

Análise Espacial dos Casos de Dengue no Estado da Paraíba: Uma Aplicação com a RIE

Samara R. S. Bezerra^{1†}, Ricardo S. Ehlers¹, Mateus S. Peixoto², Maria Izabel A. Araújo³,
Tiago A. Oliveira⁴, Diogo F. Rossoni⁵

¹Programa Interinstitucional de Pós-Graduação em Estatística, UFSCAR/USP, São Carlos/SP.

²Programa de Pós-Graduação em Estatística e Experimentação Agropecuária - UFPA, Lavras/MG.

³UniFátice - Centro Universitário (Polo de Campina Grande - PB), Paranaíba/PR.

⁴Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, Campina Grande/PB.

⁵Programa de Pós-Graduação em Bioestatística (PBE) - UEM, Maringá/PB.

Resumo: Apresenta pesquisa faz uma análise sobre a disseminação da dengue, transmitida pelo *Aedes aegypti*, popularmente conhecido por mosquito da dengue. O estudo destaca o aumento global dos casos ao longo dos anos e o aumento significativo no Brasil, especificamente na Paraíba. A pesquisa busca analisar a distribuição dos casos notificados de dengue nos anos de 2015 e 2022 no Estado da Paraíba usando métodos estatísticos espaciais, considerando fatores socioeconômicos e ambiental. Foram utilizados índices de Moran para testar a dependência espacial e mapas como Box Map, Lisa Map e Moran Map para visualizar associações espaciais. Um modelo de regressão SAR foi aplicado para avaliar a influência de variáveis independentes na Razão de Incidência Espacial (RIE). Os resultados sugerem autocorrelação espacial na RIE e destacam a significância das covariáveis (Índice de Desenvolvimento Humano Municipal e Renda Per capita) no modelo SAR 4.

Palavras-chave: RIE. SAR. Estatísticos Espaciais.

Spatial Analysis of dengue cases in the State of Paraíba, Brazil: an application with RIE

Abstract: This research presents an analysis of the dissemination of dengue, transmitted by *Aedes aegypti*, commonly known as the dengue mosquito. The study highlights the global increase in cases over the years, with a significant rise in Brazil, specifically in Paraíba. The research aims to analyze the distribution of reported dengue cases in the years 2015 and 2022 in the State of Paraíba using spatial statistical methods, considering socioeconomic and environmental factors. Moran indices were used to test spatial dependence, and maps such as Box Map, Lisa Map, and Moran Map were employed to visualize spatial associations. A Spatial Autoregressive (SAR) regression model was applied to assess the influence of independent variables on the Spatial Incidence Ratio (SIR). The results suggest spatial autocorrelation in the SIR and highlight the significance of the variables (Municipal Human Development Index and Per Capita Income) in the SAR 4 model

Keywords: SIR. SAR. Spatial Statistics.

Introdução

A dengue (*Aedes aegypti*) é uma doença viral aguda de rápida disseminação, transmitida pelo o vírus da dengue (DENV), um mosquito da família Flaviviridae, do gênero Flavivírus. Existe 5 tipos de sorotipos (DENV-1, DENV-2, DENV-3, DENV-4, DENV-5) que circulam entre os seres humanos Karam et al. (2015). Em 2008 o número de relatos de casos de dengue nas Américas, no Sudoeste Asiático e no Pacífico Ocidental ultrapassaram 1,2 milhões, cinco anos depois, precisamente em 2013 o número de casos mais que dobrou, chegando a 3 milhões (TAN et al., 2019).

Uma das grandes preocupações com a doença são os altos custos com tratamento médicos, vigilâncias, controles dos vetores e produtividade perdida, gerando um alto gasto econômico em escala mundial. Levando em consideração as Américas o custo da doença é medido anualmente entre 1 e 4 bilhões de dólares (RAMOS-CASTAÑEDA et al., 2017).

† Autora correspondente: samauijp@usp.br.

No Brasil referente a dengue alguns dados epidemiológicos dos Boletim Epidemiológico são importantes citar; no ano 2022ⁱⁱ foram registrados 1.450.270 casos prováveis de dengue (taxa de incidência de 679,9 casos por 100 mil hab.). Levando em consideração o ano de 2019, houve redução de 6,2% de casos registrados para o mesmo período analisado, comparado com o ano de 2021, ocorreu um aumento de 162,5% casos, nesse mesmo ano a região Nordeste apresentou uma incidência de 230,4 casos por 100 mil habitantes, já o estado da Paraíba registrou 27.755 casos prováveis de dengueⁱⁱⁱ.

Nesse contexto, a análise espacial se mostra como uma ferramenta da estatística em saúde muito útil para o estudo das dinâmicas de difusão espacial e temporal que permitem observar áreas com maior risco epidemiológico, tanto pela localização de focos com potencial de proliferação do vetor como pelos fatores sociais e demográficos, que inevitavelmente predizem a ocorrência de doença (FERREIRA; SCHMIDT, 2006).

Na literatura não foram encontrados estudos recentes sobre a dependência da Razão de Incidência Espacial (RIE) com aplicação em casos notificados de dengue, no Brasil ou no estado da Paraíba, por meio da utilização de modelos estatísticos explorados neste estudo. É de suma importância para a compreensão dos fatores associados a transmissão e disseminação do vetor no estado, pois a Paraíba detém consideráveis diferenças socioeconômicas e demográficas entre seus municípios e regiões que estão alocados.

O escopo central desta pesquisa é apresentar e utilizar a metodologia de estatísticas espaciais, para modelar a variável dependente RIE com objetivo de analisar o comportamento espacial da dengue no estado da Paraíba, em um espaço de período de cinco anos, quais municípios foram mais propícios e verificar a existência de dependência espacial na propagação do vetor, além de relacionar as regiões aos fatores socioeconômicos e socioambiental.

Metodologia

Razão de Incidência Espacial (RIE)

A RIE foi utilizada como variável dependente, obtida a partir da incidência de cada município pela a incidência total, multiplicado por 1000 mil/hab (PINTO et al., 2019). As variáveis independentes, socioeconômicas e ambiental da pesquisa são: Índice Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM); Índice de de Theil-L (INDICETHEIL); Índice de Gini (INDICEGINI); Renda per capita (RENDAPERCAP); Percentual de Pobres (PERCPOBRES) e Precipitação Máxima Observada (PRECOBSER).

Análise Espacial de Dados de Área

A presente pesquisa faz uma abordagem com dados distribuídos no espaço, assim faz-se necessário a construção de uma matriz de proximidade espacial. A matriz estima a autocorrelação espacial de um fenômeno geográfico de determinada região em estudo, e engloba informações sobre interações dessa região, ou melhor, quanto mais próximo os municípios mais forte é a interação, e mais fraca em municípios mais distante.

A matriz $W_{(n \times n)}$ é dada a seguir; em que n representa o número de locais (observações). A entrada na i -ésima linha e j -ésima coluna, denotados como W_{ij} , correspondendo ao par (i, j) de localização. Os elementos da matriz W_{ij} assumem valores diferente de zero quando as áreas

ⁱⁱSecretaria de Vigilância em Saúde e Ambiente — Ministério da Saúde - Vol.54 —Jan.2023.

ⁱⁱⁱBoletim Epidemiológico - Secretaria de Estado da Saúde da Paraíba — Gerência Executiva de Vigilância em Saúde - n°12 —Nov.2022.

(observações) i e j são consideradas vizinhas, e zero caso contrário (DUNCAN et al., 2014).

$$W = \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} & \cdots & W_{1n} \\ W_{21} & W_{22} & \cdots & W_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ W_{n1} & W_{n2} & \cdots & W_{nn} \end{bmatrix}$$

Índice de Auto Correlação Espacial

A modelagem espacial é aplicada quando há efeito espacial nos dados, logo, faz-se necessário verificar se os dados possuem dependências espaciais. O teste de dependências espaciais pode ser feito usando a autocorrelação espacial, por meio da aplicação do teste de índice de Moran. Método usado para testar a autocorrelação entre os locais.

O índice I de Moran, proposto por Moran (MORAN, 1950), é definido pela seguinte expressão,

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (y_i - \bar{y}) (y_j - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}, \quad (1)$$

em que; y_i é o valor da variável y na região i ; y_j é o valor da variável y na região j ; \bar{y} é a média da variável y ; w_{ij} é o elemento i, j da matriz de proximidade espacial; n é o número de observações.

O Índice I de Moran varia em um intervalo de (-1,1). O valor 0 zero indica ausência de dependência espacial. Já os valores próximos de 1 indicam uma autocorrelação espacial forte e positiva. O mesmo vale para valores próximos a -1, só que neste caso a autocorrelação espacial é negativa. Assumi-se que y_i são observações de variáveis aleatórias Y_i , com distribuição normal, logo, I possui distribuição apropriadamente normal como os momentos,

$$E(I) = -\frac{1}{(n-1)},$$

$$Var(I) = \frac{n^2(n-1)W_1 - n(n-1)W_2 - 2W_0^2}{(n+1)(n-1)^2W_0^2}.$$

Embora essas medidas globais sejam muito úteis para fornecer indicação de agrupamento global dos dados, precisam ser complementadas por estatísticas locais, que avaliam a autocorrelação associada com um ou alguns valores específicos para cada área (FISCHER; WANG, 2011).

O Índice de Moran Local para cada área A_i , é definido por:

$$I_n = \frac{(y_i - \bar{y}) \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (y_i - \bar{y}) (y_j - \bar{y})}{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n}} \quad (2)$$

Assim, tem-se que os valores positivos de I_n significam que existem agrupamentos espaciais com valores similares (relação direta) da variável em estudo e os valores negativos de I_n indicam que existem agrupamentos espaciais com valores dissimilares (relação inversa).

Box Map, Lisa Map e Moran Map

O **Box Map** é uma extensão do Gráfico de Espalhamento de Moran, as áreas são representadas por cores e corresponde a seu respectivo quadrante. Os quadrantes Q_1 e Q_2 indicam as áreas de autocorrelação positiva, apresentando os *clusters* de valores similares, por outro lado os quadrantes Q_3 e Q_4 indicam dissimilaridade entre as áreas vizinhas em relação à variável analisada, apresentando autocorrelação espacial negativa (NEIVAS; BAPTISTA, 2022); **Lisa Map** (Indicadores Locais de Associação Espacial) é utilizado para avaliar a significância das regiões que apresentam correlação local significativamente diferentes das demais, e seus valores são classificados em quatro grupos: não significativos, significativos aos níveis de 5%, 1% e 0,1%; **Moran Map** é outra forma de visualização, bem semelhante a *Lisa Map*, pois apresenta apenas as regiões significativas, sendo classificadas de acordo com o quadrante que o Diagrama de Espalhamento de *Moran*, apresentados no *Moran Map*.

Os mapas apresentados são do tipo corocromático, logo, a representação é feita por meio de dados qualitativos, com uma área caracterizada primitiva gráfica e o tom de cor com uma variável visual (LOCH, 2006).

Regressão Espacial e Seleção de Modelos

O modelo espacial autorregressivo (SAR) é um método espacial que pode ser usado para descrever correlação entre a variável dependente e as variáveis independentes, considerando o impacto espacial. Diversas aplicações podem ser feitas por meio deste modelo, como por exemplo: na áreas da economia, da saúde e da educação (BIVAND; GÓMEZ-RUBIO; RUE, 2014) e (PERMAI; JAURI; CHOWANDA, 2019).

O modelo SAR é fundamentado a partir de uma dependência espacial em meio à adição ao modelo de regressão de um novo termo na forma de uma relação espacial para a variável dependente. Logo o modelo é definido da seguinte forma:

$$\mathbf{Y} = \rho \mathbf{WY} + \mathbf{X}\beta + \varepsilon, \quad (3)$$

sendo \mathbf{Y} é a matriz de vizinhança que, multiplicada a \mathbf{Y} que expressa a relação de dependência espacial e ρ o coeficiente espacial autorregressivo.

A análise gráfica dos resíduos é o primeiro passo para a avaliação da qualidade do ajuste da regressão. Mapear os resíduos é também consideravelmente importante no diagnóstico do modelo, buscando indícios de violação dos pressupostos de independência.

Geralmente a comparação dos modelos é realizada usando o Critério de Informação de Akaike (AIC - *Akaike Information Criterion*). De acordo com este critério, modelo adequado é o modelo que apresenta o menor valor. AIC utiliza o logaritmo da máxima verossimilhança e o número de parâmetros ajustados de forma independente no modelo de regressão (AKAIKE, 1998), definida pela a seguinte expressão:

$$AIC = -2 \log L(\hat{\theta}) + 2k \quad (4)$$

em que, $L(\hat{\theta})$ é a função de log-verossimilhança maximizada, k é o número de parâmetros ajustados do modelo.

Análises Estatísticas

Para a aplicação dos testes foi utilizado software R versão 4.1.3, na construção dos mapas da RIE, Índice de Moran Local, Box Map, Lisa Map e o Moran Map, para cada ano, foi usado a biblioteca *maptools*, *sp* e *rgdal*; o teste do Índice de Moran foi utilizado a biblioteca *spdep*. Para a regressão SAR foi usada a biblioteca *spatialreg* (R Development Core Team, 2021).

Resultados e Discussão

É um estudo epidemiológico caracterizado por ser ecológico sobre a distribuição espacial da RIE dos casos notificados de dengue do estado da Paraíba no período de 2015 e 2022, considerando os 223 municípios. Os casos de notificação de dengue, foram obtidos pelo o site DATASUS (<http://www.datasus.gov.br/>) do SINAN^{iv}. Os dados relativos aos indicadores socioeconômicos foram oriundo do site do IBGE^v (<https://www.ibge.gov.br/>). Os dados relativo a precipitação foi extraído do site da AESA^{vi} (<http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/meteorologia-chuvas>).

O estado da Paraíba, está localizado ao leste da região nordeste do Brasil, no total são 223 municípios, limitando-se com os estados de Rio Grande do Norte, Pernambuco e Ceará. Ocupa uma área de 56.439km^2 . A população do estado conforme as estimativas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2018 foi de 4 milhões de habitantes, sendo o décimo terceiro estado mais populoso do Brasil.

Em primeiro momento foram obtidos a estatística da variável casos notificados de dengue do estado da Paraíba, no período de janeiro a dezembro, dos respectivos anos, 2015 e 2022, de início, elaborou-se uma tabela dos municípios com maior número de casos notificados de Dengue de cada ano estudado. De acordo com Tabela 1, dos 223 municípios do Estado da Paraíba, observou-se que João Pessoa - a Capital do Estado -, no ano de 2022, foram notificados 10.661 casos, correspondendo a 38,41% de notificações de todo o estado, a justificativa principal do alto número de casos notificados em João Pessoa é o elevado grau de urbanização e seu desordenamento (OLIVEIRA et al., 2022). Ainda dando continuidade as informações da Tabela 1, no ano de 2015, o município que apresentou a maior notificação foi Monteiro, com 3.288, o alto índice de número de casos pode ser explicado pelo fato de que Monteiro é classificado como o município central da região imediata, e recebe fluxo direto de seis municípios (Camalaú, Ouro Velho, Prata, São João do Tigre, São Sebastião do Umbuzeiro e Zabelê), podendo ser classificado um fator de aumento no número de casos notificados.

Table 1: Tabela dos Municípios com maior número de casos notificados de Dengue do Estado da Paraíba, dos anos de 2015 e 2022.

Ano	Município	Not. do Município	Not. do Estado	Not. do Município %
2015	Monteiro	3.288	8.586	38,29
2022	João Pessoa	10.661	27.755	38,41

Fonte: Dos autores.

Continuando com às análises estatísticas, foram gerados Mapas Coroplético (coloridos), dos anos de 2015 e 2022, da variável dependente (RIE). Os mapas da RIE contribuem para a interpretação do método de estudo, pois são utilizados como referência para o comportamento real da dengue nos municípios paraibanos. A RIE é definida como uma medida que permite uma padronização das informações em função da população sob risco, proporcionando análises comparativas mais robustas (LIMA et al., 2019).

Nas Figuras 1 e 2, apresentamos os mapas de quantis para a variável RIE nos anos de 2015 (A) e 2022 (A). Observamos que, nos respectivos anos, os municípios representados pela cor mais clara no mapa correspondem ao primeiro quartil. Em 2015 (A), dos 223 municípios, 73% estavam no intervalo de classe $[0,0.5)$, indicando que a maioria desses municípios tinha uma RIE abaixo da média da área de estudo (Estado da Paraíba). Por outro lado, em 2022 (A), apenas 49% dos municípios estavam dentro dessa faixa. Além disso, notamos que durante esse período de anos estudados, houve um aumento de 10% dos municípios no intervalo de classe $[1.5,2.0)$,

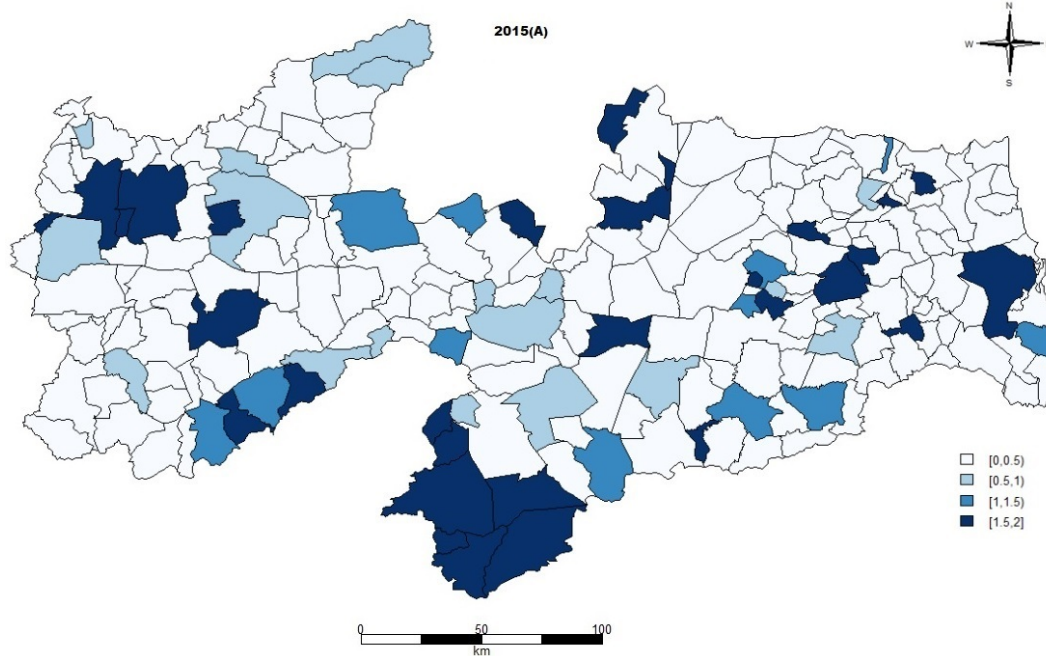
^{iv}Sistema de Informações de Agravos de Notificações.

^vInstituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

^{vi}Agência Executiva de Gestão as Águas.

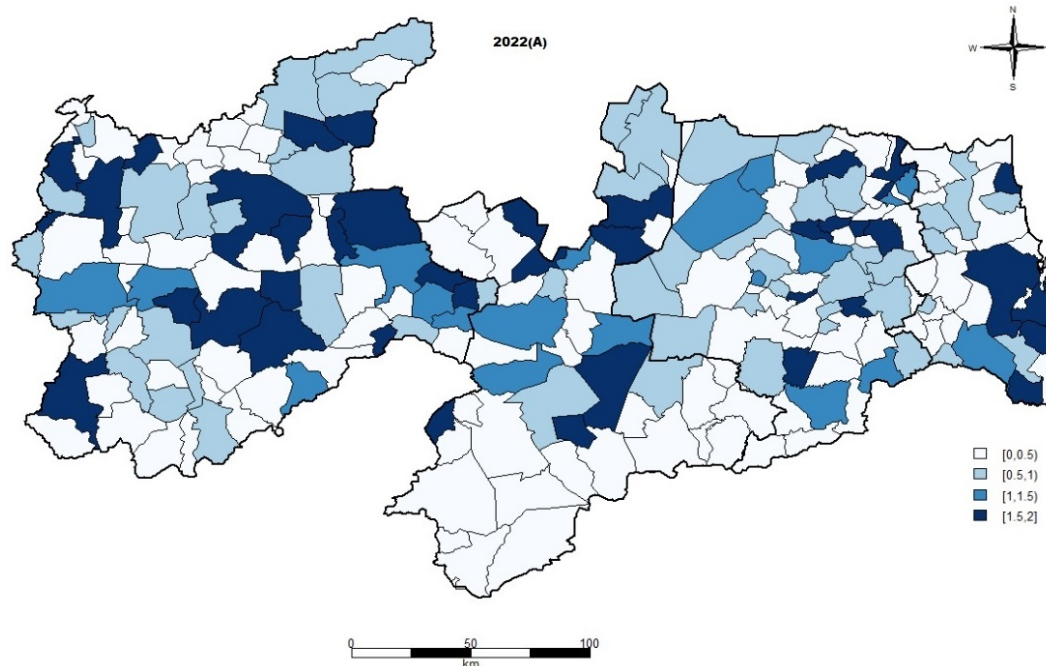
representados pela cor mais escura no mapa. Isso sugere uma alta incidência de RIE, indicando fortes indícios de que esses municípios estão sob alto risco.

Figure 1: Mapa de Quantis para a Taxa da RIE dos Municípios do Estado da Paraíba dos anos de 2015(A).



Fonte: Dos autores.

Figure 2: Mapa de Quantis para a Taxa da RIE dos Municípios do Estado da Paraíba dos anos de 2022(B).



Fonte: Dos autores.

Dando continuidade as análises da variável RIE dos anos de 2015 e 2022 dos municípios do estado da Paraíba, faz-se necessário verificar se existe autocorrelação espacial; Assim, foi uti-

lizado o Índice de Moran, um índice de associação espacial global. Na Literatura são encontrados vários estudos baseados neste índice, e para esse estudo específico daremos ênfase à pesquisa de Silva (SILVA et al., 2020), que realizou um estudo no estado da Paraíba para verificar a existência de dependência espacial da incidência da dengue entre 2007 e 2016 dos municípios do estado. O pesquisador utilizou a metodologia de dados de área, concluindo que a incidência da dengue no estado é espacialmente dependente com um valor do Índice de Moran significativo a 0,1%.

De acordo com nossos resultados, por meio da Tabela 2, podemos observar que no ano de 2015 e 2022, foi detectada dependência espacial significativa ao nível de 0,1%, indicando que existe uma forte autocorrelação espacial global positiva da RIE dos municípios. Ou melhor, em média, os municípios com maiores RIE são circundados por municípios na mesma situação, enquanto os municípios com menores RIE são vizinhos de municípios na mesma circunstância. Ou seja, ao longo da nossa região de estudos há zonas de influência espacial.

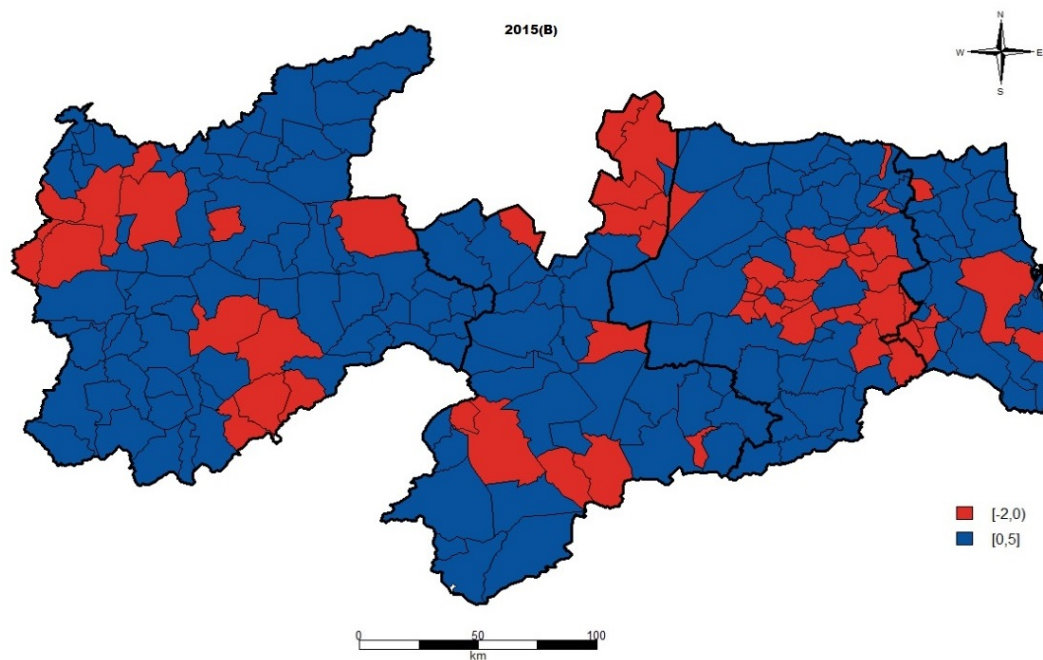
Table 2: Estimativas do Índice de Moran Global, da RIE dos anos de 2015 e 2022.

Estatística	Ano	Estimativa	Valor-P
I de Moran	2015	0,2028	< 0,001
I de Moran	2022	0,0890	< 0,001

Fonte: Dos autores.

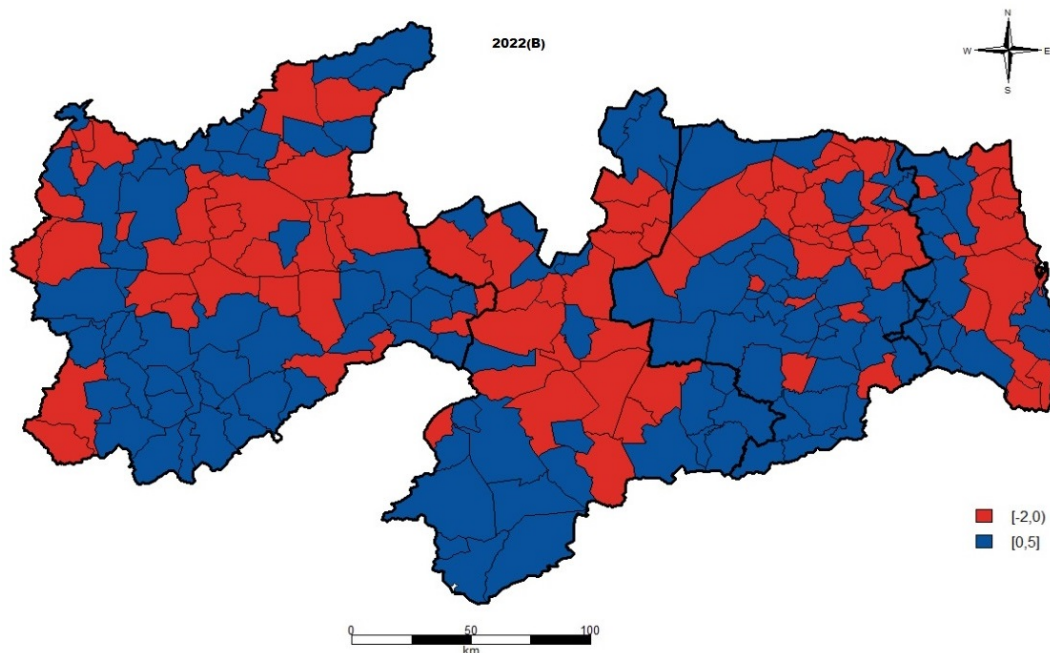
Uma vez existindo autocorrelação espacial tendo muitas áreas em estudo, o indicado é verificar o quanto essas áreas vizinhas são similares. Nas Figura 3 e 4 (2015(B) e 2022(B)), tem-se o Índice de Moran Local, os valores positivos representados pela cor azul significam que existem aglomerados espaciais com valores similares; por outro lado, os valores negativos representados pela cor vermelha significam que existem aglomerados espaciais dissimilares entre as RIEs dos municípios, logo é verificado a prevalência da cor azul ao longo dos municípios do estado, indicando que uma grande parte dos municípios tem valores similares de RIE.

Figure 3: Mapa de Índice de Moran Local da RIE dos Municípios do Estado da Paraíba dos anos de 2015(B).



Fonte: Dos autores.

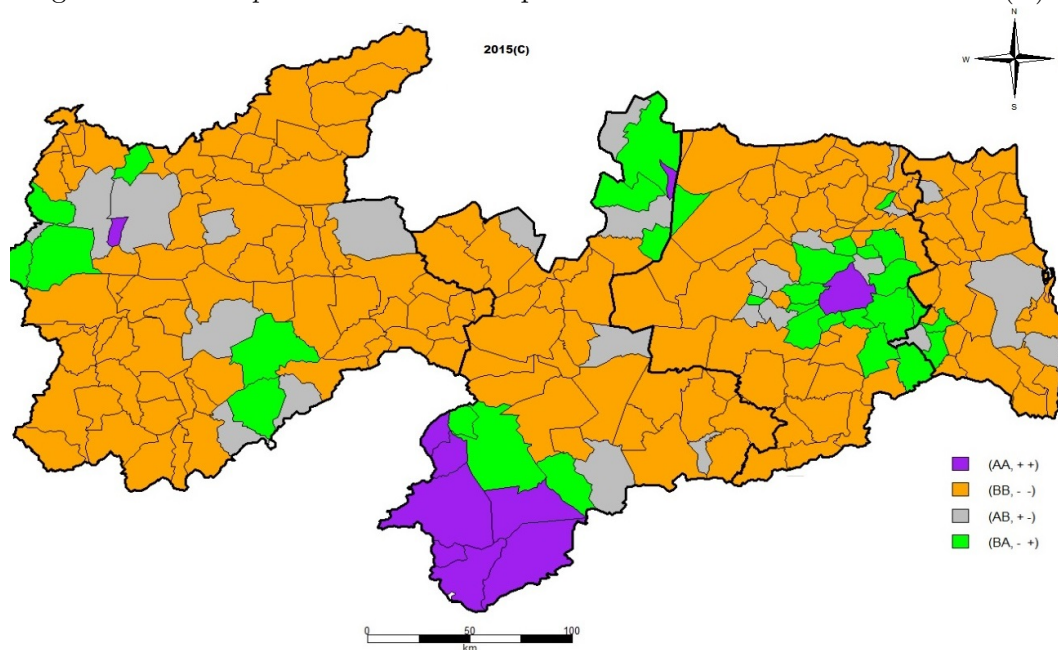
Figure 4: Mapa de Índice de Moran Local da RIE dos Municípios do Estado da Paraíba dos anos de 2022(B).



Fonte: Dos autores.

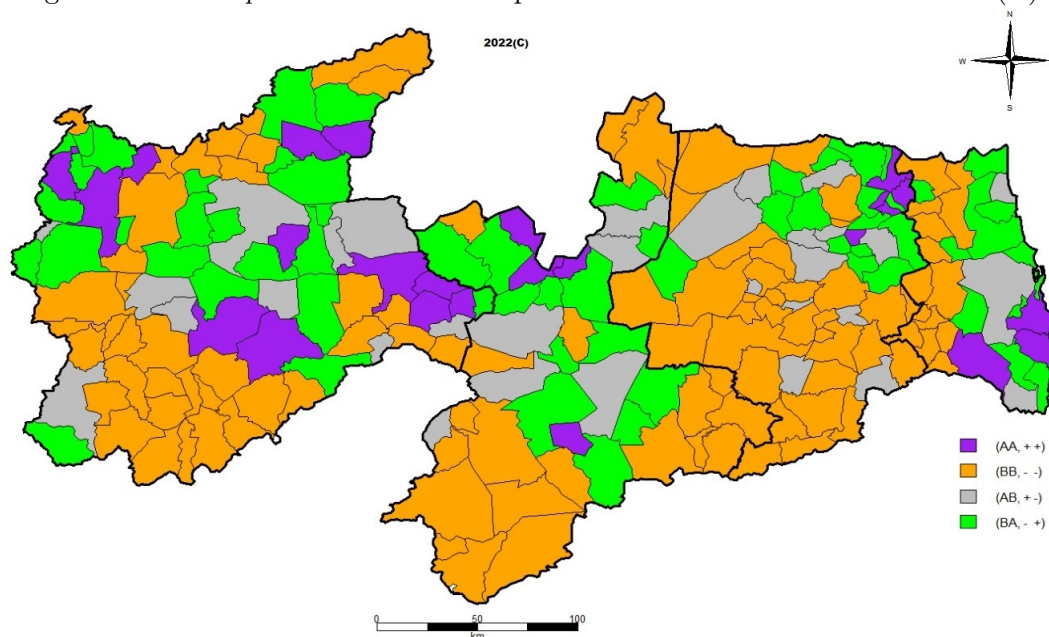
Continuando com o estudo da análise espacial da variável independente RIE, geramos o Box Map dos anos de 2015 e 2022, nas Figuras 5 e 6 (2015 (C) e 2022(C)), é caracterizado como uma extensão do Espalhamento de Moran, servindo de base para verificarmos, nas regiões de estudo, o quadrante a qual cada município pertence, pelo qual os quadrantes 1° (+/+), 2° (-/-), 3° (+/-) e 4° (-/+) estão representados nas cores roxa, laranja, cinza e verde, respectivamente.

Figure 5: Box Map da RIE dos Municípios Estado da Paraíba dos anos 2015(C).



Fonte: Dos autores.

Figure 6: Box Map da RIE dos Municípios Estado da Paraíba dos anos 2022(C).



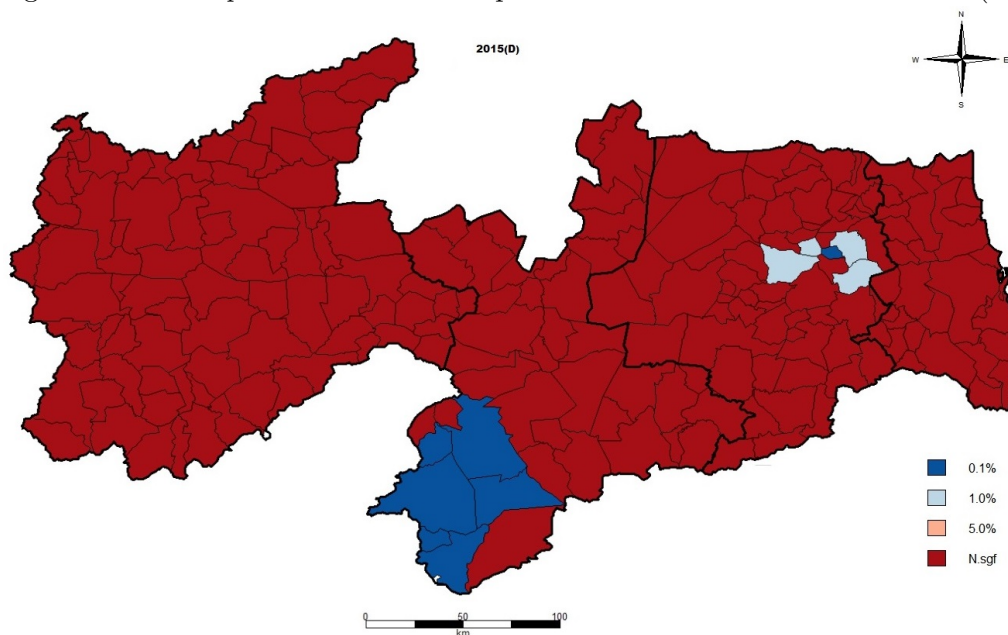
Fonte: Dos autores.

Temos que os municípios representados pelas cores roxa e laranja apresentam uma autocorrelação positiva, já os municípios representados pelas cores cinza e verde apresentam uma certa dissimilaridade entre seus municípios vizinhos com a relação à taxa da RIE dos casos notificados de dengue. Nota-se uma certa prevalência de municípios com similaridade entre os valores observados para a taxa da RIE no Estado.

Para uma melhor análise dos resultados, nas Figura 7 e 8 (2015 (D) e 2022(D)) tem-se o LISA Map; Observa-se os municípios que influenciam os seus vizinhos significativamente, ou melhor, os municípios que rejeitam a hipótese de que há uma associação espacial aleatória e que não exercem influência nos seus vizinhos. Na legenda dos mapas, tem-se o índice local significativo aos níveis de 5%, 1% e 0,1%, representados pelas cores laranja, azul claro e azul escuro, respectivamente. Podemos ver que no período de sete anos, a cor vermelho escuro predomina nos mapas; estes são municípios não significativos. Ainda podemos observar que nos municípios que apresentam correlação local significativa ao nível de 0,1%, a dependência entre a Taxa da RIE dos casos notificados de dengue nos municípios vizinhos é bem forte.

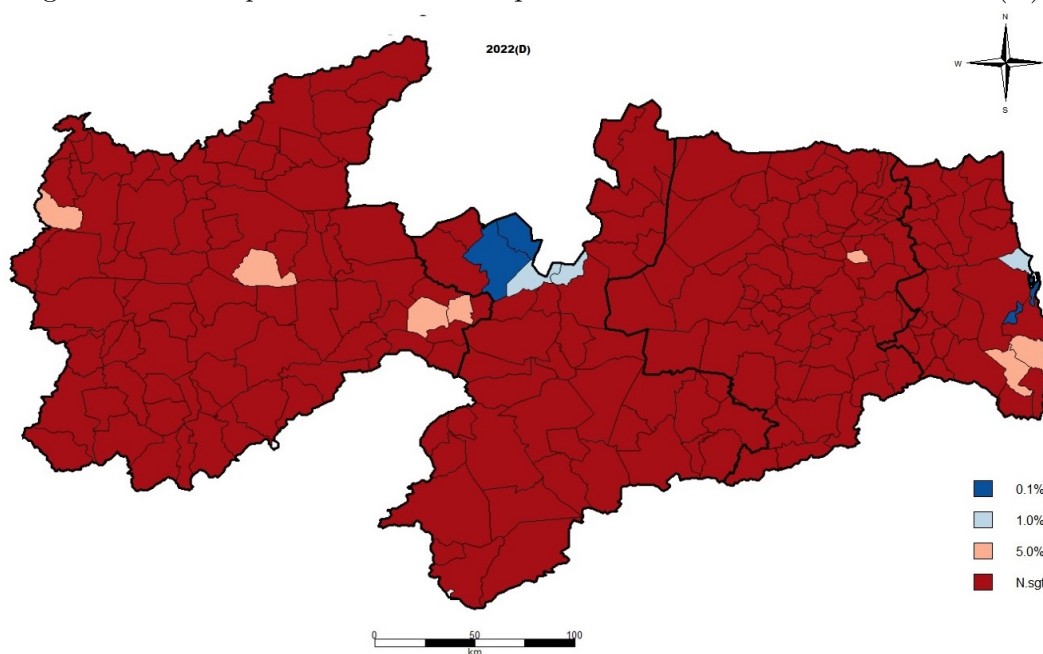
Após analisar os municípios com associação significativa por meio do LISA Map, permite-se visualizar pelo Moran Map (Figuras 9 e 10, 2015(E) e 2022(E)), que estão representados pelas mesmas cores do LISA Map, com a inclusão da cor laranja claro (o tom mais claro nos mapas), representando p-valores de cada município do índice de Moran Local. Esse representa uma pequena diferença, pois apresenta os municípios que não foram significativos ao nível de 10%. Percebe-se que os municípios com autocorrelação local significativos são encontrados na mesma região do LISA Map.

Figure 7: Lisa Map da RIE dos Municípios Estado da Paraíba dos anos 2015(D).



Fonte: Dos autores.

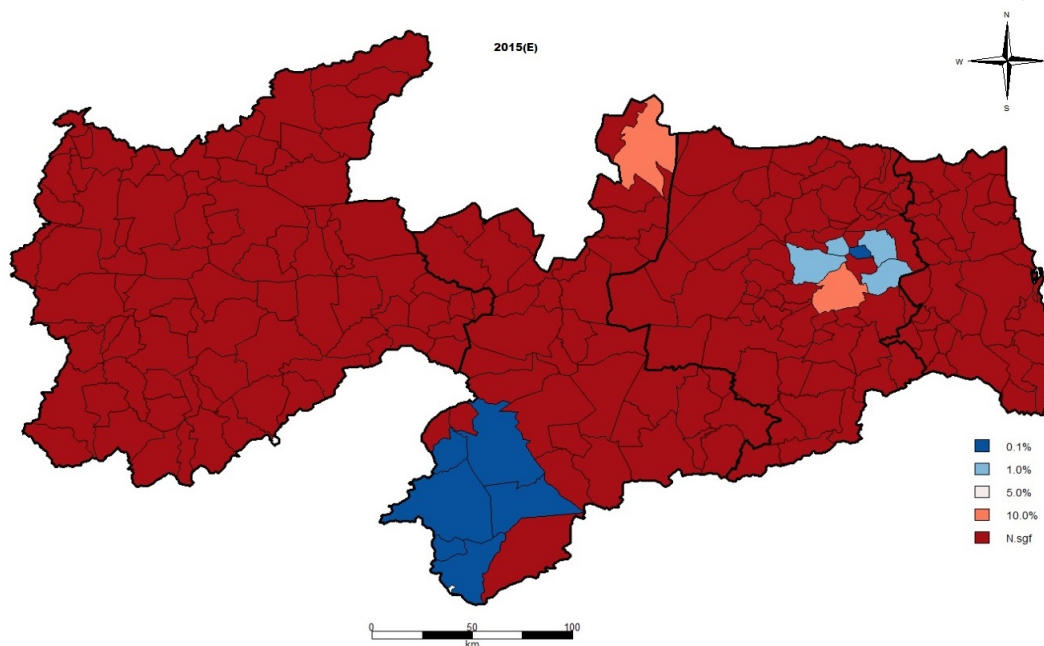
Figure 8: Lisa Map da RIE dos Municípios Estado da Paraíba dos anos 2022(D).



Fonte: Dos autores.

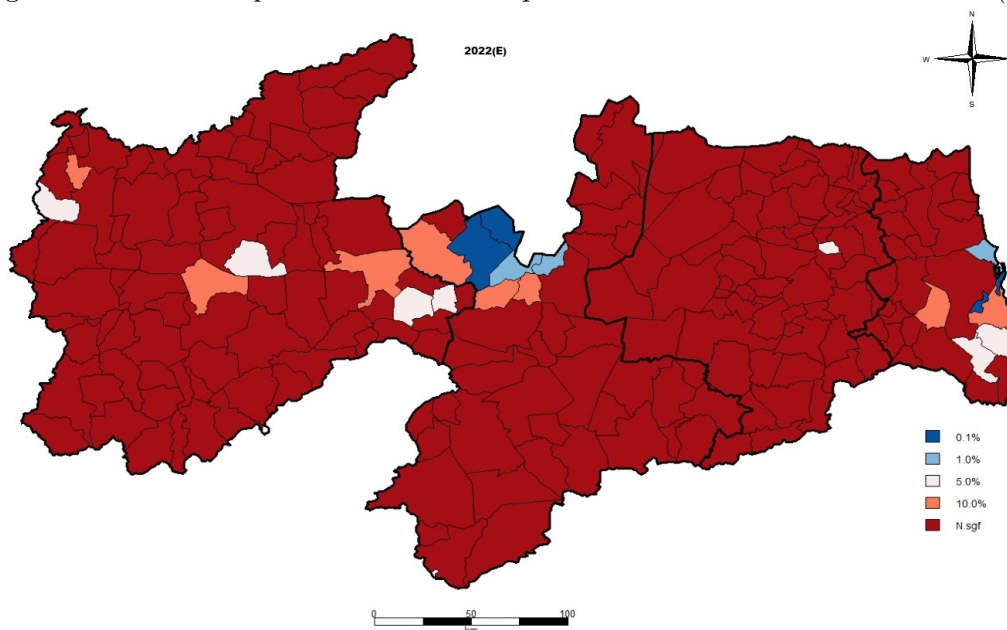
Dando continuidade ao estudo, foram realizadas as análises da estatística de Regressão Espacial Autorregressivo (SAR), por se tratar de dados de área, para estabelecer a influência das variáveis independentes em relação a variável dependente RIE. As análises basearam-se na inserção das variáveis independentes nos modelos (socioeconômicas e socioambientais). As covariáveis estudadas foram: IDHM, INDICETHEIL, INDICEGINI, RENDAPERCAP, PER-CPROBRES e PRECOBSE, considerando o modelo SAR.

Figure 9: Moran Map da RIE dos Municípios Estado da Paraíba dos anos 2015(E).



Fonte: Dos autores.

Figure 10: Moran Map da RIE dos Municípios Estado da Paraíba dos anos 2020(E).



Fonte: Dos autores.

No total, foram ajustados 4 modelos à estatística SAR para cada ano (2015 e 2022). O modelo SAR 4 apresentou o melhor ajuste, levando em consideração a significância de 5% e 1% de cada variável, e o menor valor de AIC. As variáveis independentes não significativas ou que não serviram para o ajuste dos modelos foram excluídas da análise.

Na Tabela 3 tem-se os resultados do modelo SAR 4 para cada ano estudado; a variável IDHM (é uma medida composta de indicadores de três dimensões do desenvolvimento humano: longevidade, educação e renda. O índice varia de 0 a 1. Quanto mais próximo de 1, maior o desenvolvimento humano.) foi significativa ao nível de 5% de significância, nos dois períodos estudados. Por outro lado, para a variável RENDAPERCAP, podemos observar que foi significa-

tiva ao nível de 1% nos mesmo anos. Há fortes indícios de que essas variáveis estão diretamente ligadas a RIE dos municípios. As demais variáveis do modelo não foram significativas para o modelo proposto.

Table 3: Estatísticas das variáveis independentes e constantes do modelo de regressão espacial.

2015					
Modelo	Covariável	Erro	Estimativa	Valor-p	AIC
SAR 4	Intercepto	7,225	5,185	0,004	1296,3
	IDHM	41,480	-79,793	0,054	
	RENDAPERCAP	21,068	42,185	0,015	
2022					
SAR 4	Intercepto	3,362	-5,559	0,048	794,77
	IDHM	7,765	8,633	0,014	
	RENDAPERCAP	0,003	-0,004	0,245	

Conclusão

Nesta pesquisa foram abordados os métodos da Estatística de Razão de Incidência Espacial, para realizar as análises espaciais dos casos notificados de dengue no Estado da Paraíba, no período de 2015 e 2022. Os resultados expostos detectaram as áreas de maior risco dos municípios paraibanos. Foram identificados aglomerados espaciais prioritários para ações de políticas e promoção de saúde.

Nas análises espaciais foram encontradas autocorrelações positivas, indicando a dependência da RIE de cada município do Estado. Observamos – também - padrões espaciais em que se mostraram presentes os mais altos números em relação à variável RIE nos municípios. Nos modelos de regressão estimados, nos anos analisados, o melhor modelo que se ajustou aos dados foi o modelo SAR 4, em que é considerada a dependência espacial entre as variáveis.

Logo, esse estudo da variabilidade espacial da RIE, em pequena e grande escala, torna-se de grande importância para os órgãos competentes, na gestão adequada dos riscos, com vistas a minimizar as áreas de maior incidência do vetor e para a sociedade em geral, pois será possível quantificar - por meio de mapas - os fatores que estão associados aos elevados índices da RIE, assim podendo avaliar o quanto esses fenômenos surtem efeitos da Saúde Pública Coletiva do Estado da Paraíba.

Agradecimentos

Agradecemos a todos que contribuíram para a conclusão deste projeto.

References

- AKAIKE, H. Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. *Selected papers of Hirotugu Akaike*, Springer, p. 199–213, 1998.
- BIVAND, R. S.; GÓMEZ-RUBIO, V.; RUE, H. Approximate Bayesian inference for spatial econometrics models. *Spatial Statistics*, v. 9, p. 146–165, 2014.
- DUNCAN, D. T.; KAWACHI, I.; MELLY, S. J.; BLOSSOM, J.; SORENSEN, G.; WILLIAMS, D. R. Student column demographic disparities in the tobacco retail environment in Boston: A citywide spatial analysis. *Public Health Reports*, SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA, v. 129, n. 2, p. 209–215, 2014.

- FERREIRA, G. S.; SCHMIDT, A. M. Spatial modelling of the relative risk of dengue fever in Rio de Janeiro for the epidemic period between 2001 and 2002. *Brazilian Journal of Probability and Statistics*, v. 20, n. 1, p. 29–47, 2006.
- FISCHER, M. M.; WANG, J. *Spatial data analysis: models, methods and techniques*. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2011.
- KARAM, H. A.; SILVA, J. C. B. da; FILHO, A. J. P.; ROJAS, J. L. F. Dynamic modelling of dengue epidemics in function of available enthalpy and rainfall. *Open Journal of Epidemiology*, Scientific Research Publishing, v. 6, n. 1, p. 50–79, 2015.
- LIMA, L. M. M. de; SÁ, L. R. de; MACAMBIRA, A. F. U. dos S.; NOGUEIRA, J. de A.; VIANNA, R. P. de T.; MORAES, R. M. de. A new combination rule for spatial decision support systems for epidemiology. *International journal of health geographics*, BioMed Central, v. 18, n. 1, p. 1–10, 2019.
- LOCH, R. E. N. *Cartografia: representação, comunicação e visualização de dados espaciais*. [S.l.]: UFSC, 2006.
- MORAN, P. A. Notes on continuous stochastic phenomena. *Biometrika*, JSTOR, v. 37, n. 1/2, p. 17–23, 1950.
- NEIVAS, G. S.; BAPTISTA, A. C. Análise exploratória de dados espaciais da violência contra lgbtqia+ no brasil. *Rev. Bras. Cartogr*, v. 74, n. 1, 2022.
- OLIVEIRA, A. A. de; MONTEIRO, J. B.; SANTIAGO, D. de B.; MOURA, D. C. Variabilidade climática e casos de dengue em cidades do estado da paraíba, brasil. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 11, p. e50111133256–e50111133256, 2022.
- PERMAI, S. D.; JAURI, R.; CHOWANDA, A. Spatial autoregressive (SAR) model for average expenditure of Papua Province. *Procedia Computer Science*, Elsevier, v. 157, p. 537–542, 2019.
- PINTO, M. M. P. S.; SÁ, L. R. de; SOARES, R. A. S.; MEDEIROS, A. T. de; NOGUEIRA, J. de A.; MORAES, R. M. de. Análise comparativa de métodos de aglomeração espacial para estudos epidemiológicos. *Revista Espaço e Geografia*, v. 22, n. 1, p. 683–706, 2019.
- R Development Core Team. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria, 2021. (<https://www.R-project.org/>).
- RAMOS-CASTAÑEDA, J.; SANTOS, F. Barreto dos; MARTÍNEZ-VEGA, R.; ARAUJO, J. Galvão de; JOINT, G.; SARTI, E. Dengue na américa latina: Revisão sistemática das tendências epidemiológicas moleculares. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, v. 11, p. 1, 2017.
- SILVA, E. T. C. d.; OLINDA, R. A.; PACHÁ, A. S.; COSTA, A. O.; BRITO, A. L.; PEDRAZA, D. F. Spatial analysis of the distribution of dengue cases and its relationship with socio-environmental factors in the state of paraíba, brazil, 2007-2016. *Saúde em Debate*, SciELO Brasil, v. 44, p. 465–477, 2020.
- TAN, L. K.; LOW, S. L.; SUN, H.; SHI, Y.; LIU, L.; LAM, S.; TAN, H. H.; ANG, L. W.; WONG, W. Y.; CHUA, R. et al. Force of infection and true infection rate of dengue in singapore: implications for dengue control and management. *American journal of epidemiology*, Oxford University Press, v. 188, n. 8, p. 1529–1538, 2019.