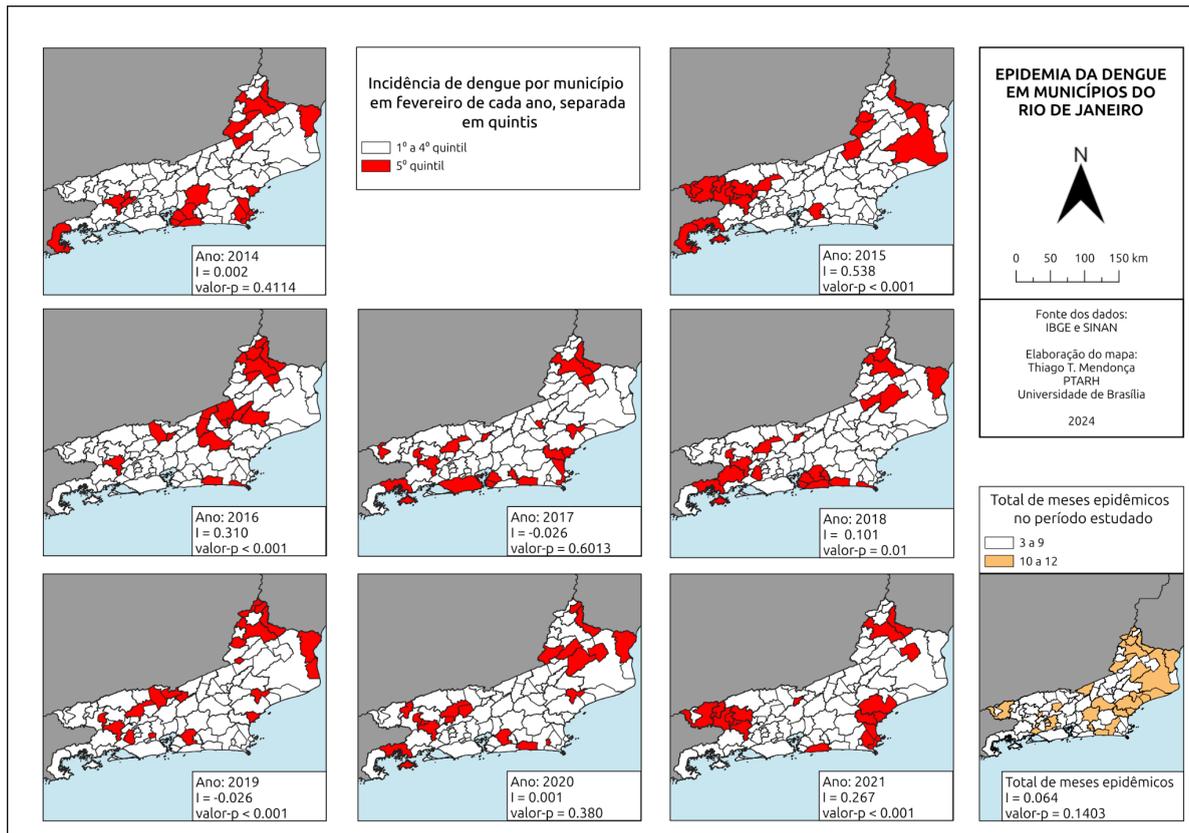


Figura 8: distribuição espacial de dengue conforme a incidência da doença no mês de fevereiro em cada município entre 2014 e 2021.

Entre os anos com valor-p igual ou inferior a 0,01, 3 deles tiveram índices de Moran significativamente maiores do que 0, o que indica um agrupamento de municípios com valores semelhantes de incidência. Tomando o ano de 2015, por exemplo, é possível perceber que houve um grande agrupamento na região oeste do estado, além de um agrupamento menor na região mais ao leste. No ano seguinte os municípios da região oeste não situam-se dentre os com valores de incidência expressivos, enquanto o agrupamento se deu entre municípios mais ao leste. No ano de 2018 o valor-p obtido foi significativo mas a estatística I foi próxima de 0. Analisando-se visualmente a distribuição neste ano, percebe-se que há pequenas aglomerações, porém menos expressivas como nos outros anos. Estes acúmulos podem ter ocorrido devido ao acaso, já que mesmo em distribuições aleatórias é possível encontrar aparentes padrões.

Por fim, é possível perceber semelhanças entre o mapa de meses epidêmicos e os mapas de incidência. Ao longo de todos os anos observados houve parcelas de municípios aglomerados na região leste do estado dentre os com os maiores valores de incidência. Isto se confirma no mapa do total de meses epidêmicos, onde a maior parte dos municípios que passaram por 10 ou mais epidemias durante o período estudado situam-se na região leste. Isto também corrobora com o observado na figura 4.



ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Foi observado no tópico anterior que as epidemias ocorreram nos meses com médias de casos maiores, e não nos meses com médias menores, que seriam mais suscetíveis a flutuações de casos totais. De maneira contrária, foi observado que os municípios que tiveram o maior número de meses epidêmicos foram os com as menores populações, enquanto municípios mais populosos, como Rio de Janeiro e Niterói tiveram menos meses epidêmicos. A mesma justificativa esperada para a outra situação pode ser aplicada aqui: flutuações numéricas brutas de casos em municípios menos populosos têm efeitos maiores sobre a incidência do que em municípios mais populosos. É possível, por exemplo, que moradores destes municípios tenham contraído a doença em outros locais, mas quando estes valores foram computados referentes ao município de residência, proporcionaram efeitos significativos sobre a incidência geral. Mesmo assim, ressalta-se que estas incidências maiores podem ocorrer devido a fatores para além da proporção populacional em si, como as condições climáticas destes locais, níveis de desigualdade social, aspectos de saneamento básico ou outros.

Metade dos testes de Moran global aplicados obtiveram valores-p insuficientes para rejeitar a hipótese nula, ou estatística I muito próxima de 0. Nestes casos, não é possível afirmar que há aglomeração de incidência da doença. Apesar disso, todos os testes restantes obtiveram valores-p significativos e estatísticas I superiores a 0, o que indica que nestes contextos os casos foram agrupados em diferentes níveis. É relevante observar que não houve nenhuma estatística I significativa com valor negativo expressivo, o que indica que, de forma geral, a doença se distribuiu espacialmente de maneira aleatória ou aglomerada, mas não estatisticamente dispersa.

CONCLUSÕES

Para a metodologia do presente trabalho foram utilizados dados sobre a dengue organizados de duas formas diferentes: contagem de meses epidêmicos ao longo dos anos e incidência em determinado mês, ao longo dos anos. O conjunto de resultados obtidos utilizando-nas foi satisfatório, o que demonstra que ambas as formas são úteis para aplicação em estudos como este, podendo ser utilizadas a depender da necessidade do estudo a ser realizado.

O recorte temporal foi feito entre os anos de 2014 e 2021 devido a uma alteração na metodologia de captação de dados por parte do DataSUS. Isto não impediu a realização de análises estatísticas robustas, mas destaca-se que poderia ser de valia a aplicação de um estudo com um recorte temporal maior.

Observou-se que as epidemias ocorreram com mais frequência durante os meses em que a média de casos é mais alta, o que corresponde com o regime de chuvas mais intensas e temperaturas mais elevadas no local de estudo. Isso corrobora com a bibliografia de que o clima é um fator que possui grande correlação com a ocorrência da dengue. Também foi levantado que outros fatores além dos climáticos, como os econômicos, de serviços saneamento básico também podem ter influência sobre a doença em diferentes níveis.

Em metade dos testes aplicados não foi possível afirmar que houve dependência espacial na distribuição da doença. No restante afirmou-se que houve tendências positivas de agrupamento. Este resultado é útil para apontar para novos estudos que possam ser feitos para confirmar se esta distribuição segue ocorrendo com diferentes metodologias de análise e em diferentes recortes temporais. Além disso, pode estimular a elaboração de estudos que busquem compreender os motivos por trás da distribuição espacial observada.

A análise estatística foi realizada utilizando o teste de I de Moran global, que permite responder se há tendências de agrupamento a nível global. Outro teste que poderia fornecer resultados interessantes seria o Moran local, também conhecido como *LISA*, que permite compreender ainda mais aprofundadamente onde situam-se os conjuntos de casos com associação espacial.

Os resultados obtidos foram satisfatórios para responder às perguntas iniciais do artigo. São interessantes para compreender a distribuição espacial e temporal da doença nos municípios do estado do Rio de Janeiro e podem ser utilizados para apoiar estudos futuros sobre dengue no local.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BONITA, R.; BEAGLEHOLE, R.; KJELLSTRÖN, T. *Epidemiologia Básica*. 2. ed. Santos: [s. n.], 2010.
2. DRUMOND, Bruna et al. Dinâmica espaço-temporal da dengue no Distrito Federal, Brasil: ocorrência e permanência de epidemias. *Ciência & Saúde Coletiva*, [s. l.], v. 25, p. 1641–1652, 2020.
3. GIMOND, Manuel. *Intro to GIS and spatial analysis*. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://mgimond.github.io/Spatial/index.html>.
4. NURAINI, Nuning et al. Climate-based dengue model in Semarang, Indonesia: Predictions and descriptive analysis. *Infectious Disease Modelling*, [s. l.], v. 6, p. 598–611, 2021.
5. OLIVEIRA, Jéssica B. et al. Paradox between adequate sanitation and rainfall in dengue fever cases. *Science of The Total Environment*, [s. l.], v. 860, p. 160491, 2023.
6. RIBEIRO, Mário Sérgio et al. Índices larvais de *Aedes aegypti* e incidência de dengue: um estudo ecológico no Estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Cadernos de Saúde Pública*, [s. l.], v. 37, p. e00263320, 2021.
7. SOUSA, Tatiane Cristina Moraes de et al. Doenças sensíveis ao clima no Brasil e no mundo: revisão sistemática. *Revista Panamericana de Salud Pública*, [s. l.], v. 42, p. e85, 2018.
8. WHO. *Dengue and severe dengue*. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/dengue-and-severe-dengue>. Acesso em: 9 out. 2023.
9. WHO. *Ten threats to global health in 2019*. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/spotlight/ten-threats-to-global-health-in-2019>. Acesso em: 19 nov. 2023.