



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MODELOS DE DECISÃO E SAÚDE -
DOUTORADO

**DAELF - NOVO MÉTODO PARA DETECÇÃO DE AGLOMERADOS ESPACIAIS
BASEADO EM LÓGICA *FUZZY* PARA ESTUDOS EPIDEMIOLÓGICOS**

JOSEMARY MARCIONILA FREIRE RODRIGUES DE CARVALHO
ROCHA

JOÃO PESSOA
2025

JOSEMARY MARCIONILA FREIRE RODRIGUES DE CARVALHO ROCHA

**DAELF - NOVO MÉTODO PARA DETECÇÃO DE AGLOMERADOS ESPACIAIS
BASEADO EM LÓGICA *FUZZY* PARA ESTUDOS EPIDEMIOLÓGICOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Modelos de Decisão e Saúde – Nível Doutorado, do Centro de Ciências Exatas e da Natureza da Universidade Federal da Paraíba, como requisito parcial para obtenção do título de Doutora.

Linha de pesquisa: Modelos de decisão

Orientadores:
Prof. Dr. Ronei Marcos de Moraes
Prof. Dr. Rodrigo Pinheiro de Toledo Vianna

JOÃO PESSOA
2025

Catalogação na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

R672d Rocha, Josemary Marcionila Freire Rodrigues de Carvalho.

DAELF - novo método para detecção de aglomerados espaciais baseado em lógica Fuzzy para estudos epidemiológicos / Josemary Marcionila Freire Rodrigues de Carvalho Rocha. - João Pessoa, 2025.
103 f. : il.

Orientação: Ronei Marcos de Moraes, Rodrigo Pinheiro de Toledo Vianna.

Tese (Doutorado) - UFPB/CCEN.

1. Epidemiologia - Métodos de aglomeração espacial.
2. Dengue - Tomada de decisão. 3. Lógica Fuzzy. I. Moraes, Ronei Marcos de. II. Vianna, Rodrigo Pinheiro de Toledo. III. Título.

UFPB/BC

CDU 616-036.22(043)

Ata da Sessão Pública de Defesa de Tese de
Doutorado de **JOSEMARY MARCIONILA
FREIRE RODRIGUES DE CARVALHO
ROCHA**, candidata ao Título de Doutora em
Modelos de Decisão e Saúde, realizada em **24
de fevereiro de 2025**.

Aos vinte e quatro dias do mês de fevereiro do ano de dois mil e vinte e cinco, às 13h00min, no Auditório do CCEN, instalou-se a banca examinadora de tese de Doutorado da aluna JOSEMARY MARCIONILA FREIRE RODRIGUES DE CARVALHO ROCHA. A banca examinadora foi composta pelos professores Dr. JODAVID DE ARAÚJO FERREIRA, UFPE, examinador externo, Dra. RAFAELLA QUEIROGA SOUTO, UFPB, Dra. VERA LÚCIA DAMASCENO TOMAZELLA, UFPB, Dra. LILIANE DOS SANTOS MACHADO, UFPB, e Dra. SUELLEN MARY MARINHO DOS SANTOS ANDRADE, UFPB, examinadoras internas, Dr. RODRIGO PINHEIRO DE TOLEDO VIANNA, UFPB, como orientador, e Dr. RONEI MARCOS DE MORAES, UFPB, como orientador e presidente da banca examinadora. Dando início aos trabalhos, o presidente da banca cumprimentou os presentes, comunicou aos mesmos a finalidade da reunião e passou a palavra a candidata para que se fizesse, oralmente, a exposição do trabalho de tese intitulado “NOVO MÉTODO PARA DETECÇÃO DE AGLOMERADOS ESPACIAIS BASEADO EM LÓGICA FUZZY PARA ESTUDOS EPIDEMIOLÓGICOS”. Concluída a apresentação a candidata foi arguida pela Banca Examinadora que emitiu o parecer “**APROVADA**”. Sendo assim, após a candidata proceder às devidas correções exigidas pela Banca Examinadora no prazo máximo de **30 dias** e depositar as cópias finais da tese, deverá a Coordenação expedir uma declaração de conclusão do Programa e a Universidade Federal da Paraíba deverá expedir o respectivo diploma de Doutora em Modelos de Decisão e Saúde, na forma da lei. E, para constar, o Prof. Hemílio Fernandes Campos Coêlho, Sr., Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Modelos de Decisão e Saúde, lavrou a presente Ata, que vai assinada por ele e pelos demais membros da Banca Examinadora. João Pessoa, 24 de fevereiro de 2025.

Prof. Ronei Marcos de Moraes _____
Orientador e Presidente

Prof. Rodrigo Pinheiro de Toledo Vianna _____
Orientador

Profa. Suellen Mary Marinho dos Santos Andrade _____
Examinadora Interna

Profa. Liliane dos Santos Machado _____
Examinadora Interna

Profa. Vera Lúcia Damasceno Tomazella _____
Examinadora Interna

Profa. Rafaella Queiroga Souto _____
Examinadora Externa ao Programa

Prof. Jodavid de Araújo Ferreira _____
Examinador Externo à Instituição



Documento assinado digitalmente

JODAVID DE ARAUJO FERREIRA
Data: 20/03/2025 16:55:15-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Emitido em 24/02/2025

ATA Nº 10/2025 - PPGMDS (11.01.14.54)
(Nº do Documento: 10)

(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

(Assinado digitalmente em 24/03/2025 14:07)
RONEI MARCOS DE MORAES
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
337967

(Assinado digitalmente em 25/03/2025 00:37)
LILIANE DOS SANTOS MACHADO
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
2379027

(Assinado digitalmente em 21/03/2025 13:42)
RODRIGO PINHEIRO DE TOLEDO VIANNA
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
1454201

(Assinado digitalmente em 21/03/2025 12:56)
SUELLEN MARY MARINHO DOS SANTOS
ANDRADE
COORDENADOR(A) DE CURSO
3054906

(Assinado digitalmente em 28/03/2025 13:36)
RAFAELLA QUEIROGA SOUTO
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
1762965

(Assinado digitalmente em 26/03/2025 14:52)
VERA LUCIA DAMASCENO TOMAZELLA
PROFESSOR MAGISTERIO SUPERIOR - VISITANTE
407221

Para verificar a autenticidade deste documento entre em
<https://sipac.ufpb.br/documentos/> informando seu número:
10, ano: 2025, documento (espécie): ATA, data de emissão:
21/03/2025 e o código de verificação: **d92d85bbdf**

AGRADECIMENTOS

Á Deus pela minha oportunidade de estudar e trilhar os caminhos acadêmicos.

Á minha mãe Maria do Rozário, luz dos meus dias por todo empenho, amor e dedicação a minha vida inteira.

Á Jade, minha maior fonte de inspiração e amor incondicional.

Á Jader Rocha, esposo e companheiro de uma vida inteira.

Ao Prof. Ronei Marcos meu orientador, pelo incentivo diário, pelos conselhos e direcionamentos. És uma fonte de conhecimento inesgotável. Sou eternamente grata por ter acreditado em mim e me permitir avançar em busca de um conhecimento inédito.

Ao prof. Rodrigo Viana pelos ensinamentos e orientações.

A Professora Liliane Machado pelas palavras de incentivo, determinação e conselhos para a conclusão desse trabalho.

Aos professores do programa, pelas aulas e conhecimentos.

Á Josean Carlos, meu irmão por sempre me apoiar nos estudos e na minha vida inteira.

Á Lucidalva Freire, pelos conselhos diários, pelo orgulho que tens em mim e por ter ficado sempre ao meu lado (por toda minha vida).

Á Luiz Henrique pela amizade, companheirismo e ajuda que foram cruciais para que os dias ficassem mais leves e a produção científica pudesse alcançar um alto nível. Agradeço ainda mais a oportunidade de fazer o doutorado e receber de presente a sua amizade que tenho certeza que será para a vida toda.

Aos amigos dos laboratórios, LEAPIG e LABTEVE pelas contribuições e companheirismo ao longo dessa trajetória.

Á Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro essencial para o andamento da pesquisa.

E a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram de alguma forma na construção deste trabalho.

RESUMO

No campo da epidemiologia, necessita-se de métodos que consigam detectar aglomerados espaciais em determinadas áreas geográficas tratando, ao mesmo tempo, o contexto espacial, dado que esta informação é vital para a compreensão do evento e para o processo de tomada de decisão. Métodos de aglomeração espacial associados com as incertezas presentes no processo saúde-doença, produzem resultados mais fidedignos do que se utilizados tradicionalmente. O objetivo do estudo foi desenvolver um novo método de aglomeração espacial utilizando a teoria da lógica *Fuzzy* aplicado à epidemiologia. Trata-se de um estudo ecológico, retrospectivo de abordagem quantitativa. Para construção e validação do novo método, utilizou-se dados da dengue de 2018 a 2023, e Covid-19 de 2020 a 2021 no estado da Paraíba. Comparou-se o novo método com o mapa de referência da Razão de Incidências Espacial, e com outros métodos de aglomeração espacial, demonstrando sua funcionalidade por meio de um sistema baseado em regras *Fuzzy*. O novo método apresentou resultados competitivos, dado que detectou aglomerados espaciais de valores altos em diversas áreas do estado da Paraíba, levando-se em consideração o mapa de referência da Razão de Incidências Espacial. Destaca-se ainda que o novo método pode subsidiar a tomada de decisões pelos gestores de saúde, tornando o planejamento de estratégias e ações de combate de mais efetivos.

Palavras-chave: Epidemiologia; Métodos de aglomeração espacial; Lógica *Fuzzy*; Dengue; Tomada de decisão.

ABSTRACT

In the field of epidemiology, methods are needed that can detect spatial clusters in certain geographic areas while also addressing the spatial context, since this information is vital for understanding the event and for the decision-making process. Spatial clustering methods associated with the uncertainties present in the health-disease process produce more reliable results than those used traditionally. The objective of the study was to develop a new spatial clustering method using the theory of Fuzzy logic applied to epidemiology. This is an ecological, retrospective study with a quantitative approach. To construct and validate the new method, data on dengue from 2018 to 2023 and Covid-19 from 2020 to 2021 in the state of Paraíba were used. The new method was compared with the reference map of the Spatial Incidence Ratio and with other spatial clustering methods, demonstrating its functionality through a system based on Fuzzy rules. The new method presented competitive results, since it detected spatial clusters of high values in several areas of the state of Paraíba, taking into account the reference map of the Spatial Incidence Ratio. It is also worth noting that the new method can support decision-making by health managers, making the planning of strategies and combat actions more effective.

Keywords: Epidemiology; Spatial clustering methods; *Fuzzy* Logic; Dengue; Decision making.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Arquitetura Geral dos Métodos de Aglomeração Espacial | 28 |
| Figura 2 - Grafo com seus nós e arestas | 48 |
| Figura 3 - Mapa das mesorregiões da Paraíba..... | 50 |
| Figura 4 - Funcionamento do DAELF com Entrada, Processamento e Saída dos dados | 52 |
| Figura 5 - Distribuição dos casos de dengue no estado da Paraíba de 2018 a 2023 | 57 |
| Figura 6 - Distribuição dos óbitos de COVID-19 no estado da Paraíba no mês de outubro de 2020 e janeiro de 2021 | 58 |
| Figura 7 - Funções de pertinência definidas para a variável linguística Razão de Incidências Espacial para dengue e COVID-19 do município em análise..... | 60 |
| Figura 8 - Funções de pertinência definidas para a variável linguística Razão de Incidências Espacial para dengue e COVID-19 da vizinhança do município em análise | 60 |
| Figura 9 - Funções de pertinência definidas para a variável linguística de saída Variável Decisão opção “Não aglomerado espacial”, “Aglomerado espacial de valor baixo” e “Aglomerado espacial de valor alto”..... | 61 |
| Figura 10 - Funções de pertinência definidas para a variável linguística de saída Variável Decisão opção “Não aglomerado espacial”, “Aglomerado espacial de valor alto”. | 65 |
| Figura 11 - Mapa do estado da Paraíba, Brasil, representando a Razão de Incidências Espacial de Dengue para o ano de 2018..... | 69 |
| Figura 12 - A) DAELF com aglomerados de valores altos, B) DAELF com aglomerados de valores altos e baixos de Dengue para o ano de 2018..... | 70 |
| Figura 13 - A) Estatística Scan, B) Besag e Newell, C) Getis-Ord, D) Estatística e E) Estatística Tango de casos de dengue em 2018..... | 71 |
| Figura 14 - Mapa do estado da Paraíba, Brasil, representando a Razão de Incidências Espacial de Dengue para o ano de 2019..... | 72 |
| Figura 15 - A) DAELF com aglomerados de valores altos, B) DAELF com aglomerados de valores altos e baixos de Dengue para o ano de 2019..... | 73 |
| Figura 16 - A) Estatística Scan, B) Besag e Newell, C) Getis-Ord, D) Estatística M e E) Estatística Tango de casos de dengue em 2019 | 74 |

| | |
|--|----|
| Figura 17 - Mapa do estado da Paraíba, Brasil, representando a Razão de Incidências Espacial de Dengue para o ano de 2020..... | 75 |
| Figura 18 - A) DAELF com aglomerados de valores altos, B) DAELF com aglomerados de valores altos e baixos de Dengue para o ano de 2020..... | 76 |
| Figura 19 - A) Estatística Scan, B) Besag e Newell, C) Getis-Ord, D) Estatística M e E) Estatística Tango de casos de dengue em 2020 | 77 |
| Figura 20 - Mapa do estado da Paraíba, Brasil, representando a Razão de Incidências Espacial de Dengue para o ano de 2021..... | 78 |
| Figura 21 - A) DAELF com aglomerados de valores altos, B) DAELF com aglomerados de valores altos e baixos de Dengue para o ano de 2021..... | 79 |
| Figura 22 - A) Estatística Scan, B) Besag e Newell, C) Getis-Ord, D) Estatística M e E) Estatística Tango de casos de dengue em 2021 | 80 |
| Figura 23 - Mapa do estado da Paraíba, Brasil, representando a Razão de Incidências Espacial de Dengue para o ano de 2022..... | 81 |
| Figura 24 - A) DAELF com aglomerados de valores altos, B) DAELF com aglomerados de valores altos e baixos de Dengue para o ano de 2022..... | 82 |
| Figura 25 - A) Estatística Scan, B) Besag e Newell, C) Getis-Ord, D) Estatística M e E) Estatística Tango de casos de dengue em 2022 | 83 |
| Figura 26 - Mapa do estado da Paraíba, Brasil, representando a Razão de Incidências Espacial de Dengue para o ano de 2023..... | 84 |
| Figura 27 - A) DAELF com aglomerados de valores altos, B) DAELF com aglomerados de valores altos e baixos de Dengue para o ano de 2023..... | 85 |
| Figura 28 - A) Estatística Scan, B) Besag e Newell, C) Getis-Ord, D) Estatística M e E) Estatística Tango de casos de dengue em 2023 | 86 |
| Figura 29 - Mapa do estado da Paraíba, Brasil, representando a Razão de Incidências Espacial de óbitos de COVID-19 para o mês de outubro de 2020 | 88 |
| Figura 30 - DAELF com aglomerados de valores altos e baixos de óbitos de COVID-19 para o mês de outubro de 2020..... | 89 |
| Figura 31 - A) Estatística Scan, B) Besag e Newell, C) Getis-Ord, D) Estatística M e E) Estatística Tango de óbitos de COVID-19 em outubro de 2020 | 90 |
| Figura 32 - Mapa do estado da Paraíba, Brasil, representando a Razão de Incidências Espacial de óbitos de COVID-19 para o mês de janeiro de 2021 | 91 |
| Figura 33 - A) DAELF com aglomerados de valores altos, B) DAELF com aglomerados de valores altos e baixos de óbitos de COVID-19 para o mês de janeiro de 2021 ... | 92 |

Figura 34 - A) Estatística Scan, B) Besag e Newell, C) Getis-Ord, D) Estatística M e
E) Estatística Tango de óbitos de COVID-19 em janeiro de 2021..... 93

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Principais t-normas e t-conormas..... | 45 |
| Tabela 2 - Percentuais de distância utilizados para rodar o DAELF | 54 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 1- Interpretação da Razão de Incidências Espacial | 24 |
| Quadro 2 - Interpretação da significância do índice local | 30 |
| Quadro 3 - Variáveis linguísticas, explanação da variável linguística, termos linguísticos e suporte utilizado no sistema Fuzzy baseado em regras para os casos de dengue e óbitos por COVID-19 no estado da Paraíba | 59 |

LISTA DE ALGORITMOS

| | |
|---|----|
| Algoritmo 1 - Algoritmo de funcionamento do DAELF com a fuzzificação da RIE do município e a RIE da vizinhança para um mapa final..... | 53 |
|---|----|

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|------------|--|
| RIE | Razão de Incidências Espacial |
| DAELF | Detecção de Aglomerados Espaciais Baseada em Lógica <i>Fuzzy</i> |
| SIG | Sistema de Informações Geográficas |
| COVID-19 | <i>coronavirus disease</i> 19 |
| SARS-CoV-2 | coronavírus 2 da síndrome respiratória aguda grave |
| ESPIN | Emergência em Saúde Pública de Importância Nacional |
| FIOCRUZ | Fundação Oswaldo Cruz |
| RT-PCR | Reação em Cadeia da Polimerase |
| IgM | Imunoglobulina M |
| IgG | Imunoglobulina G |
| SG | Síndrome Gripal |
| ANVISA | Agência Nacional de Vigilância Sanitária |
| SUS | Sistema Único de Saúde |
| GPS | Sistema de Posicionamento Global |
| IA | Inteligência Artificial |
| SE | Sistemas Especialistas |
| CEP | Comitê de Ética em Pesquisa |
| SINAN | Sistema de Informação de Agravos de Notificação |
| INPI | Instituto Nacional de Propriedade Industrial |
| LEAPIG | Laboratório de Estatística Aplicada ao Processamento de Imagens e Geoprocessamento |
| PPGMDS | Programa de Pós-graduação em Modelos de Decisão e Saúde |

LISTA DE NOTAÇÕES

| | |
|------------|---|
| R_+ | conjunto de números reais não negativos |
| D | conjunto de dados georreferenciados |
| f_1 | conjunto de coordenadas espaciais que define uma região |
| A | região geográfica |
| C | total número de casos registrados em A |
| a_i | geo-objeto |
| Z | conjunto de todas zonas circulares |
| p_z | probabilidade de casos dentro da zona z |
| c_z | casos registrados da zona z |
| n_z | indivíduos sob risco |
| $E(z)$ | expectativa de casos fora da zona z |
| d | distância crítica |
| W | matriz de proximidade |
| G_i | Índice global de Getis-ord |
| G_i | Índice local de Getis-ord |
| α | Nível de significância |
| n | população expressa de cada a_i |
| N | população na região geográfica A |
| x | Elementos de um conjunto |
| U | Universo |
| θ_1 | RIE do atual município |
| θ_2 | RIE da vizinhança do atual município |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 18 |
| 1.1 ARGUMENTO DE TESE..... | 19 |
| 1.2 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA | 19 |
| 1.3 CONTRIBUIÇÃO INÉDITA..... | 19 |
| 2 OBJETIVOS | 21 |
| 2.1 GERAL..... | 21 |
| 2.2 ESPECÍFICOS..... | 21 |
| 3 REFERENCIAL TEÓRICO | 22 |
| 3.1 ANÁLISE ESPACIAL NA EPIDEMIOLOGIA | 22 |
| 3.1.1 Razão de Incidências Espacial | 23 |
| 3.2 EPIDEMIOLOGIA ESPACIAL..... | 25 |
| 3.3 MÉTODOS DE AGLOMERAÇÃO ESPACIAL..... | 27 |
| 3.3.1 Estatística Scan Espacial | 28 |
| 3.3.2 Índices de Getis e Ord | 29 |
| 3.3.3 Besag Newell | 31 |
| 3.3.4 Estatística M | 32 |
| 3.3.5 Método Tango..... | 32 |
| 3.4 EPIDEMIOLOGIA DA COVID-19 NO BRASIL E NO MUNDO | 33 |
| 3.4.1 Epidemiologia do SARS-CoV-2 no Brasil | 34 |
| 3.4.2 Epidemiologia do SARS-CoV-2 no estado da Paraíba..... | 35 |
| 3.4.3 Transmissão e diagnóstico | 36 |
| 3.4.4 Tratamento | 37 |
| 3.4.5 Novas variantes do coronavírus e vacinas da COVID-19..... | 38 |
| 3.5 EPIDEMIOLOGIA DA DENGUE..... | 40 |
| 3.5.1 Conceito e Epidemiologia da Dengue | 40 |

| | |
|--|-----------|
| 3.5.2 Principal Vetor e Agente Etiológico | 41 |
| 3.5.3 Controle e Prevenção | 42 |
| 3.5.4 Fisiopatologia | 42 |
| 3.5.5 Manifestações Clínicas | 43 |
| 3.5.6 Diagnóstico | 43 |
| 3.5.7 Tratamento | 43 |
| 3.6 CONJUNTOS <i>FUZZY</i> , LÓGICA <i>FUZZY</i> E SISTEMA BASEADO EM REGRAS <i>FUZZY</i> | 44 |
| 3.7 TEORIA DOS GRAFOS | 47 |
| 4 CONSIDERAÇÕES METODOLÓGICAS | 50 |
| 4.1 ÁREA DO ESTUDO E CARACTERIZAÇÃO | 50 |
| 4.2 NOVO MÉTODO PARA DETECÇÃO DE AGLOMERADOS ESPACIAIS BASEADO EM LÓGICA <i>FUZZY</i> (DAELF) | 51 |
| 4.2.1 Aplicação do novo método Detecção de Aglomerados espaciais Baseado em Lógica <i>Fuzzy</i> (DAELF) | 53 |
| 4.4 ANÁLISE DOS DADOS | 55 |
| 4.5 ASPETOS ÉTICOS | 55 |
| 5 RESULTADOS | 56 |
| 6 DISCUSSÃO | 95 |
| 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 97 |
| PRODUÇÃO BIBLIOGRÁFICA | 98 |
| REFERÊNCIAS | 99 |

1 INTRODUÇÃO

Na área de análise espacial, os métodos de aglomeração espacial objetivam constatar regiões significativas e não significativas de um evento em estudo, diante de uma região geográfica, utilizando informações georreferenciadas. O interesse deriva da descoberta se o evento possui uma distribuição espacial aleatória ou se apresenta aglomerados espaciais (ANSELIN, 1995). Na prática, cada método trabalha com diferentes metodologias e produz resultados diferentes uns dos outros. Esses resultados não representam, com precisão, a real distribuição desses eventos. Como a distribuição real não é conhecida, pode-se usar mapas de referência para verificar os resultados, como por exemplo a Razão de Incidências Espacial (RIE) (LIMA *et al.*, 2019).

Os estudos que utilizam métodos de aglomeração espacial têm avançado, dado que investigar as patologias com base em sua localização no espaço geográfico e no tempo relaciona o indivíduo e o processo saúde-doença com o ambiente no qual ele vive. Esses estudos têm sido descritos devido à sua relevância para a saúde pública pela sua capacidade de identificar a distribuição da doença e fatores de risco associados aos diversos níveis populacionais (MENZORI, 2017).

A tomada de decisão acerca desses métodos é permeada pela incerteza presente nos dados coletados. Logo a criação de teorias que auxiliam no tratamento da incerteza vem avançando durante os anos. Inspirado na teoria desenvolvida por Zadeh (1965), atualmente, sistemas baseados na lógica *Fuzzy* são aplicados em diversos campos do conhecimento, utilizando variados modelos de inferência, embora o modelo Mamdani seja usualmente o mais empregado (CHAI; JIA; ZUNDONG, 2009).

Dessa forma, a utilização de métodos de aglomeração espacial como entrada para um sistema baseado em regras *Fuzzy* (SBRF) se faz uma importante ferramenta que pode melhorar o desempenho computacional e eficácia desses métodos. Melo e Moraes (2018) conseguiram identificar áreas prioritárias para intervenção a partir de um modelo para Gestão do Combate ao Dengue Usando Lógica *Fuzzy*.

O método proposto, denominado “Detecção de Aglomerados Espaciais Baseada em Lógica *Fuzzy*” (DAELF), foi construído a partir da teoria da lógica *Fuzzy* e aplicado para estudos epidemiológicos. O mesmo foi testado com dados da Covid-19 e da dengue no Estado da Paraíba.

1.1 ARGUMENTO DE TESE

Defende-se a tese que a construção de um novo método para detecção de aglomerados espaciais baseado em lógica *Fuzzy* para estudos epidemiológicos, permite um novo caminho na área da epidemiologia espacial. Este estudo e suas características tangem a interdisciplinaridade e contribuem com várias áreas do conhecimento, principalmente nas Ciências Exatas e da Saúde, abrindo uma nova área de estudo, por ser um método lógico. Essa forma de métodos lógicos podem ajudar na compreensão das razões pelas quais um geo-objeto é elencado como de valor alto ou valor baixo, a partir das regras ativadas.

1.2 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

A partir de uma extensa pesquisa sobre a literatura científica, não foram encontrados trabalhos que abordem a construção de um método lógico para detecção de aglomerados espaciais baseado em lógica *Fuzzy* para estudos epidemiológicos. Os atuais métodos divergem em seus resultados, por exemplo, para o mesmo conjunto de dados.

Do ponto de vista epidemiológico, a escolha da dengue e Covid-19 para aplicação do novo método justifica-se pela crescente necessidade de detecção de aglomerados espaciais dessas doenças na região geográfica, o que possibilita um combate mais efetivo dado a detecção da presença do agente transmissor.

A relevância do estudo se destaca pelo fato de que, através da detecção precoce de casos, pode-se planejar estratégias mais eficientes, como campanhas ou medidas de bloqueio, identificar áreas específicas onde há maior concentração de aglomerados espaciais, pode facilitar a otimização de recursos por parte dos gestores públicos de saúde, além de que se pode compreender aspectos geográficos, sociais e demográficos que influenciam diretamente na disseminação de doença.

1.3 CONTRIBUIÇÃO INÉDITA

Os métodos de aglomeração espacial podem ser aplicados a qualquer área de problemas de análise de aglomeração espacial. Para a área das Ciências Exatas a contribuição será a criação de um novo método que se baseia em Lógica *Fuzzy*, que

não foi encontrado similar na literatura científica. A contribuição para a área das Ciências da Saúde é um novo olhar sobre a detecção de aglomerados espaciais, sobre os dados da COVID-19 e Dengue e para essa nova abordagem pode ser aplicada a estudos epidemiológicos de uma maneira geral na área espacial.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

- Desenvolver um novo método de detecção de aglomerados espaciais baseado em lógica *Fuzzy* (DAELF) para estudos epidemiológicos.

2.2 ESPECÍFICOS

- Testar métodos de aglomeração espacial;
- Averiguar os métodos de aglomeração espacial com a RIE;
- Analisar o desempenho dos métodos de aglomeração espacial;
- Comparar DAELF com alguns métodos de aglomeração espacial.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 ANÁLISE ESPACIAL NA EPIDEMIOLOGIA

O Geoprocessamento é caracterizado como sendo um conjunto de técnicas de coleta, tratamento e exibição de informações referenciadas geograficamente, funcionando como uma ferramenta de visualização de eventos epidemiológicos em mapas. (SANTOS, *et al.*, 2004). Destacam-se: sensoriamento remoto, digitalização dos dados, automação de tarefas cartográficas, Sistema de Posicionamento Global (GPS) e Sistema Informações Geográficas (SIG) (SANTOS, *et al.*, 2004).

Um SIG pode ser definido como um sistema de suporte à decisão que integra dados referenciados espacialmente num ambiente de respostas a problemas. A aplicação do SIG na pesquisa em saúde oferece aos pesquisadores novos métodos para o manejo da informação espacial, tornando-se uma poderosa ferramenta para conexão entre saúde e ambiente (SANTOS, *et al.*, 2004). Para isso, é necessário compreender conceitos inerentes à área, sendo um desses conceitos o espaço geográfico que pode ser definido, como sendo uma coleção de localizações na superfície da Terra, onde ocorrem os fenômenos geográficos, portanto definindo-se, em função de suas coordenadas, sua altitude e sua posição relativa, possível de ser cartografado (DOLFUD, 1991).

O espaço geográfico é modelado no geoprocessamento segundo duas visões complementares: os geo-campos e os geo-objetos (WORBOYS, 1995). Geo-campo representa a distribuição espacial de uma variável, que possui valores em todos os pontos pertencentes a uma região do espaço geográfico, num dado tempo. (SANTOS, *et al.*, 2004). Geo-objetos (ou objetos geográficos) são entidades distintas e localizáveis que compõem uma determinada região do espaço geográfico, ou seja, são os componentes urbanos identificáveis (WORBOYS, 1995).

As ciências e/ou ramos do conhecimento que fazem uso de dados ou informações espaciais para suas análises devem trabalhar com a localização dos mesmos, basicamente, a partir de duas únicas maneiras: georreferenciando-os, de forma absoluta, a partir de pares de coordenadas; ou associando-os às unidades espaciais de representação e análise. Acima de tudo, a união, os municípios e estados, são considerados unidades espaciais de representação e análise, e neste caso, mais precisamente, unidades político-administrativas da República Federativa

do Brasil (IBGE, 2010). Além destas unidades citadas, pode-se destacar os distritos, que são unidades administrativas dos municípios. Sua criação, desmembramento ou junção dependem de Leis Municipais, que devem observar a continuidade territorial e os requisitos previstos em Legislação.

Os distritos podem ser subdivididos em unidades administrativas denominadas subdistritos, regiões administrativas, zonas ou outra denominação específica. As análises espaciais refletem a distribuição da doença em diferentes escalas, subsidiando na tomada de decisões dos responsáveis pela saúde pública, bem como adotar estratégias mais restritivas e/ou priorizar locais com maior incidência da doença, investigando sua causa, e/ou alocando maior quantidade de insumos. Além disso, a divulgação de resultados como os mapas, auxiliam na conscientização da sociedade, dando uma nova percepção da população sobre a doença (IBGE, 2010).

3.1.1 Razão de Incidências Espacial

A Razão de Incidências Espacial (RIE) é um indicador que calcula a razão de duas incidências, ou seja, é calculado a incidência de um fenômeno pela incidência em toda região geográfica estudada. Uma mostra os casos observados em uma sub-área com relação à população sob risco dessa mesma sub-área. E a segunda apresenta a incidência do total de casos observados em relação ao total da população sob risco (SÁ, *et al.*, 2020).

É uma medida espacial que tem como objetivo conhecer a contribuição relativa de casos observados em relação à população de uma determinada área. Para compreender a RIE, é necessário definir duas entidades importantes na análise espacial: a região geográfica e o geo-objeto. A região geográfica é uma área geográfica delimitada de estudo e sobre a qual os eventos de interesse ocorrem. Pode ser representada por uma coleção de objetos distintos e localizáveis geograficamente dentro dela; estes, por sua vez, podem ser chamados geo-objetos (GOODCHILD, 1992).

A RIE é obtida pela equação seguinte (SÁ, *et al.*, 2020):

$$RIE(a_i) = \frac{\frac{ca_i}{na_i}}{\frac{\sum_{j=1}^A ca_j}{\sum_{j=1}^A na_i}} = \frac{\frac{ca_i}{na_i}}{\frac{C}{N}} \quad (1)$$

onde: a_i são geo-objetos distribuídos pela região geográfica A . A variável c representa a ocorrência de casos nos geo-objetos a_i , e n é a população expressa de cada a_i . N representa o total da população no mesmo espaço geográfico A e C é o total dos casos do espaço geográfico.

O quadro abaixo mostra a interpretação da RIE:

Quadro 1- Interpretação da Razão de Incidências Espacial

| RAZÃO DE INCIDÊNCIA ESPACIAL | CLASSES DA RAZÃO DE INCIDÊNCIAS ESPACIAL |
|------------------------------|---|
| 0 | Quando não foram registra dos casos na região. |
| $0 \leq RIE < 0,5$ | A RIE na sub-área é menor do que a metade da incidência em toda região geográfica. |
| $0,5 \leq RIE < 1$ | A RIE na sub-área é maior ou igual à metade e inferior à incidência em toda a região geográfica. |
| $1 \leq RIE < 1,5$ | A RIE na sub-área é maior ou igual à incidência em toda a região geográfica, mas não a excede em mais do que 50%. |
| $1,5 \leq RIE < 2$ | A RIE na sub-área é maior ou igual à 1,5 vezes a incidência em toda a região geográfica, mas não a excede em mais do que 2 vezes. |
| $RIE \geq 2$ | A RIE na sub-área é maior ou igual à 2,0 vezes a incidência em toda a região geográfica. |

Fonte: Quadro adaptado de Lima *et al.*, 2019

Os mapas da RIE servem como referência e possibilita a padronização das informações em função da população sob risco dos geo-objetos, relacionando a incidência de cada geo-objeto à incidência da região geográfica em um determinado período de tempo (LIMA *et al.*, 2019). Por essa razão, ela possibilita a comparação direta entre os geo-objetos de um mesmo mapa.

3.2 EPIDEMIOLOGIA ESPACIAL

A epidemiologia é definida como a ciência que estuda o processo saúde-doença, analisando a distribuição e os fatores das enfermidades e dos agravos à saúde pública, sugerindo medidas efetivas de prevenção, de controle ou de erradicação. Um exemplo clássico na tomada de decisão epidemiológica é a identificação de subáreas prioritárias para intervenção em região geográfica para controle ou prevenção de algum tipo de doença. Esse mapeamento fornece as bases para os gestores públicos de saúde (tomadores de decisão) a fim de definir políticas específicas de saúde (LIU *et al.*, 2020).

A pesquisa de dados espaciais em saúde iniciou-se no século XIX, com John Snow, que buscou analisar a epidemia da cólera na região de Soho em Londres, em 1854, conseguindo encontrar uma associação das mortes por cólera e as bombas públicas que abasteciam a cidade, apontando a causa da epidemia (MEDRONHO; BLOCH; WERNECK, 2009). Atualmente, percebeu-se a exigência de elaboração de técnicas de controle de agravos e para tanto várias metodologias de análise de dados espaciais têm sido utilizadas na caracterização epidemiológica das doenças na busca da evolução dos controles epidemiológicos.

A utilização de metodologias que melhor destaca processos ambientais e sociais que interferem nos padrões de transmissão de doenças é de grande importância para adoção de medidas eficazes de prevenção e controle. Assim, a estratificação do espaço, segundo indicadores socioambientais, acrescida das informações relativas ao nível de endemicidade da área, constitui um instrumento de apoio ao planejamento das ações de controle (RESENDES, 2010).

Os eventos relacionados a saúde, tais como doenças, mortes, nascimentos, risco de exposição ou outro evento, podem ser referenciados geograficamente. O estudo da distribuição geográfica e associação espacial dos eventos de saúde pode ser chamado de epidemiologia espacial, área que estuda a distribuição geográfica da saúde e da doença, com o uso de mapas, índices ou taxas de incidência, permitindo a análise refinada da disseminação e dos padrões espaciais de um determinado evento (ELLIOT; WAKEFIELD, 2000).

Na área da saúde há importantes contribuições para a compreensão dos processos de saúde-doença e pode levar a resultados diferentes daqueles obtidos em estudos em que não é considerado o espaço geográfico. Então, além da

descrição das características das populações é necessário identificar onde ocorrem os casos, localizando o risco potencial das áreas ambientais e sociais vulneráveis (CARVALHO; SOUZA-SANTOS, 2005).

Sendo assim, as técnicas estatísticas tradicionais usadas para analisar dados sociais, econômicos, ambientais e de saúde, embora sejam importantes e úteis não associam as ocorrências num contexto espacial. Como o processo saúde-doença é um resultado direto dos fatores de risco biológicos, sociais e ambientais que influenciam a saúde e bem-estar das populações precisam ser integradas dentro de estudos que utilizam a epidemiologia espacial onde os indivíduos são vistos em seu ambiente social, econômico e cultural, juntamente com a carga biológica (SUSSER, 1996).

A incorporação da informação espacial aos métodos estatísticos, por vezes, podem auxiliar as autoridades públicas numa avaliação mais rápida, confiável e válida em saúde. Tudo isso contribui para um melhor entendimento da compreensão dos problemas de saúde da atualidade (MEDRONHO; BLOCH; WERNECK, 2009).

A aplicação da estatística espacial – que é o conjunto de métodos de análise de dados em que a localização geográfica é utilizada explicitamente na análise – é essencial para compreender a propagação e distribuição dos agravos, tendo a finalidade de descrever, quantificar e explicar as variações geográficas da doença, avaliar a associação entre a incidência e os fatores de risco e identificar o potencial de agregação espacial das doenças (ELLIOT; WAKEFIELD, 2000). Levando em consideração doenças onde o território tem um fator para o acontecimento, essa variação deve ser analisada sistematicamente, a fim de entender se esta é condicionada por fatores ambientais ou sociais (BHOPAL, 2007).

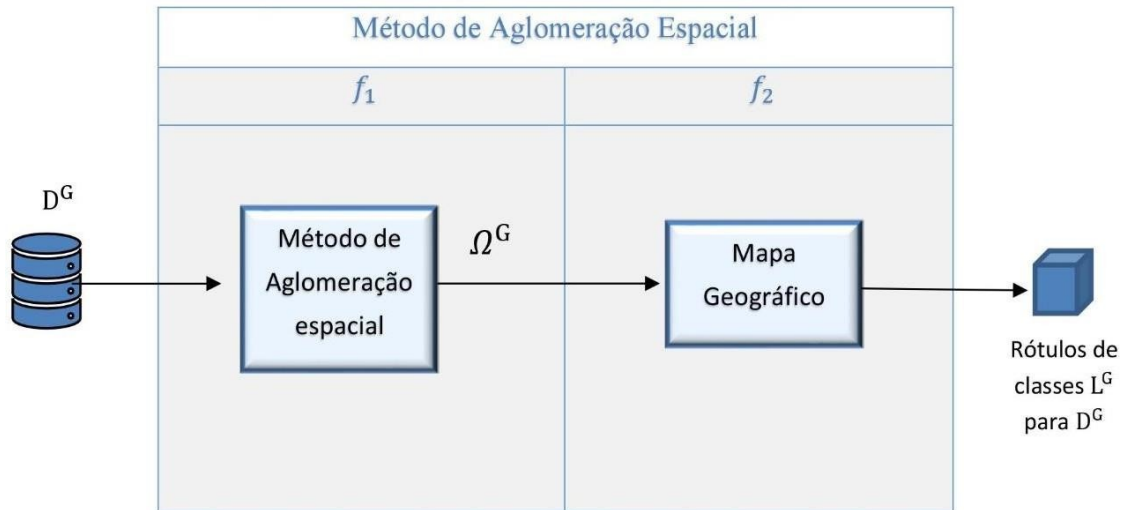
Na área da epidemiologia espacial é possível encontrar aplicações em diversas áreas e utilizando métodos variados, como exemplos tem-se os estudos que analisaram a epidemiologia espacial de violência entre parceiros íntimos (GRACIA *et al.*, 2015), análise espacial da dengue (HOLMES, 2015), distribuição espacial de casos e óbitos de Covid-19 no estado da Paraíba (SILVA, *et al.*, 2023), análise comparativa de métodos de aglomeração espacial Getis-Ord e Besag e Newell para epidemiologia da dengue Paraíba (ROCHA; SILVA; MORAES, 2024).

3.3 MÉTODOS DE AGLOMERAÇÃO ESPACIAL

Na epidemiologia, as pesquisas que utilizam métodos de análise espacial têm avançado, visto que analisar as doenças segundo a sua localização no espaço e no tempo relaciona o homem e o processo saúde-doença com o ambiente no qual ele vive. Essas pesquisas têm sido descritas devido à sua importância para a saúde pública pela sua capacidade de mapear a distribuição da doença e fatores de risco a níveis populacionais. Nesse contexto, a utilização dos métodos aglomeração espacial se mostra como uma ferramenta muito útil para o estudo das dinâmicas da distribuição espacial que permite detectar as regiões geográficas que apresentam maior risco epidemiológico (SKALINSKI; COSTA; TEIXEIRA, 2019).

Um método de aglomeração espacial, pode ser visto como uma composição de funções f_1 e f_2 , como ilustrado na Figura 1. Formalmente, seja $G \in +R_+^z$, onde R_+ (o conjunto de números reais não negativos), seja um conjunto de coordenadas geográficas numa região, sobre a qual os geo-objetos z são apresentados, $G = \{z_1, \dots, z_k\}$ ou seja, é um mapa geográfico. Considerando D um conjunto de dados georreferenciados relativo a um geo-objeto em G e $\Omega \in [0,1]$ é o p-valor calculado pelo método de aglomeração espacial para o geo-objeto. Tem-se que, o domínio da primeira função da composição, denotada por f_1 , é o conjunto de coordenadas espaciais que define uma região, com um conjunto de dados georreferenciados, que é denotado por D^G . O co-domínio para f_1 é o conjunto de p-valores calculados pelo método de aglomeração espacial para cada geo-objeto em G , que é denotado por Ω^G (Figura 1). O mapa final é proporcionado pela segunda função da composição, denotada por: f_2 , que tem seu domínio em Ω^G e seu co-domínio é um conjunto de rótulos de classe L^G (SÁ, 2019).

Figura 1 - Arquitetura Geral dos Métodos de Aglomeração Espacial



Fonte: Adaptado de SÁ, 2019.

Alguns dos métodos mais utilizados na área da estatística espacial e de epidemiologia espacial são: Getis e Ord (ANSELIN, 1992), Estatística Scan Espacial (KULLDORFF; NAGARWALL, 1995), Besag e Newell (BESAG; NEWELL, 1991) Estatística M (ROGERSON, 2001) e Método Tango (TANGO, 1995).

3.3.1 Estatística Scan Espacial

A Estatística espacial scan, proposta de Kulldorff e Nagarwalla, objetiva detectar aglomerados espaciais, nos quais a ocorrência de um fenômeno é significativamente provável em relação a outros. Um grafo é criado, onde o centróide de cada geo-objeto a_i é um nó e as relações de vizinhança são dadas por arcos. Modelos probabilísticos, podem ser utilizados na scan, mas, em estudos epidemiológicos, quando as variáveis são constituídas por dados de contagem, o tamanho da população é grande e a incidência da doença é baixa, utiliza-se com o modelo de Poisson (KULLDORFF; NAGARWALLA, 1995).

Seja N o número total de indivíduos na população em risco na região geográfica A e seja C o total de casos registrados em A . A partir de um centróide de um geo-

objeto a_i , um círculo é construído, onde seu raio varia continuamente de zero até atingir uma porcentagem pré-definida da população sob risco (não mais que 50%). Seja Z um conjunto de todas as zonas circulares geradas por estes critérios, $p_z = c_z/n_z$ a probabilidade de casos dentro da zona z , com c_z casos registrados e n_z indivíduos sob risco. Além disso, $(C - c_z)/(N - n_z)$ denota a probabilidade da ocorrência de casos fora da zona z , formalmente a razão de verossimilhança é dada por (SÁ, *et al.*, 2020):

$$\lambda = \begin{cases} z \in Z \left(\frac{c_z}{E(z)} \right)^{c_z} \left(\frac{C-c_z}{C-E(z)} \right)^{(C-c_z)}, & \text{se} \\ \frac{c_z}{E(z)} > \frac{C-c_z}{C-E(z)} \\ 1, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (2)$$

onde $E(z) = \frac{c_{nz}}{N}$, denota a expectativa de casos fora da zona z .

Dessa forma, o raio circular se inicia em um único centroide e, para cada novo centróide envolvido pelo círculo, o valor de λ é calculado através da equação 2. Em seguida, após todos os resultados serem armazenados, computa-se o p-valor usando simulações de Monte Carlo (KULLDORFF; NAGARWALLA, 1995).

3.3.2 Índices de Getis e Ord

Sabendo que a região geográfica é denominada de A , e o conjunto de geo-objetos é S , Getis e Ord introduziram as estatísticas G_i e G_i^* como meios alternativos de medidas de associação espacial, estes podem ser aplicados a dados onde a distribuição é não-normal, tendo por objetivo fazer uma medida de autocorrelação espacial não-paramétrica. As estatísticas de Getis e Ord são estimadas por grupos de vizinhos da distância crítica de cada área $a_i = 1, \dots, i$, onde $i = 1, \dots, S$. A distância crítica formada por uma matriz de proximidade W , cujos elementos são formados em função da distância crítica $a_{ij}(d)$.

Eles propuseram duas funções estatísticas: o índice global $G(d)$, que é similar às medidas tradicionais de autocorrelação espacial, e os índices locais $G_i(d)$ e $G_i^*(d)$, que são medidas de associação espacial para cada área a_i (ANSELIN, 1992).

Nesse caso, utilizaremos os índices locais $G_i(d)$ e $G_i^*(d)$ que são uma medida de associação para cada unidade espacial individual para cada observação i , onde estes índices indicam a extensão a que essa posição é cercada por valores elevados ou por valores baixos para a variável (ANSELIN, 1992).

A estatística local mede a associação em cada unidade espacial para cada observação i , em que $G_i(d)$ e $G_i^*(d)$ mostram a posição cercada por valores altos ou baixos para a variável. A equação do $G_i(d)$ para cada observação i e distância d é mostrada da seguinte forma (SÁ, *et al.*, 2020):

$$G_{a_i}(d) = \frac{\sum_j w_{a_{ij}}(d) c_{a_i}}{\sum_j c_{a_j}} \quad (3)$$

onde a soma é realizada sobre todas as posições de j excluindo-se a posição i .

O Quadro 2, demonstra a interpretação da significância do índice local:

Quadro 2 - Interpretação da significância do índice local

| VALORES | ÍNDICES |
|--------------|--|
| Negativos*** | Índice Negativo com p-valor menor que 0,005; |
| Negativos** | Índice Negativo com p-valor entre 0,005 e 0,025; |
| Negativos* | Índice Negativo com p-valor entre 0,025 e 0,05; |
| Negativos | Índice Negativo com p-valor acima de 0,05; |
| Positivos | Índice Positivo com p-valor acima de 0,05; |
| Positivos* | Índice Positivo com p-valor entre 0,025 e 0,05; |
| Positivos** | Índice Positivo com p-valor entre 0,005 e 0,025; |
| Positivos*** | Índice Positivo com p-valor menor que 0,005; |

Fonte: Adaptado de SÁ, 2019.

Dessa forma, o índice local é definido da seguinte forma: os valores padronizados positivos e significantes (p-valor < 5%) informam uma aglomeração espacial de valores altos. Os valores das estatísticas padronizados negativos e significantes (p-valor < 5%) indicam uma aglomeração espacial de valores baixos.

3.3.3 Besag Newell

O método Besag-Newell é semelhante à estatística scan espacial, porém procura zonas circulares z , com k ou mais casos dentro desse círculo. O processo começa com um centróide do geo-objeto a_i e um círculo com raio de valor zero centrado nele (BESAG; NEWELL, 1991). Se houver k ou mais casos neste geo-objeto, o processo é interrompido. Caso essa condição seja falsa, o tamanho do raio aumenta até cobrir o centróide mais próximo e verifica a soma de casos novamente.

Portanto, o resultado do método Besag-Newell é baseado no número de casos de cada centróide. A estatística de teste é dada pela variável aleatória L_{a_i} , que representa o mínimo de áreas circulares necessárias para atingir um valor k de casos que estão mais próximos do centróide do geo-objeto a_i .

Seja $c_{j(a_i)}$ o número de casos e seja $n_{j(i)}$ a população acumulada das j áreas mais próximas do centróide de geo-objeto a_i . Então, L_{a_i} é definido como (SÁ, *et al.*, 2020):

$$L_{a_i} = \min\{a_i: c_{j(a_i)} \geq k\} \quad (4)$$

e a existência de um aglomerado espacial é verificada para cada centróide. O nível de significância do teste é definido por $P(L_{a_i} \leq l_{a_i}) = 1 - P(L_{a_i} \leq l_i)$, onde L_{a_i} denota o valor observado para L_i , que testa a hipótese nula da ausência de um aglomerado espacial. Assim, a medida de significância, p-valor p_k , para uma base de teste no centróide do geo-objeto a_i é (SÁ, *et al.*, 2020):

$$pk(a_i) = P(L_{a_i} \leq l_{a_i}) = 1 - \sum_{j=1}^{k-1} \frac{(n_{j(a_i)}^{C/N})^j}{j!} e^{-n_{j(a_i)}^{C/N}} \quad (5)$$

onde $n_{j(a_i)}$ é a população sob risco das j áreas fechadas do centroide no geo-objeto a_i .

3.3.4 Estatística M

A estatística M foi proposta por Rogerson (2001). As observações originais denominadas c_{a_i} , ou seja, o número de registrados casos no geo-objeto a_i é padronizado, para obtenção de y_i . Para o modelo de Poisson, y_i é dado por (SÁ, et al., 2020):

$$y_i = \frac{(c_{a_i} - E(c_{a_i}))}{\sqrt{E(c_{a_i})}}, \quad (6)$$

onde $E(c_{a_i}) = \frac{c_{n_i}}{N}$. Formalmente, a estatística M é dada por (SÁ, et al., 2020):

$$M = \max_{y_i} \left(\frac{\sum_j w_{a_i a_j}(d) y_i}{\sqrt{\sum_j w^2_{a_i a_j}}} \right) \quad (7)$$

onde $w_{a_i a_j}(d) = \frac{\exp(-d_{ij}^2/2\sigma^2)}{\sqrt{\pi}\sigma}$, $i, j = 1, \dots, S$, denota o peso gaussiano entre os geo-objetos a_i e a_j . Assim, a detecção de aglomerados espaciais dado pelo valor crítico M^* , é dado formalmente por $p(M = \max_{y_i} > M^*) = \alpha$, e escrita como:

$$M^* = \sqrt{-\sqrt{\pi} \ln \left(\frac{4\alpha(1+0,8\sigma^2)}{n} \right)} \quad (8)$$

onde o nível de significância α .

3.3.5 Método Tango

Este método foi proposto por Tango (1995), e analisa a quantidade de observações de cada sub-regiões, não analisando a diferença entre o número de observações e o número esperado de observações, levando em consideração a população de cada sub-regiões. Neste método os dados não precisam possuir distribuição normal.

Tango (1995) definiu os Eventos de Teste Excedentes como (SÁ, et al., 2020):

$$T = \sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^S w_{a_{iaj}}(d) (c_{a_i} - n_{a_i} \frac{c}{N})(c_{a_j} - n_{a_j} \frac{c}{N}) \quad (9)$$

onde $w_{a_{iaj}}(d)$ pode ser calculado de diferentes formas, por exemplo, forma binária, onde se os geo-objetos forem adjacentes $w_{a_{iaj}}(d) = 1$ e $w_{a_{iaj}}(d) = 0$, caso contrário, ou por meio de parâmetros ajustáveis, como:

$$w_{a_{iaj}}(d) = \exp \left[-4 \left(\frac{d_{ij}}{\lambda} \right)^2 \right] \quad (10)$$

onde λ é a medida máxima do tamanho do cluster.

3.4 EPIDEMIOLOGIA DA COVID-19 NO BRASIL E NO MUNDO

Em dezembro de 2019, diversos casos de pneumonia de etiologia desconhecida surgiram em Wuhan, China. Ao investigar amostras do trato respiratório de pacientes descobriu-se que se tratava de uma doença causada por coronavírus, no entanto, um novo subtipo denominado SARS-CoV-2. Estudos identificaram a presença do SARS-CoV-2 em esgoto de Santa Catarina, Brasil, em novembro de 2019, na Itália entre fevereiro e abril de 2020 (FONGARO *et al.*, 2020; ROSA *et al.*, 2020). De modo geral, a infecção por SARS-CoV-2 passou a se chamar COVID-19 (Coronavirus Disease 2019) que rapidamente disseminou-se para o exterior da China e outras regiões do mundo, sendo decretada em janeiro de 2020, uma emergência de Saúde Pública Global e em março de 2020 uma pandemia (WHO, 2021).

O SARS-CoV-2, quando visto ao microscópio eletrônico, possui aparência típica de coroa devido à presença de elevações formadas por glicoproteínas (LU *et al.*, 2020). Pesquisa realizada com pacientes que frequentaram um mercado de frutos do mar em Wuhan, identificou que a sequência genética do vírus era 99,98% idêntica entre todos os pacientes e que o novo subtipo (SARS-CoV-2) pertence ao grupo dos betacoronavírus (LU *et al.*, 2020).

Os processos de fisiopatologia e virulência estão altamente associados com as proteínas estruturais do hospedeiro. O fato do SARS-CoV-2 ligar-se rapidamente aos receptores da Enzima Conversora de Angiotensina (ECA) auxiliam na sua disseminação e aumento da patogenicidade (CHEN *et al.*, 2020). O mecanismo patogênico que produz pneumonia ainda é particularmente complexo. Sabe-se que a

Interleucina 6 (IL-6) é um dos principais marcadores envolvidos nesse mecanismo (CHEN *et al.*, 2020).

No fim da pandemia de Covid-19, foram mais de 762.791.152 milhões de casos e mais de 6.897.025 milhões de óbitos. Todavia, o quantitativo de casos é subestimado com relação à carga viral da COVID-19, uma vez que, apenas uma pequena quantidade de casos é notificada pelos sistemas de informação em saúde. Estudos realizados nos Estados Unidos (HAVERS *et al.*, 2020) e Europa (STRINGHINI *et al.*, 2020) identificaram que a taxa de exposição ao vírus é maior ou igual a 10 vezes a incidência relatada nos meios de comunicação oficiais.

Os Estados Unidos é o país com maior número de casos reportados, cerca de 19 (23,97%) milhões de casos, seguido pela Índia com mais de 10 (12,38%) milhões, pelo Brasil com cerca de 7,7 (9,24%) milhões e pela Rússia com mais de 3,2 (3,88%) milhões (WHO, 2021).

Desde as primeiras informações em Wuhan, China, a pandemia avança cada vez mais pelo mundo e a sua mitigação só poderá ser alcançada, na ausência de um tratamento, por meio da combinação de medidas de prevenção e precaução em saúde pública como o rápido diagnóstico, gestão dos casos e rastreamento dos contatos (WHO, 2021).

3.4.1 Epidemiologia do SARS-CoV-2 no Brasil

No Brasil, a portaria nº188, publicada em 3 de fevereiro de 2020 (BRASIL, 2020), destacou a Emergência em Saúde Pública de Importância Nacional (ESPIN) em decorrência da infecção humana pelo novo coronavírus (2019-nCoV) e, simultaneamente, foi estabelecido o Centro de Operações de Emergências em Saúde (COE-nCoV) como órgão gestor para planejamento, implementação e avaliação das ações em saúde no decorrer da emergência a nível nacional.

A COVID-19 foi reportada em todos os estados brasileiros, sendo São Paulo considerado o epicentro da doença, seguido por Minas Gerais, Santa Catarina e Bahia, sendo Rio Grande do Sul, Roraima e Distrito Federal, os estados que apresentam maiores as incidências da doença (BRASIL, 2020). Todavia, sabe-se que o isolamento social não ocorreu como preconizado no país, por exemplo, que registrou 41,80% de isolamento no início de 2021, quando o ideal seria 70% (MINISTÉRIO DA

SAÚDE, 2023b).

O Brasil possui heterogeneidade em suas regiões e entes federativos, o que significa que o vírus também se comporta de forma heterogênea. Considerando, as semanas epidemiológicas de 49 a 52 (dezembro de 2023) foram notificados mais de 104.231 casos e 619 mortes, enquanto nas Secretarias Estaduais de Saúde anteriores de 44 a 48 (novembro de 2023) foram notificados pelas Secretarias Estaduais de Saúde 156.689 casos e 1.213 mortes, apresentando uma redução de 33,5% dos casos e de 49,1%% dos óbitos. Ocorreu ainda uma redução nas taxas dos indicadores de incidência, mortalidade e letalidade (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2023a).

Em pesquisa realizada pela Fundação Oswaldo Cruz (FIOCRUZ) no Brasil, por meio de sequenciamento genético em mais de 420 pacientes de dois estados brasileiros, identificou-se que pelo menos seis linhagens do SARS-CoV-2 circulantes nos primeiros meses da pandemia, destacando-se ainda, que através de projeções, possivelmente o vírus entrou no Brasil a partir da Europa ou Estados Unidos durante o final de fevereiro (época do carnaval brasileiro) de 2020. Ressalta-se que o Brasil possui uma sazonalidade em relação às doenças respiratórias que se agravam ao final do outono e início de inverno e é justamente nesse período que a presença de microrganismos como os vírus são mais frequentes, ocasionando elevação do número de internações (ROSA *et al.*, 2008).

3.4.2 Epidemiologia do SARS-CoV-2 no estado da Paraíba

O primeiro caso de COVID-19 no estado da Paraíba foi confirmado em 19 de março de 2020, a partir de um viajante da Europa que desembarcou na capital do estado, João Pessoa. No ano de 2024 até semana epidemiológica 08 (24/02/2024), foram notificados 3.981 casos de covid-19 confirmados, sendo 3.857 (96,9%) casos leves ou moderados e 124 (3,1%) casos graves. Nesse mesmo período no ano de 2023, a Paraíba apresentou 756 casos de covid-19, sendo 729 (96,4%) casos leves ou moderados e 27 (3,6%) casos graves. Observou-se ainda uma média móvel de 10,29 casos no dia 10 de fevereiro de 2024, no dia 24 de fevereiro do ano corrente a média móvel foi de 2,57 casos (PARAÍBA, 2024).

O município mais acometido pela pandemia foi a capital do estado, João Pessoa, seguido por Campina Grande, Patos, Guarabira e Santa Rita, enquanto São

Bento, Ingá e Marcação apresentam as maiores incidências da doença. As pessoas mais acometidas pela COVID-19 no estado possuem de 30 a 49 anos, porém, as pessoas idosas concentram o maior percentual de letalidade (PARAÍBA, 2024).

Nesse contexto, ressalta-se a importância da compreensão acerca dos critérios diagnósticos clínico-epidemiológicos implantados pelo Ministério da Saúde para combate à COVID-19. Os casos suspeitos de infecção são aqueles que apresentem resultado laboratorial inconclusivo para SARS-CoV-2 ou positivo em ensaio de coronavírus; casos confirmados, são indivíduos com confirmação laboratorial conclusiva, independente de sinais e sintomas; casos descartados são aqueles que se enquadram em casos suspeitos, no entanto, apresenta positividade para outro agente etiológico ou negativo para SARS-CoV-2 e casos excluídos que são representados pelo não enquadramento na definição de casos suspeitos. A notificação compulsória da patologia deve ser imediata, ou seja, até no máximo 24 horas (BRASIL, 2020).

No mais, diversas pesquisas têm sido desenvolvidas sobre a problemática da Covid-19, Rocha *et al.* (2021) investigaram o Perfil dos óbitos pela COVID-19 no estado da Paraíba, Silva *et al.* (2023), analisou a distribuição dos casos e óbitos de Covid-19 na Paraíba.

3.4.3 Transmissão e diagnóstico

A transmissão ocorre através de gotículas a partir da fala, tosse ou espirro de uma pessoa infectada (BRASIL, 2020). Dessa maneira, diversos países estão seguindo as orientações da OMS, a saber: lavagem das mãos frequentemente com álcool a 70%, ficar a uma distância de mais ou menos um metro, evitar aglomerações, além de praticar etiqueta respiratória ao tossir e/ou espirrar, cobrindo a boca e/ou nariz com antebraço ou lenço descartável. Outros modos de transmissão estão sendo investigados e não se deve descartar como por exemplo, a via fecal-oral (HUI; ZUMBLA, 2019).

Entre os testes diagnósticos utilizados para confirmação da presença de infecção por SARS-CoV-2, está o teste Transcriptase Reversa seguida pela Reação em Cadeia da Polimerase (RT-PCR), que age diretamente no RNA viral, intensificando sua identificação. No entanto, o teste possui algumas limitações como amostras constituídas por baixas cargas virais e tempo entre a coleta até a obtenção do

resultado, além da necessidade de profissionais especializados (HUI; ZUMBLA, 2019). Testes rápidos que atuam nas Imunoglobulina M (IgM) e Imunoglobulina G (IgG) não são recomendados para identificação recente da infecção (LI *et al.*, 2020).

Inicialmente, faz-se necessário uma triagem associada aos fatores de risco apresentados pelas pessoas que procuram os serviços de saúde. Casos suspeitos e confirmados necessitam de tratamento, dependendo da gravidade, em hospitais específicos com capacidade material e humana com isolamento e proteção. O paciente deve ser colocado em um respectivo quarto com as devidas medidas de prevenção e controle para que o vírus não se dissemine (JIN *et al.*, 2020).

3.4.4 Tratamento

A critério médico, o tratamento é realizado focado na sintomatologia do paciente, sendo a oxigenoterapia, técnicas de ventilação e/ou intubação aplicadas se necessárias. Geralmente, o tratamento sintomático diz respeito ao uso de medicamentos como antipiréticos, analgésicos e outros para o controle da febre, dor, tosse e náusea, considerando a individualidade de cada paciente (KUJAWSKI *et al.*, 2020).

O SARS-CoV-2 ocasiona inicialmente um quadro de Síndrome Gripal (SG) pelo qual a pessoa apresenta sinais e sintomas variados como febre e/ou sintomas advindos do sistema respiratório. O diagnóstico depende de uma investigação minuciosa das características clínico-epidemiológicas e anamnese associada ao exame físico (BRASIL, 2020). Pesquisas iniciais sugerem que o potencial patogênico do vírus esteja associado a fatores de risco como idade avançada e presença de comorbidades (CHEN *et al.*, 2020; KUJAWSKI *et al.*, 2020). Alguns dos sinais e sintomas menos comuns são náusea ou diarreia, dias antes do início dos sintomas.

Todavia, indivíduos podem apresentar-se assintomáticos, ou seja, sem manifestar qualquer tipo de sinal ou sintoma da doença, no entanto, devem receber a devida atenção, pois esses indivíduos são de vital importância para o controle da pandemia e rastreio de contatos. O rastreio de suspeitos ou contatos se mostra como uma ferramenta imprescindível para o real conhecimento do cenário epidemiológico do SARS-CoV-2, uma vez que são um dos principais meios de transmissão (BRASIL, 2020).

Assim, com a inexistência de um tratamento específico para a patologia, a melhor forma de contenção de riscos é o distanciamento social, como ocorreu em vários países durante os surtos de SARS-CoV em 2002-2003 e MERS-CoV em 2012-2013, em que o intuito é separar indivíduos com suspeita de SARS-CoV-2 ou em contato com indivíduos suspeitos ou confirmados dos indivíduos considerados saudáveis, todo indivíduo com SG deve realizar isolamento domiciliar (LI *et al.*, 2020).

Associado ao isolamento social, o uso de máscaras pela população tem gerado resultados benéficos. O próprio MS recomenda o uso de máscaras caseiras de pano como um método de barreira eficaz quando combinado com outras medidas de higiene (CHEN *et al.*, 2020), enquanto as máscaras cirúrgicas ou N95 devem ser utilizadas por profissionais de saúde no atendimento a casos suspeitos ou confirmados de pacientes com o SARS-CoV-2 (LIU *et al.*, 2020).

Ressalta-se que até o momento, não há evidências científicas suficientes para o uso de um tratamento farmacológico específico para a COVID-19. Embora existam várias pesquisas focadas no uso de antimaláricos como cloroquina e da hidroxicloroquina (ROSENBERG *et al.*, 2020), os dados evidenciam o aumento da mortalidade devido ao seu efeito no coração ocasionando taquicardia ventricular ou fibrilação ventricular. O uso de antimicrobianos como azitromicina, vancomicina e ceftriaxona, também não possuem evidências científicas em pacientes com COVID-19 (FALAVIGNA *et al.*, 2020). Na mesma direção, o uso de antivirais como lopinavir, remdesivir e umifenovir, não são recomendados pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) para manejo de pacientes com COVID-19 (BRASIL, 2020). Portanto, a melhor maneira de manter-se seguro é a não exposição ao vírus, ou seja, através de medidas de prevenção.

3.4.5 Novas variantes do coronavírus e vacinas da COVID-19

A tendência de qualquer vírus é sofrer transformações em seu gene, essas transformações chamam-se mutações. Algumas mutações ocorrem em um longo período de tempo, enquanto outras exigem curtos períodos. O SARS-CoV-2 vem sofrendo mutações em pequenos períodos de tempo como aconteceu em algumas regiões da Europa e África, o que ocasionou crescimento anormal de casos novos (WHO, 2021).

Pesquisas com novas informações sobre as variantes estão surgindo diariamente, e questões como transmissão, doenças secundárias resultantes destas variantes e o como funcionará a imunização de indivíduos por meio de vacinas vem sendo alvo de debates. Sabe-se que o novo coronavírus possui “coroas” em sua superfície e que a partir disso, há interação com o organismo do hospedeiro. São justamente estas “coroas” que estão sendo monitoradas à fundo pelos cientistas e suas relações com as células do trato respiratório (FALAVIGNA *et al.*, 2020).

Até a 1ª semana epidemiológica (3/1 a 9/1/2021) de 2021, três principais variantes do novo coronavírus causaram prejuízos biopsicossociais no mundo. A primeira variante foi identificada no Reino Unido e chamada de B.1.1.7, que logo se tornou mais numerosa do que outras existentes no Reino Unido e totalizou mais de 90% dos casos novos com um índice de transmissão em torno de 50% a 70%. Como consequência, o Reino Unido enfrentou seu terceiro *lockdown* e não foi o bastante para conter a disseminação da nova variante (KIRBY, 2021).

A segunda variante foi detectada na África do Sul e recebeu o nome de B.1.351 (TEGALLY *et al.*, 2020), inicialmente detectada no início de outubro de 2020, disseminou-se para outros continentes, chegando aos Estados Unidos no final de janeiro de 2021. A terceira variante que preocupa os sistemas de vigilância epidemiológica à nível mundial foi identificada no Brasil, denominada variante P.1, é descendente da linhagem B.1.1.28, descoberta a partir de viajantes que chegaram ao Japão provenientes de um voo cujo ponto de partida foi o estado do Amazonas. A P.1 possui particularidades que aumentam a capacidade de associação entre antígenos virais e anticorpos do indivíduo (VOLOCH *et al.*, 2020).

Em meio aos desafios impostos pelos diversos cenários da pandemia, como por exemplo, o surgimento de novas variantes virais, cabe destacar a produção em tempo recorde de vacinas por diversos laboratórios em parcerias com institutos de pesquisa. Existem dois tipos de vacinas, a saber: as vacinas que são compostas por vírus inativados por meios físicos ou químicos são chamadas de vacinas inativadas e as vacinas que possuem o vírus com capacidade de infectividade reduzida por meios laboratoriais são chamadas de vacinas atenuadas (ABBAS, 2015).

Entre as vacinas da COVID-19 pode-se citar a CoronaVac, produzida com vírus inativado, que ao interagir com o sistema imune há produção de anticorpos, cuja eficácia, ficou em torno de 50,38% para o indivíduo não ser infectado pela COVID-19, caso seja infectado, há 100% de chance da doença não evoluir com sintomas graves.

A CoronaVac foi produzida inicialmente na China pela farmacêutica Sinovac, e em seguida, transferiu a tecnologia para o Instituto Butantan em São Paulo, Brasil. Sendo a sua aplicação aprovada emergencialmente pela Agência Nacional de Vigilância em Saúde (ANVISA) em 17 de janeiro de 2021 a partir do sucesso do estudo realizado com cerca de 13.060 voluntários (ANVISA, 2021).

Em Israel, país do continente Asiático, a campanha de vacinação gerou resultados benéficos com relação aos casos novos de COVID-19, pois o país está priorizando os grupos de risco como idosos e profissionais de saúde. Com a vacinação destes públicos, o país registrou um índice de vacinação em torno de 20% da população no mês de janeiro de 2021, sendo que sua população total contabiliza 8 milhões de pessoas, o que corresponde a mais ou menos 1% de sua população total vacinada por dia desde o início da campanha. O país foi o primeiro no mundo a adotar o terceiro *lockdown* para conter a subida de casos simultaneamente com a vacinação (ROSEN; WAITZBERG; ISRAELI, 2021).

No Brasil, o Programa Nacional de Imunizações (PNI), reconhecido mundialmente por atender a um país com tamanho continental e de grande diversidade, além de um significativo cronograma de vacinas, é um programa de vital importância o Sistema Único de Saúde (SUS) (BRASIL, 2021). O PNI é o responsável pelo Plano Nacional de Operacionalização da Vacinação contra a Covid-19 10, onde desempenha atividades, como por exemplo, campanha anual para vacinação contra influenza, que, de forma similar à COVID-19 (BRASIL, 2021).

3.5 EPIDEMIOLOGIA DA DENGUE

3.5.1 Conceito e Epidemiologia da Dengue

A dengue caracteriza-se como uma doença infecciosa aguda sistêmica, de caráter emergente e reemergente ao nível global. É classificada como a mais importante arbovirose devido a sua elevada incidência, risco de hospitalizações e óbitos dos indivíduos contaminados (GUZMAN; HARRIS, 2015).

Considerando os anos de 2023 e 2024 em que ocorreram graves problemas na temperatura e chuvas, principalmente devido ao El Niño, muitos países, sobretudo das Américas, apresentaram aumento significativo no número de casos de dengue.

Até abril de 2024, a OMS notificou mais de 7,6 milhões de casos suspeitos de dengue em todo o globo, com cerca de 3 mil mortes. Os países das Américas contabilizaram mais de 90% das notificações (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2024).

No Brasil, além das questões climáticas, o país possui um grande território, e uma vasta população, associados com deficiências na assistência à saúde da população colocam o Brasil em destaque em termos de números absolutos da dengue (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2024). O Brasil registra a maior proporção de casos suspeitos nas Américas, entre 2019 e 2023, a proporção de casos suspeitos de dengue no Brasil variou entre 63% (2020) e 84% (2022) dos casos notificados nas Américas.

Na Semana Epidemiológica 4 (21/01 até 27/01) de 2024, já haviam sido registrados mais de 260 mil possíveis casos de dengue no Brasil, o que representava um aumento de quase quatro vezes do número de casos prováveis em relação ao mesmo período de 2023, além de 29 mortes confirmadas (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2024).

3.5.2 Principal Vetor e Agente Etiológico

O agente etiológico da dengue é um vírus, RNA, de fita simples, que pode ser classificado sorologicamente em quatro sorotipos: DENV1, DENV2, DENV3 e DENV4, com características clínicas semelhantes, no entanto, antígenos diferentes (GUZMAN; HARRIS, 2015). Além do mais, são constituídos pelos seguintes componentes: nucleocapsídeo de forma icosaédrica, formado pelas proteínas do core (C) que envolvem o genoma viral, bicamada lipídica proveniente dos retículos endoplasmático da célula do hospedeiro e espículas do envelope do vírus contendo principalmente duas proteínas: proteína-M não glicosilada e a glicoproteína-E-glicosilada, responsável pela ligação à célula da membrana hospedeira durante o processo de infecção e define a produção de anticorpos específicos para o tipo viral.

Assim, o vírus é transmitido pela picada da fêmea do mosquito do gênero *Aedes*, principalmente, *Aedes aegypti* e *Aedes albopictus* encontrados em locais urbanos, principalmente regiões com clima tropical, como o estado da Paraíba (GUZMAN; HARRIS, 2015).

3.5.3 Controle e Prevenção

A vacina Dengvaxia é uma forma de prevenção da dengue, implantada no ano de 2015, proporcionando imunidade ao público dos 9 aos 45 anos contra os 4 tipos sorológicos supracitados. Todavia, possui algumas desvantagens, haja vista que ainda não é disponibilizada pelo Sistema Único de Saúde (SUS), idade limitada e oferece cerca de 66% de proteção (OLIVEIRA, *et al.*, 2024).

Ademais, faz-se necessária a conscientização da sociedade em unir-se aos programas do governo, facilitando por exemplo, a entrada dos agentes de saúde em suas residências para vigilância, descartando corretamente os resíduos gerados no dia a dia, bem como denunciando qualquer irregularidade que possa aumentar o nível de disseminação do mosquito para o órgão de Saúde competente (OLIVEIRA, *et al.*, 2024).

3.5.4 Fisiopatologia

A fisiopatologia da dengue tem seu início quando a fêmea do Mosquito *Aedes aegypti*, hematófaga, que possui o vírus armazenado nas glândulas salivares pica uma pessoa. Após o vírus ser inoculado ocorrerá uma primeira replicação nas células musculares estriadas lisas como também em linfonodos presentes localmente. Sendo assim, tem início a viremia e disseminação do vírus por de maneira sistêmica no organismo, podendo circular livremente no plasma ou no interior de macrófagos, por conta do tropismo viral por células fagocitárias (POVOA *et al.*, 2014).

Os sintomas gerais da dengue, como por exemplo a febre, são desencadeados por meio da resposta imune ao antígeno do vírus circulante no organismo, macrófagos ao interagirem com linfócitos T helper ativados geram citocinas como resultado, como a interleucina-2 (IL-2), interferon- γ , interferon- α e fator de necrose tumoral (POVOA *et al.*, 2014). Além do mais, a liberação exacerbada de citocinas resulta em um quadro de leucopenia. Assim, as mialgias são consequência da multiplicação do vírus nos tecidos (POVOA *et al.*, 2014).

3.5.5 Manifestações Clínicas

As primeiras manifestações clínicas da dengue são febre alta, autolimitada, relacionado com o período de virulência geralmente entre o 2º e 7º dia, após o início dos sintomas, associada a cefaleia retro orbitária, mialgia e artralgia. Ademais, pode ocorrer no terceiro ou quarto dia exantema intenso com prurido e eventos hemorrágicos com epistaxe e petéquias que não estão relacionados exatamente dengue hemorrágica (GUZMAN; HARRIS, 2015). Aos exames laboratoriais, observa-se leucopenia e neutropenia, o número de plaquetas pode estar dentro do padrão ou em alguns casos diminuídos e aminotransferases podem estar com níveis elevados (GUZMAN; HARRIS, 2015).

3.5.6 Diagnóstico

O diagnóstico da dengue pode ser feito por meio da avaliação clínica do paciente e fator epidemiológico (por exemplo, viagem para regiões endêmicas de dengue nos últimos 14 dias) (BRASIL, 2016). Entretanto, existem outras doenças que cursam com a mesma apresentação clínica, como a malária e leptospirose, dessa forma a confirmação diagnóstica exige testes sorológicos específicos e de boa eficácia como o ELISA (BIASSOTI; ORTIZ, 2017).

Nesse sentido, esses testes devem ser solicitados a partir do 6º dia do início dos sintomas, ou para a detecção de antígenos virais devem ser solicitados até o 5º dia do início dos sintomas. Em casos do exame positivo, confirma-se o diagnóstico para dengue, caso contrário será necessário realizar uma nova solicitação para sorologia IgM, pois a constatação do diagnóstico é de vital importância para prevenir os sinais de alarme e a forma mais grave da patologia (BIASSOTI; ORTIZ, 2017).

3.5.7 Tratamento

Atualmente não existe medicamento específico para dengue, o tratamento consiste em hidratação precoce de maneira consistente, exceto os cardiopatas que necessitam de um cuidado mais específico. Além disso, pode-se aliviar os sintomas

com uso de medicamentos de rotina como dipirona e paracetamol. Contudo, o uso abusivo de paracetamol pode exceder a dose máxima diária de 4g/dia e levar ao risco de complicações como hepatopatias (GUZMAN; HARRIS, 2015).

Recomenda-se ainda evitar o uso de salicilatos, dado que podem ocasionar hemorragia digestiva alta e acidose atuando na agregação plaquetária (BIASSOTI; ORTIZ, 2017). A Organização Mundial da Saúde recomenda a utilização de Anti-inflamatórios Não Esteroidais (AINE's), como por exemplo, o ibuprofeno e não é indicado o uso de glicocorticoides (GUZMAN; HARRIS, 2015).

O tratamento das formas graves requer uma investigação cuidadosa de comorbidades nos indivíduos e avaliação detalhada dos grupos de risco como idosos, gestantes e crianças. Pode-se recorrer a amins vasoativas e hidratação considerando cada caso. Além disso, reposição de sangue e concentrado de plaquetas não é prescrito, exceto em pacientes com hemorragia grave (GUZMAN; HARRIS, 2015).

3.6 CONJUNTOS *FUZZY*, LÓGICA *FUZZY* E SISTEMA BASEADO EM REGRAS *FUZZY*

A Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* é caracterizada como uma generalização da Teoria dos Conjuntos Clássica e possui como objetivo modelar a incerteza de elementos ou não a um conjunto (ZADEH, 1965).

Na Teoria dos Conjuntos Clássica, cada conjunto A de um universo X é definido pela função $\mu_A : X \rightarrow \{0,1\}$, dada por:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & \text{se } x \in A \\ 0, & \text{se } x \notin A \end{cases}$$

onde $x \in X$.

De acordo com Zadeh (1965) seja X um universo, com um elemento desse universo denotado por x . Onde um conjunto *Fuzzy* A em X é caracterizado por sua função de pertinência $\mu_A(x)$ associando a cada ponto em X um número real presente no intervalo $[0,1]$, onde $\mu_A(x)$ representa para x o seu grau de pertinência em A . Quando $\exists x \in X$, tal que $\mu_A(x) = 1$, então A é dito ser normalizado. Quando $\mu_A(x) = 1$ diz-se que x é compatível com o conceito expresso por A em X e quando $\mu_A(x) = 0$, diz

que x é incompatível com A em X .

Essa definição de conjuntos *Fuzzy* estabelece formalmente a base matemática para a representação de conceitos vagos ou subjetivos que permitem a construção de modelos que lidam com informações imprecisas. Assim como nos conjuntos clássicos, é possível realizar operações sobre esses conjuntos (união, intersecção e complemento). Com as *t-normas* e *t-conormas* aplicados sobre as funções de pertinência dos conjuntos de entrada é possível realizar a união e intersecção entre conjuntos *Fuzzy*.

Algumas *t-normas* e *t-conormas* são apresentadas na Tabela 1:

Tabela 1 - Principais *t-normas* e *t-conormas*

| <i>t-norma</i> | <i>t-conorma</i> |
|---|---|
| $\min(a, b)$ | $\max(a, b)$ |
| $a \cdot b$ | $a + b - ab$ |
| $\max(a + b - 1, 0)$ | $\min(a + b, 1)$ |
| $\{a, \text{se } b = 1; b, \text{se } a = 0; \text{outros casos}\}$ | $\{a, \text{se } b = 0; b, \text{se } a = 1; \text{outros casos}\}$ |

Fonte: MORAES, 1998.

A lógica *Fuzzy*, também denominada lógica difusa ou nebulosa, é um método utilizado na solução de problemas complexos, especialmente aqueles que possuem descrições subjetivas e imprecisas, típicas das interações humanas. Esse método tem o intuito de modelar computacionalmente a imprecisão do raciocínio humano, o que a torna muito importante problemas onde não existem modelos matemáticos ou teóricos que tratem de forma precisa o comportamento do evento (ZADEH, 1988). Na lógica *Fuzzy*, as *t-normas* e *t-conormas* modelam, respectivamente, os conceitos de conjunção (E) e disjunção (OU) que permitem tratar com graus de verdade em vez de valores binários.

A utilização da lógica *Fuzzy*, ao contrário dos métodos tradicionais, oferece uma capacidade única de lidar com incertezas e subjetividades (ROSS, 2010). Dessa

forma, a lógica *Fuzzy* garante maior generalização e capacidade de integrar o conhecimento em situações em que as relações humanas apresentam características muito próximas. Sendo assim, a lógica *Fuzzy* permite modelar essas sutilezas de forma mais intuitiva e eficiente, atribuindo graus de pertencimento.

Além disso, a lógica *Fuzzy* tem sido considerada como uma ferramenta eficaz na representação de conhecimento e na modelagem que auxiliam na tomada de decisão. Diferentemente da lógica clássica, que opera com valores binários, classificando afirmações como verdadeiras ou falsas, a lógica *Fuzzy* reconhece que muitas experiências humanas não podem ser reduzidas a essas categorias binárias (ZADEH, 1965). Na área da saúde, por exemplo, as respostas e comportamentos humanos geralmente não se encaixam em definições absolutas de "sim" ou "não", "verdadeiro" ou "falso".

Enquanto sistemas tradicionais categorizam afirmações de forma binária, a lógica *Fuzzy* permite que os valores das variáveis não sejam precisos ou fixos, mas descritos por termos linguísticos. Essa modelagem permite a caracterização de fenômenos complexos e é regida por funções de compatibilidade que avaliam o grau de pertencimento dos elementos a esses conjuntos (ZADEH, 1988). Nesse sentido, as variáveis linguísticas surgem como uma extensão prática desse formalismo para traduzir informações qualitativas em representações quantitativas por meio de termos associados a conjuntos *Fuzzy*. Para Zadeh (1988), cada variável linguística é caracterizada por um quintuplo $(V, T(V), X, G, M)$, onde V é o nome da variável, $T(V)$ é o conjunto de termos, X é o universo de discurso, G é a regra sintática que gera os termos em $T(V)$, e M é a regra semântica que associa um significado a cada termo, geralmente representado por um subconjunto *Fuzzy* de X . Dessa forma, os valores dessas variáveis são palavras em uma linguagem natural ou sintética. Por exemplo, a variável linguística "Temperatura" pode ser descrita em termos linguísticos como: "temperaturaMuitoBaixa", "temperaturaModerada", "temperaturaAlta", e "temperaturaMuitoAlta". Cada termo está relacionado a uma função de pertinência que o descreve dentro do universo de discurso.

Uma das maneiras de formalizar esse conhecimento é por meio de regras do tipo condição-ação, na lógica *Fuzzy*, uma regra representa uma relação entre variáveis de entrada e saída por meio de operadores lógicos baseados em valores linguísticos e conjuntos *Fuzzy*, estruturada no formato "SE... ENTÃO...". A parte antecedente da regra, condição "SE", define critérios com base em conjuntos *Fuzzy*

associados às variáveis de entrada, enquanto a parte consequente, representada pelo "ENTÃO", especifica a ação ou o resultado esperado. Essas regras utilizam os operadores como E, OU e NÃO, que processam os graus de pertinência em vez de valores binários, característicos da lógica clássica (ZADEH, 1978). Assim, cada regra Fuzzy constitui uma unidade de conhecimento que captura informações específicas do domínio, permitindo a modelagem e resolução de problemas de forma mais flexível e adaptativa (MORAES; BANON; SANDRI, 2002).

Além da abordagem baseada em especialistas, é possível utilizar bases de conhecimento extraídas de dados para gerar tanto o conjunto de regras Fuzzy quanto às funções de pertinência, oferecendo uma alternativa mais automatizada ao processo de criação de sistemas baseados em regras Fuzzy.

Os SBRF utilizam conectivos como AND (E) e OR (OU). Esses conectivos podem ser aplicados tanto nas premissas (condições) quanto nas conclusões de uma regra. A premissa representa o argumento da regra, enquanto a conclusão refere-se ao resultado, que neste estudo corresponde aos graus de pertencimento ao município ser aglomerado espacial ou não. Existem dois sistemas de inferência Fuzzy amplamente conhecidos: o de Mamdani, que utiliza uma estrutura de operações min-max e regras do tipo "Se x é A e y é B , então z é C ", onde A , B e C são conjuntos Fuzzy; e o de Takagi-Sugeno, no qual a saída é uma função matemática em vez de um conjunto Fuzzy (MORAES; BANON; SANDRI, 2002). No presente trabalho, foi utilizado o sistema de inferência de Mamdani, juntamente com o processo de defuzzificação, que converte um conjunto *Fuzzy* em um valor numérico real (MORAES; BANON; SANDRI, 2002).

3.7 TEORIA DOS GRAFOS

Grafos são estruturas matemáticas utilizadas para representar diversas estruturas, as mesmas são compostas por vértices que, geralmente, representam instâncias do problema e arestas, que são utilizadas para conectar dois ou mais vértices, gerando uma relação entre estes vértices (FEOFILOFF; KOHAYAKAWA; WAKABAYASHI, 2011).

Por exemplo, vértices podem representar pessoas e as arestas, deste grafo, podem representar as relações que esses indivíduos produzem ao estarem em sociedade, seja por meio de amigos ou família. Em outro exemplo, os vértices de um

outro grafo poderiam representar cidades ou locais e as arestas a existência ou não de um caminho entre esses locais. (GOMES, 2024).

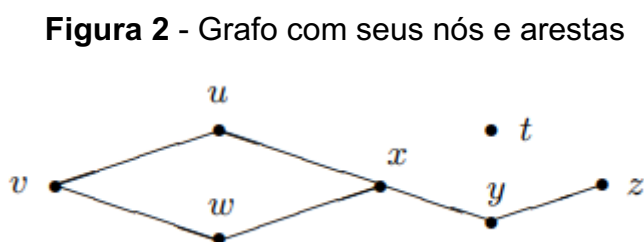
Nesse sentido, grafos ainda podem receber especificações para torná-los mais genéricos em algumas representações. Por exemplo, o grafo que especifica cidades e caminhos entre elas poderia, informar o tempo total gasto para se percorrer o caminho que leva de uma cidade A para uma cidade B, ou, apresentar rotas mais eficientes para a melhoria do tráfego urbano entre as cidades (GOMES, 2024).

Além do mais, há aplicação e o uso de grafos em diversos cenários e contextos, principalmente devido a sua alta capacidade de representar modelos. Como a plataforma Stribg-DB (DIESTEL, 2024), que utiliza grafos para representar relações entre proteínas, onde essas proteínas são os vértices e, as relações proteicas são as arestas. Outro exemplo que pode ser citado, é a utilização de grafos na representação e auxílio de cálculo para caminhos em sistemas de GPS (DIESTEL, 2024).

Grafos também são utilizados para representar relações computacionais, onde por exemplo, eles podem ser usados para apoiar a identificação de áreas possíveis de serem invadidas em um sistema computacional (GOMES, 2024).

Portanto, como apresentado e exemplificado, grafos podem e são usados em diversos contextos para representar diversos dados e apoiar vários estudos. Neste estudo, em específico, alguns tipos de grafos serão apresentados e modelados a fim de representar, com eles, diversos cenários possíveis do mundo real, estes possíveis cenários são especificados ao longo deste trabalho. Assim, será possível identificar diversas características de grafos e determinar variadas aplicações para eles (DIESTEL, 2024).

Pode ser observado a seguir um desenho do grafo cujos vértices são t, u, v, w, x, y, z e cujas arestas são vw, uv, xw, xu, yz e xy (Figura 2).



Fonte: Feofiloff, Kohayakawa e Wakabayashi, 2011.

De acordo com Balakrishnan (1997), um grafo pode ser direcionado ou não direcionado. Em um grafo não direcionado, as arestas não têm uma direção específica, isto é, o par (x, y) não é ordenado, enquanto em um grafo direcionado ou digrafo, as arestas possuem uma orientação específica, sendo (x, y) um par ordenado.

Um grafo direcionado é um conjunto finito V de vértices e um conjunto E de pares ordenados de vértices distintos chamados de arcos. Se o par ordenado (x, y) for um arco a , então o arco a é direcionado de x para y . O arco a é adjacente ao vértice x e é adjacente ao vértice y .

A compreensão da relação entre vértices, tanto em grafos quanto em digrafos, é essencial para a correta modelagem de diversos problemas. Para isso, os autores Netto, Oswaldo e Jurkiewicz (2009), definem a ideia de vizinhança, sendo $N(x)$ o conjunto dos vértices vizinhos (adjacentes) de x . Assim, se existir em um grafo $G = (V, A)$ uma aresta (x, y) , então y é vizinho de x e portanto $y \in N(x)$.

Em um grafo direcionado (digrafo), os vizinhos de um vértice x se subdividem em sucessores e antecessores. Se designa a saída por um sobrescrito (+) e a entrada por um (-).

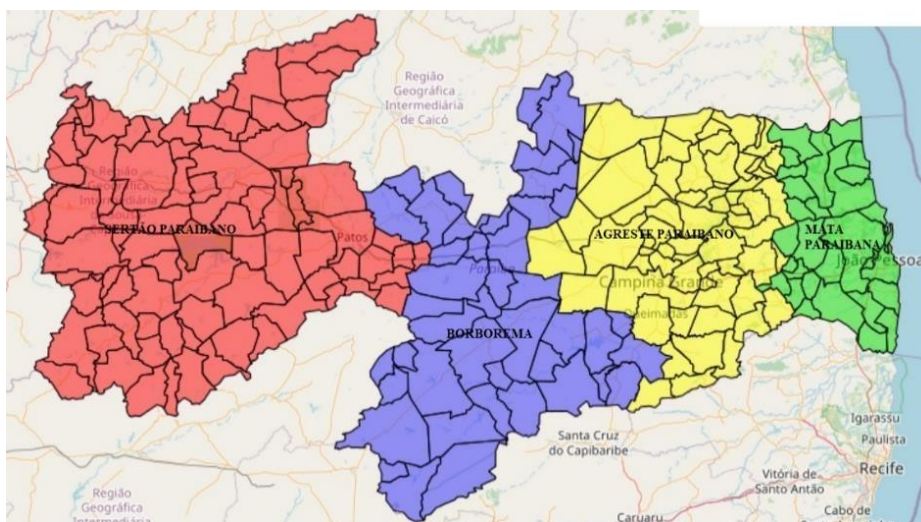
Os sucessores de um vértice são aqueles vértices que podem ser alcançados a partir dele seguindo as direções das setas. Em outras palavras, se houver um arco (a, b) , então b é sucessor de a , ou seja, $b \in N^+(a)$.

4 CONSIDERAÇÕES METODOLÓGICAS

4.1 ÁREA DO ESTUDO E CARACTERIZAÇÃO

A área de estudo foi o estado da Paraíba, que possui 223 municípios e apresenta uma extensão de 56.585 km², com uma população correspondente a 4.059.905 habitantes e atualmente dividido em 4 Regiões Geográficas Intermediárias e 15 Regiões Geográficas Imediatas, sendo Litoral/Mata Paraibana, Agreste Paraibano, Borborema e Sertão Paraibano. A Paraíba localiza-se ao leste da Região Nordeste e delimitado por três estados: Rio Grande do Norte (ao norte), Pernambuco (ao sul) e Ceará (ao oeste), além do Oceano Atlântico (ao leste) (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2022) (Figura 3).

Figura 3 - Mapa das mesorregiões da Paraíba



Fonte: AESA, 2020.

Trata-se de um estudo do tipo quantitativo, exploratório e ecológico. Utilizou-se os dados secundários provenientes do Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN) referentes aos casos de dengue, no período de 2018 a 2023, e óbitos de Covid-19 entre 2020 e 2021, disponibilizados pela Secretaria Estadual de Saúde da Paraíba.

4.2 NOVO MÉTODO PARA DETECÇÃO DE AGLOMERADOS ESPACIAIS BASEADO EM LÓGICA *FUZZY* (DAELF)

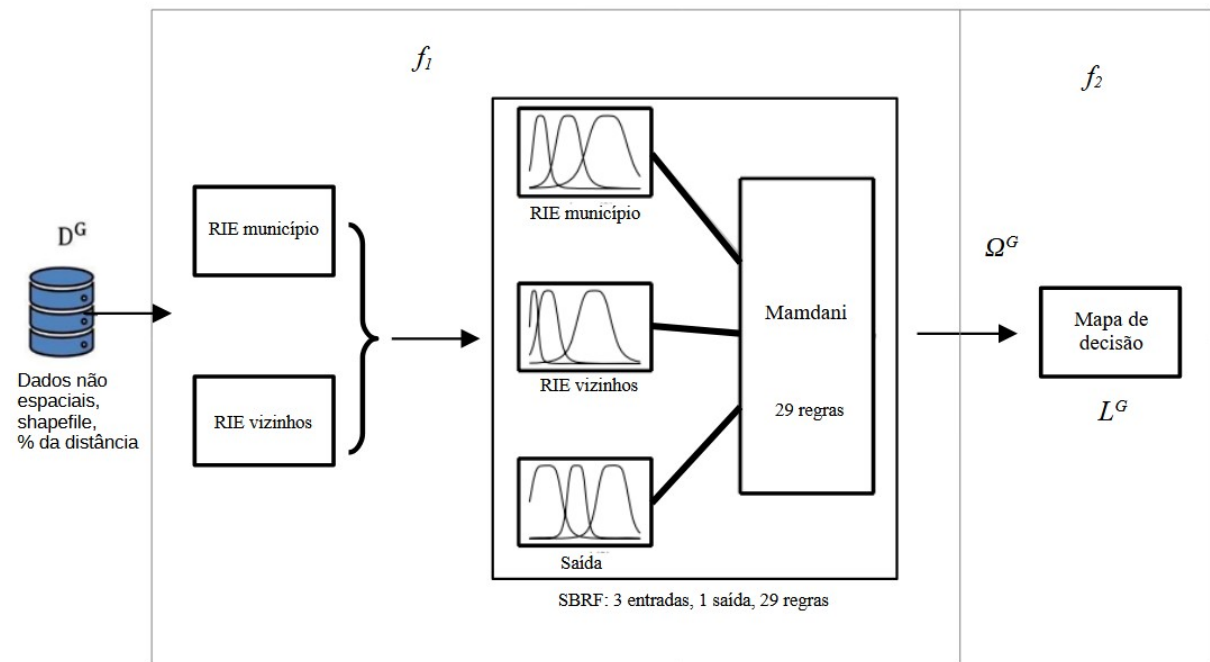
A partir dos pressupostos teóricos apresentados nos Capítulos anteriores, foi possível desenvolver o DAELF para dar suporte à tomada de decisão sobre os candidatos a aglomerados espaciais para intervenção aplicada à Epidemiologia. Para a construção do novo método, foi necessário conhecimentos advindos da Análise Espacial, Teoria dos Grafos, como já foi supracitado, e da lógica *Fuzzy*.

O DAELF permite ter como entrada dados georreferenciados, adotando um processo de fuzzificação para inclusão das incertezas, usando as funções de pertinência, a fim de obter informações sobre os seus graus de pertinência, além de utilizar um percentual de distância, diferenciando-se dos outros métodos da literatura.

Considerando a teoria dos grafos, cada nó com suas respectivas arestas (município e vizinhos, respectivamente), são processados gerando como resultado um mapa final de decisão. Em outras palavras, cada geo-objeto possui conectividade com seus municípios vizinhos, essa conectividade foi armazenada de acordo com um percentual de distância pré-definido para formação da vizinhança. E em seguida, dados espaciais e não espaciais serviram de entrada para o sistema baseado em regras *Fuzzy* para produzir o mapa de aglomeração espacial, que aponta dois cenários possíveis: 1 – mapa com três desfechos possíveis: “não aglomerado”, “aglomerado de valor alto”, e “aglomerado de valor baixo”, e 2 – um mapa final com dois desfechos possíveis: “não aglomerado”, “aglomerado de valor alto”.

A parte inicial do DAELF corresponde aos dados de entrada D^G , a saber: dados não espaciais, shapefile, e % de distância. f_1 corresponde ao processamento dos dados a partir da RIE dos municípios, que são processados pelo SBRF e, por fim, temos f_2 que é o mapa final de decisão com os devidos rótulos L^G correspondentes a D^G (Figura 4).

Figura 4 - Funcionamento do DAELF com Entrada, Processamento e Saída dos dados



Fonte: Elaboração pelo próprio autor, 2025

O algoritmo de funcionamento do DAELF com a fuzzificação da RIE do município e a RIE da vizinhança para um mapa final pode ser observado a seguir (Algoritmo 1).

Algoritmo 1 - Algoritmo de funcionamento do DAELF com a fuzzificação da RIE do município e a RIE da vizinhança para um mapa final

Algorithm 1 Processamento de dados para o mapa final DAELF

Entrada:

- Dados não espaciais e shapefile
- % da distância máxima considerada entre municípios

Saída : Mapa final de decisão

1. Inicialização

BD \leftarrow Dados não espaciais e shapefile
 dist \leftarrow % da distância
 grafo \leftarrow gerar grafo a partir de BD e dist

2. Seleção de municípios e vizinhança

for $i \leftarrow 1$ to size(*grafo*) do
 Selecionar município e vizinhança V(dist)
 RIE.mun \leftarrow RIE do município
 RIE.viz $\leftarrow \max\{\text{RIE}(V(\text{dist})), 0\}$
 coordx, coordy \leftarrow coordenadas geográficas (x, y) dos municípios
 return(município com seus vizinhos e coordenadas x e y)

end

3. Aplicação do Sistema Baseado em Regras Fuzzy (SBRF)

Carregar variáveis linguísticas e lista de regras do SBRF

for $i \leftarrow 1$ to size(*grafo*) do
 agregação[i] \leftarrow agregação do SBRF e lista de regras do SBRF sobre o RIE.mun[i] e RIE.viz[i]
 resultado[i] \leftarrow defuzzificação da agregação[i]
 return(resultado)

end

4. Geração do mapa final

Gerar mapa:

cores \leftarrow cores para plotagem do mapa
 plotar mapa com (resultado, coordx, coordy e cores)

Fonte: Elaboração pelo próprio autor, 2025

No DAELF a restrição é dada em relação ao percentual da distância. De modo que, determinamos que o raio de busca seja aumentado até que contenha no máximo percentual da distância.

4.2.1 Aplicação do novo método Detecção de Aglomerados espaciais Baseado em Lógica Fuzzy (DAELF)

Para a aplicação do método, foi necessário a importação dos dados espaciais e não espaciais, onde selecionou-se casos e população para cálculo da RIE e geração

do mapa de referência; definiu-se o percentual de distância; em seguida foi criado um grafo não direcionado onde cada linha era constituída pelo município e seus respectivos vizinhos de acordo com o percentual de distância. Em seguida foram selecionados a RIE do atual município e a RIE da vizinhança. Esses valores serviram de entrada para o sistema *Fuzzy* baseado em Regras.

Ressalta-se que para definir a distância no presente estudo, identificou-se a maior distância presente na matriz de distâncias - gerada com a função “DistHaversine” do pacote “geosphere” do *software* R. A partir disso, aplicou-se o DAELF de acordo com porcentagens pré-definidas a partir da distância. Na tabela a seguir estão os percentuais foram os seguintes:

Tabela 2 - Percentuais de distância utilizados para rodar o DAELF

| Percentual da distância | Distância (Metros) ² |
|-------------------------|---------------------------------|
| 0,001 (0,1%) | 431,73592 |
| 0,003 (0,3%) | 1295,20775 |
| 0,005 (0,5%) | 2158,67960 |
| 0,007 (0,7%) | 3022,15143 |
| 0,009 (0,9%) | 3885,62328 |
| 0,01 (1%) | 4317,3592 |
| 0,02 (2%) | 8634,7184 |
| 0,03 (3%) | 12952,0776 |
| 0,05 (5%) | 21586,79600 |
| 0,07 (7%) | 30221,5144 |
| 0,09 (9%) | 38856,2328 |
| 0,1 (10%) | 43173,59200 |

Fonte: Elaboração pelo próprio autor, 2024

Um ponto importante no desenvolvimento do novo método foi a criação da matriz de distâncias entre os municípios, pois foi necessário um ponto de partida para compreensão acerca dos nós e seus possíveis vizinhos no grafo. Portanto, calculou-se as distâncias entre os municípios e seus vizinhos dentro do percentual definido

pela distância, denotado por $V(dist)$.

Calculou-se então o valor da RIE para cada município, denotado por $RIE.mun$ e para seus respectivos vizinhos, usando-se a equação 11 a seguir:

$$RIE.viz = \max_{dist} \{RIE(V(dist)), 0\} \quad (11)$$

Os valores $RIE.mun$ e $RIE.viz$ são premissas de entrada nas regras de um SBRF, que são processadas e suas saídas são agregadas por município.

Por fim, foi gerado o mapa final de decisão. No presente trabalho, utilizou-se os casos de dengue entre 2018 a 2023, e óbitos por Covid-19 entre 2020 e 2021, ambos no estado da Paraíba, para apresentar adequação e testar o funcionamento do DAELF.

4.4 ANÁLISE DOS DADOS

Em relação à análise espacial dos dados, utilizou-se o novo método DAELF. Em ambas as análises - tanto para dengue como COVID-19 - avaliou-se os valores de 0,1% a 10% da distância máxima obtida pela matriz de distâncias. Os mapas DAELF foram analisados para cada ano, usando como base os mapas referência da RIE. Esses resultados serviram de entrada para um sistema baseado em regras *Fuzzy*.

Os bancos de dados foram criados em planilhas eletrônicas e analisados no *software* estatístico livre e gratuito R.

4.5 ASPETOS ÉTICOS

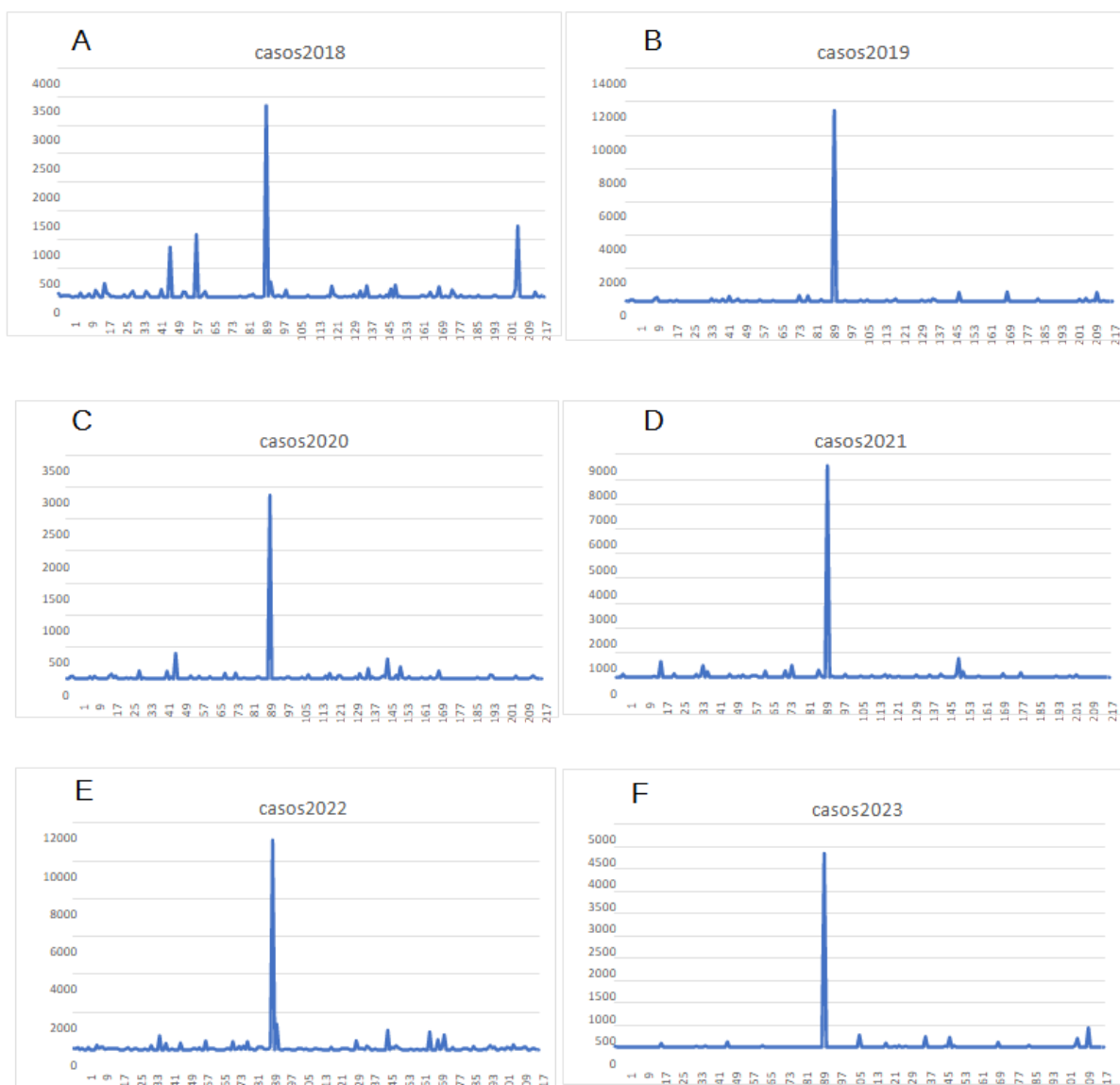
O estudo respeitou todos os aspectos éticos em pesquisa, mas por sua natureza e por ter sido baseado em dados secundários, de domínio público, não houve a submissão ao Comitê de Ética em Pesquisa (CEP), de acordo com a Resolução do Conselho Nacional de Saúde nº 466/2012 que regulamenta a pesquisa em humanos.

5 RESULTADOS

Este capítulo contém os resultados do novo método para detecção de aglomerados espaciais baseado em lógica *Fuzzy* (DAELF) para estudos epidemiológicos utilizando os dados de dengue entre 2018 a 2023 e COVID-19 para os meses de outubro de 2020 e janeiro de 2021.

A partir dos dados observou-se que entre 2018 e 2023 foram registrados 88.695 casos de dengue no estado da Paraíba. Com 11.006 (12,40%) em 2018; 18.876 (21,28%) em 2019; 6.847 (7,71%) em 2020; 16.051 (18,09%) em 2021; 28.723 (32,38%) em 2022; e 7.192 (8,10%) em 2023. Sendo que o município de João Pessoa foi o que registrou o maior número de casos ao longo do período analisado (Figura 5).

Figura 5 - Distribuição dos casos de dengue no estado da Paraíba de 2018 a 2023

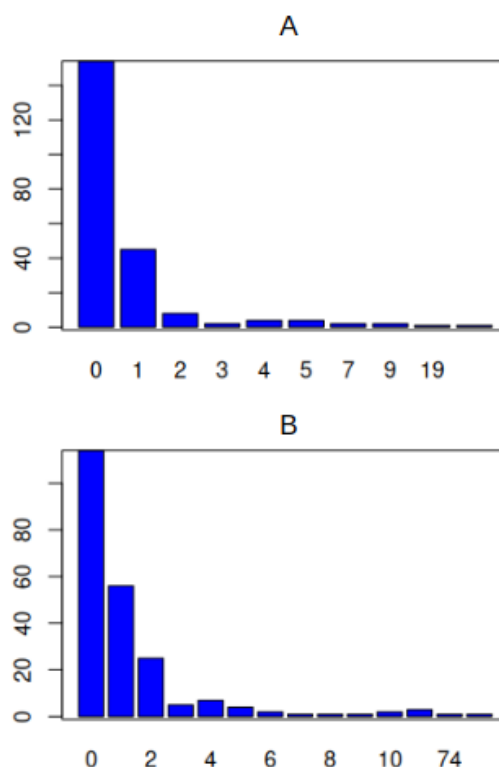


Fonte: Elaboração pelo próprio autor, 2024

Nesse estudo, também foi analisado o registro de óbitos por COVID-19 entre os anos de 2020 e 2021. Justifica-se esse período de análise pelo fato da confiabilidade dos dados. A análise desses anos foi realizada de forma mensal, de modo que, para o ano de 2020 selecionou-se o mês de outubro, pois o mesmo apresentou elevados quantitativos de óbitos. Para o ano de 2021, selecionou-se o mês de janeiro.

A distribuição dos óbitos pode ser observada na Figura 6.

Figura 6 - Distribuição dos óbitos de COVID-19 no estado da Paraíba no mês de outubro de 2020 e janeiro de 2021



Fonte: Elaboração pelo próprio autor (2024)

Os óbitos se concentraram em todo o estado da Paraíba, com destaque para João Pessoa em outubro de 2020 e janeiro de 2021, com 76 e 89 óbitos, respectivamente. No total, foram registrados 9.398 óbitos, 3.621 (38,52%) no ano de 2020 e 5.777 (61,47%) em 2021.

Além do mais, os casos de dengue e óbitos por COVID-19 no estado da Paraíba, foram analisados a partir de um sistema baseado em regras *Fuzzy* dependente do percentual de distância pré-definido. Para sua aplicação, foram utilizadas as variáveis linguísticas de entrada: RIE do município, RIE da vizinhança, e a variável decisão, composta por três decisões possíveis: Não aglomerado, Aglomerado de Valor baixo e Aglomerado de Valor alto.

Quadro 3 - Variáveis linguísticas, explanação da variável linguística, termos linguísticos e suporte utilizado no sistema *Fuzzy* baseado em regras para os casos de dengue e óbitos por COVID-19 no estado da Paraíba

| Variável linguística de entrada | Explanação da variável linguística | Termos linguísticos | Suporte |
|---|---|--|---|
| Razão de Incidências Espacial do município | Município com sua respectiva RIE | Muito alta Alta Média Baixa Muito baixa | [2,00; 25,00] [1,50; 2,00] [1,00; 1,50] [0,50; 1,00] [0; 0,50] |
| Razão de Incidências Espacial da vizinhança | Municípios vizinhos com sua respectiva RIE | Muito alta Alta Média Baixa Muito baixa | [2,00; 25,00] [1,50; 2,00] [1,00; 1,50] [0,50; 1,00] [0; 0,50] |
| Variável linguística de saída | Identificação dos aglomerados em seus níveis: Não aglomerado, Aglomerado de valor baixo e Aglomerado de valor alto OU Não aglomerado e Aglomerado de valor alto | Aglomerado de Valor alto Aglomerado de Valor baixo Não Aglomerado OU Não Aglomerado Aglomerado de Valor alto | [10,0; 17,50] [3,00; 10,00] [1; 3,00] OU [0,01; 10,00] [10; 17,50] |

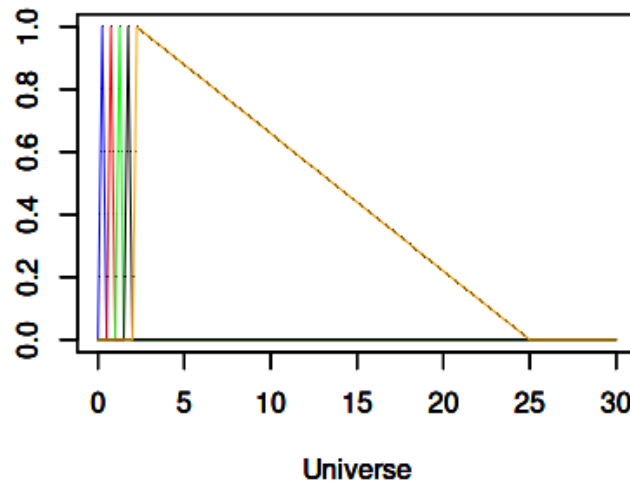
Fonte: Elaboração pelo próprio autor, 2024.

As funções de pertinência utilizadas para as variáveis de entrada e saída *Fuzzy* foram do tipo triangular. Ressaltando-se que, estes modelos foram escolhidos de acordo com as ferramentas da estatística descritiva dos dados analisados, como por exemplo, os histogramas.

Pode-se visualizar na Figura 7, a primeira variável de entrada *Fuzzy* “Razão de Incidências Espacial do município”, suas funções de pertinência; para a segunda variável *Fuzzy* “Razão de Incidências Espacial da vizinhança”, as funções de pertinência são do tipo triangular (Figura 8), onde o tamanho do triângulo foi definido

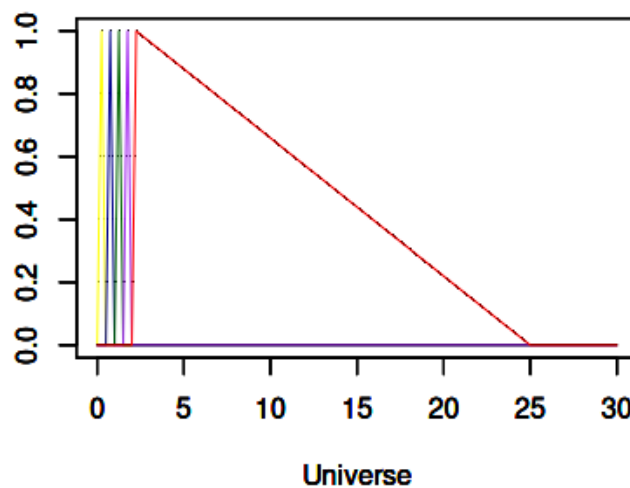
a partir do valor máximo da RIE no conjunto de dados, no caso 25,0; para a variável de saída *Fuzzy* “variável decisão”, definiu-se as funções de pertinência do tipo triangular e pode ser visualizada na Figura 9.

Figura 7 - Funções de pertinência definidas para a variável linguística Razão de Incidências Espacial para dengue e COVID-19 do município em análise



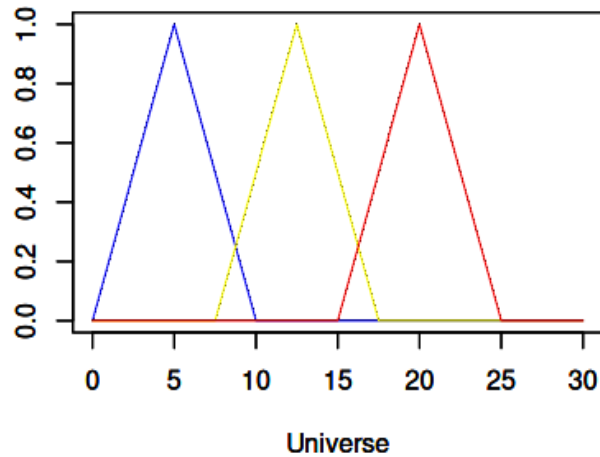
Fonte: Elaboração pelo próprio autor, 2024

Figura 8 - Funções de pertinência definidas para a variável linguística Razão de Incidências Espaciais para dengue e COVID-19 da vizinhança do município em análise



Fonte: Elaboração pelo próprio autor, 2024.

Figura 9 - Funções de pertinência definidas para a variável linguística de saída Variável Decisão opção “Não aglomerado espacial”, “Aglomerado espacial de valor baixo” e “Aglomerado espacial de valor alto”.



Fonte: Elaboração pelo próprio autor, 2024

O número *Fuzzy* triangular de cor azul denota a decisão “Não aglomerado espacial”, o número *Fuzzy* triangular de cor amarela denota “Aglomerado espacial de valor baixo” e o número *Fuzzy* triangular de cor amarela denota “Aglomerado espacial de valor alto”.

Foi elaborado um banco de regras *Fuzzy* através das duas (2) variáveis linguísticas de entrada e uma (1) variável linguística de saída (Quadro 3). Totalizou-se 27 regras extraídas a partir dos histogramas do conjunto de dados de cada variável de entrada e de saída *Fuzzy*, que podem ser utilizadas em outras localidades com as devidas adaptações. As regras geradas para o modelo que possuiu como saída três desfechos possíveis: “Não aglomerado”, “Aglomerado de valor baixo” e “Aglomerado de valor alto” podem ser observadas a seguir:

Regra 1: SE (RIE do município é muitoalta) AND (RIE da vizinhança é muitoalta) ENTÃO Decisão é Aglomerado Valor Alto;

Regra 2: SE (RIE do município é média) AND (RIE da vizinhança é baixa) ENTÃO Decisão é Não Aglomerado;

Regra 3: SE (RIE do município é muitoalta) AND (RIE da vizinhança é baixa) ENTÃO

Decisão é Aglomerado Valor Alto;

Regra 4: SE (RIE do município é baixa) AND (RIE da vizinhança é muitoalta) ENTÃO
Decisão é Aglomerado Valor Baixo;

Regra 5: SE (RIE do município é baixa) AND (RIE da vizinhança é baixa) ENTÃO
Decisão é Não Aglomerado;

Regra 6: SE (RIE do município é muitobaixa) AND (RIE da vizinhança é muitobaixa)
ENTÃO Decisão é Não Aglomerado;

Regra 7: SE (RIE do município é muitobaixa) AND (RIE da vizinhança é baixa) ENTÃO
Decisão é Não Aglomerado;

Regra 8: SE (RIE do município é muitobaixa) AND (RIE da vizinhança é media)
ENTÃO Decisão é Não Aglomerado;

Regra 9: SE (RIE do município é muitobaixa) AND (RIE da vizinhança é alta) ENTÃO
Decisão é Aglomerado Valor Baixo;

Regra 10: SE (RIE do município é muitobaixa) AND (RIE da vizinhança é muitoalta)
ENTÃO Decisão é Aglomerado Valor Baixo;

Regra 11: SE (RIE do município é baixa) AND (RIE da vizinhança é muitobaixa)
ENTÃO Decisão é Não Aglomerado;

Regra 12: SE (RIE do município é baixa) AND (RIE da vizinhança é baixa) ENTÃO
Decisão é Não Aglomerado;

Regra 13: SE (RIE do município é baixa) AND (RIE da vizinhança é media) ENTÃO
Decisão é Não Aglomerado;

Regra 14: SE (RIE do município é baixa) AND (RIE da vizinhança é alta) ENTÃO
Decisão é Aglomerado Valor Baixo;

Regra 15: SE (RIE do município é baixa) AND (RIE da vizinhança é muitoalta) ENTÃO
Decisão é Aglomerado Valor Baixo;

Regra 15: SE (RIE do município é baixa) AND (RIE da vizinhança é muitoalta) ENTÃO
Decisão é Aglomerado Valor Baixo;

Regra 16: SE (RIE do município é media) AND (RIE da vizinhança é muitobaixa)
ENTÃO Decisão é Não Aglomerado;

Regra 17: SE (RIE do município é media) AND (RIE da vizinhança é baixa) ENTÃO
Decisão é Não Aglomerado;

Regra 18: SE (RIE do município é media) AND (RIE da vizinhança é media) ENTÃO
Decisão é Não Aglomerado;

Regra 19: SE (RIE do município é media) AND (RIE da vizinhança é alta) ENTÃO
Decisão é Não Aglomerado;

Regra 20: SE (RIE do município é media) AND (RIE da vizinhança é muitoalta) ENTÃO
Decisão é Não Aglomerado;

Regra 21: SE (RIE do município é alta) AND (RIE da vizinhança é muitobaixa) ENTÃO
Decisão é Aglomerado Valor Alto;

Regra 22: SE (RIE do município é alta) AND (RIE da vizinhança é baixa) ENTÃO
Decisão é Não Aglomerado;

Regra 23: SE (RIE do município é alta) AND (RIE da vizinhança é media) ENTÃO
Decisão é Não Aglomerado;

Regra 24: SE (RIE do município é alta) AND (RIE da vizinhança é alta) ENTÃO
Decisão é Aglomerado Valor Alto;

Regra 25: SE (RIE do município é alta) AND (RIE da vizinhança é muitoalta) ENTÃO
Decisão é Aglomerado Valor Alto;

Regra 26: SE (RIE do município é muitoalta) AND (RIE da vizinhança é muitobaixa)
ENTÃO Decisão é Aglomerado Valor Alto;

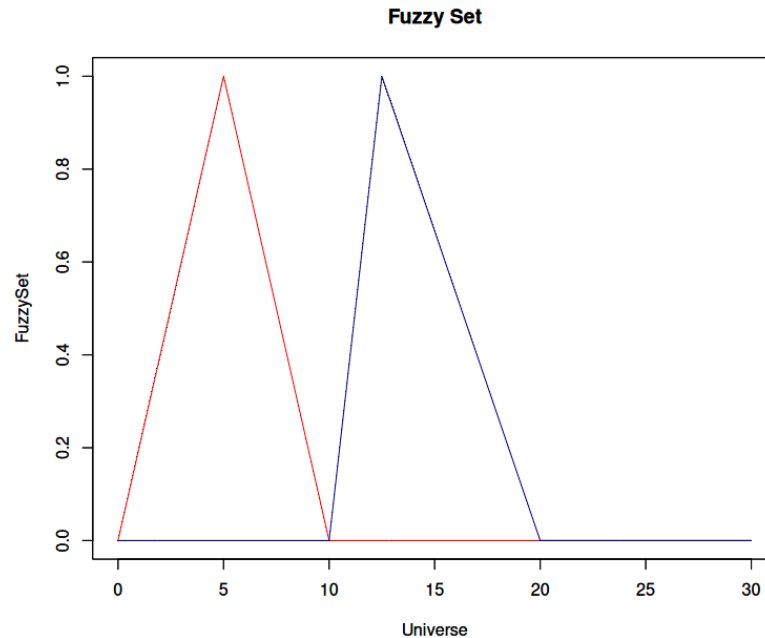
Regra 27: SE (RIE do município é muitoalta) AND (RIE da vizinhança é baixa) ENTÃO
Decisão é Aglomerado Valor Alto;

Regra 28: SE (RIE do município é muitoalta) AND (RIE da vizinhança é media) ENTÃO
Decisão é Aglomerado Valor Alto;

Regra 29: SE (RIE do município é muitoalta) AND (RIE da vizinhança é alta) ENTÃO
Decisão é Aglomerado Valor Alto.

Enquanto as funções de pertinência definidas para a variável linguística de saída Variável Decisão opção “Não aglomerado espacial”, “Aglomerado espacial (Figura 10) e as regras para o modelo podem ser observadas a seguir:

Figura 10 - Funções de pertinência definidas para a variável linguística de saída Variável Decisão opção “Não aglomerado espacial”, “Aglomerado espacial de valor alto”.



Fonte: Elaboração pelo próprio autor, 2025

Regra 1: SE (RIE do município é muitoalta) AND (RIE da vizinhança é muitoalta) ENTÃO Decisão é Aglomerado Valor Alto;

Regra 2: SE (RIE do município é média) AND (RIE da vizinhança é baixa) ENTÃO Decisão é Não Aglomerado;

Regra 3: SE (RIE do município é muitoalta) AND (RIE da vizinhança é baixa) ENTÃO Decisão é Aglomerado Valor Alto;

Regra 4: SE (RIE do município é baixa) AND (RIE da vizinhança é muitoalta) ENTÃO Decisão é Não Aglomerado;

Regra 5: SE (RIE do município é baixa) AND (RIE da vizinhança é baixa) ENTÃO Decisão é Não Aglomerado;

Regra 6: SE (RIE do município é muitobaixa) AND (RIE da vizinhança é muitobaixa)

ENTÃO Decisão é Não Aglomerado;

Regra 7: SE (RIE do município é muitobaixa) AND (RIE da vizinhança é baixa) ENTÃO Decisão é Não Aglomerado;

Regra 8: SE (RIE do município é muitobaixa) AND (RIE da vizinhança é media) ENTÃO Decisão é Não Aglomerado;

Regra 9: SE (RIE do município é muitobaixa) AND (RIE da vizinhança é alta) ENTÃO Decisão é Não Aglomerado;

Regra 10: SE (RIE do município é muitobaixa) AND (RIE da vizinhança é muitoalta) ENTÃO Decisão é Não Aglomerado;

Regra 11: SE (RIE do município é baixa) AND (RIE da vizinhança é muitobaixa) ENTÃO Decisão é Não Aglomerado;

Regra 12: SE (RIE do município é baixa) AND (RIE da vizinhança é baixa) ENTÃO Decisão é Não Aglomerado;

Regra 13: SE (RIE do município é baixa) AND (RIE da vizinhança é media) ENTÃO Decisão é Não Aglomerado;

Regra 14: SE (RIE do município é baixa) AND (RIE da vizinhança é alta) ENTÃO Decisão é Não Aglomerado;

Regra 15: SE (RIE do município é baixa) AND (RIE da vizinhança é muitoalta) ENTÃO Decisão é Não Aglomerado;

Regra 15: SE (RIE do município é baixa) AND (RIE da vizinhança é muitoalta) ENTÃO Decisão é Não Aglomerado;

Regra 16: SE (RIE do município é media) AND (RIE da vizinhança é muitobaixa) ENTÃO Decisão é Não Aglomerado;

Regra 17: SE (RIE do município é media) AND (RIE da vizinhança é baixa) ENTÃO
Decisão é Não Aglomerado;

Regra 18: SE (RIE do município é media) AND (RIE da vizinhança é media) ENTÃO
Decisão é Não Aglomerado;

Regra 19: SE (RIE do município é media) AND (RIE da vizinhança é alta) ENTÃO
Decisão é Não Aglomerado;

Regra 20: SE (RIE do município é media) AND (RIE da vizinhança é muitoalta) ENTÃO
Decisão é Não Aglomerado;

Regra 21: SE (RIE do município é alta) AND (RIE da vizinhança é muitobaixa) ENTÃO
Decisão é Aglomerado Valor Alto;

Regra 22: SE (RIE do município é alta) AND (RIE da vizinhança é baixa) ENTÃO
Decisão é Não Aglomerado;

Regra 23: SE (RIE do município é alta) AND (RIE da vizinhança é media) ENTÃO
Decisão é Não Aglomerado;

Regra 24: SE (RIE do município é alta) AND (RIE da vizinhança é alta) ENTÃO
Decisão é Aglomerado Valor Alto;

Regra 25: SE (RIE do município é alta) AND (RIE da vizinhança é muitoalta) ENTÃO
Decisão é Aglomerado Valor Alto;

Regra 26: SE (RIE do município é muitoalta) AND (RIE da vizinhança é muitobaixa)
ENTÃO Decisão é Aglomerado Valor Alto;

Regra 27: SE (RIE do município é muitoalta) AND (RIE da vizinhança é baixa) ENTÃO
Decisão é Aglomerado Valor Alto;

Regra 28: SE (RIE do município é muitoalta) AND (RIE da vizinhança é media) ENTÃO
Decisão é Aglomerado Valor Alto;

Regra 29: SE (RIE do município é muitoalta) AND (RIE da vizinhança é alta) ENTÃO
Decisão é Aglomerado Valor Alto.

O novo método foi implementado a partir do pacote *FuzzyRules* (FERREIRA, MORAES, 2024) do *software* R, disponível em (<https://github.com/leapigufpb>). O modelo utilizado no presente estudo foi de Mamdani, que utiliza uma estrutura de operações min-max e regras do tipo "Se x é A e y é B, então z é C", onde A, B e C são conjuntos *Fuzzy* (MORAES; BANON; SANDRI, 2002).

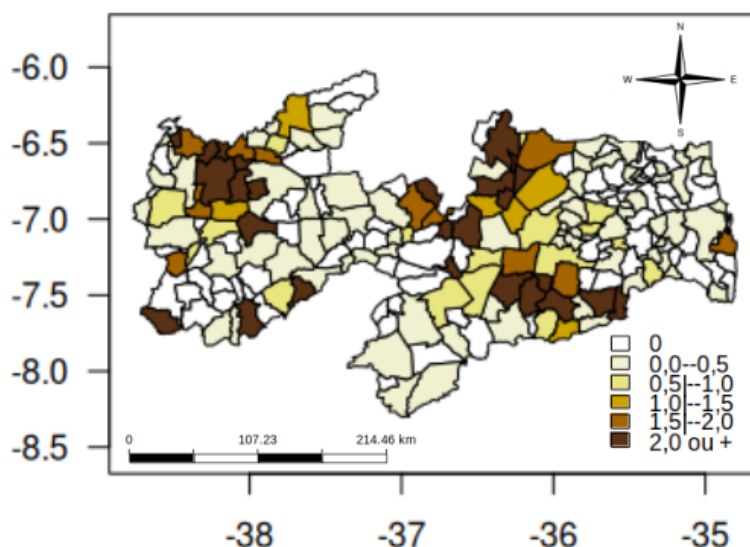
Aplicou-se o Sistema baseado em regras *Fuzzy* nos casos de dengue entre 2018 e 2023, no caso da COVID-19 para o mês de outubro de 2020 e janeiro de 2021.

Justifica-se esse período de dois anos com relação a COVID-19, em função da confiabilidade dos dados. A análise desses anos foi realizada de forma mensal, de modo que, para o ano de 2020 selecionou-se o mês de outubro, pois o mesmo apresentou elevados quantitativos de óbitos. Para o ano de 2021, selecionou-se o mês de janeiro. Os demais anos da Pandemia da COVID-19 apresentaram elevados números de subnotificações o que tornou mais confiável a utilização dos anos de 2020 e 2021.

Foram detectados aglomerados espaciais de valores altos e valores baixos dispersos por todo o estado da Paraíba, ao longo do período de estudo. A análise detalhada do método DAELF pode ser visualizada a seguir.

Na figura 11 tem-se a RIE dos casos de dengue no estado da Paraíba para o ano de 2018. A RIE neste período variou entre 0 e 25,49, e seu maior registro ocorreu em Coremas, município localizado ao oeste do estado.

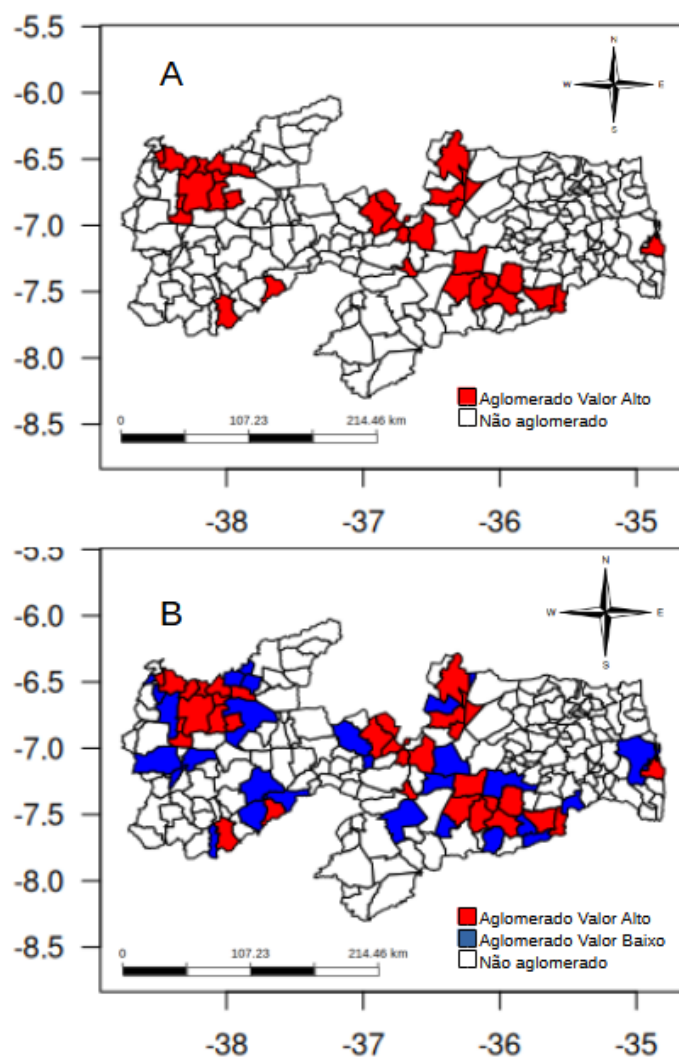
Figura 11 - Mapa do estado da Paraíba, Brasil, representando a Razão de Incidências Espacial de Dengue para o ano de 2018



Fonte: Elaboração pelo próprio autor, 2025

Para este estudo foi desenvolvido um novo método para detecção de aglomerados espaciais, o DAELF. A seguir é possível observar como o DAELF conseguiu identificar aglomerados de valores altos (Figura 12A) e em seguida, como esses aglomerados de valor alto ficaram dispostos aos aglomerados de valores baixos de casos de dengue em 2018 (Figura 12B).

Figura 12 - A) DAELF com aglomerados de valores altos, B) DAELF com aglomerados de valores altos e baixos de Dengue para o ano de 2018

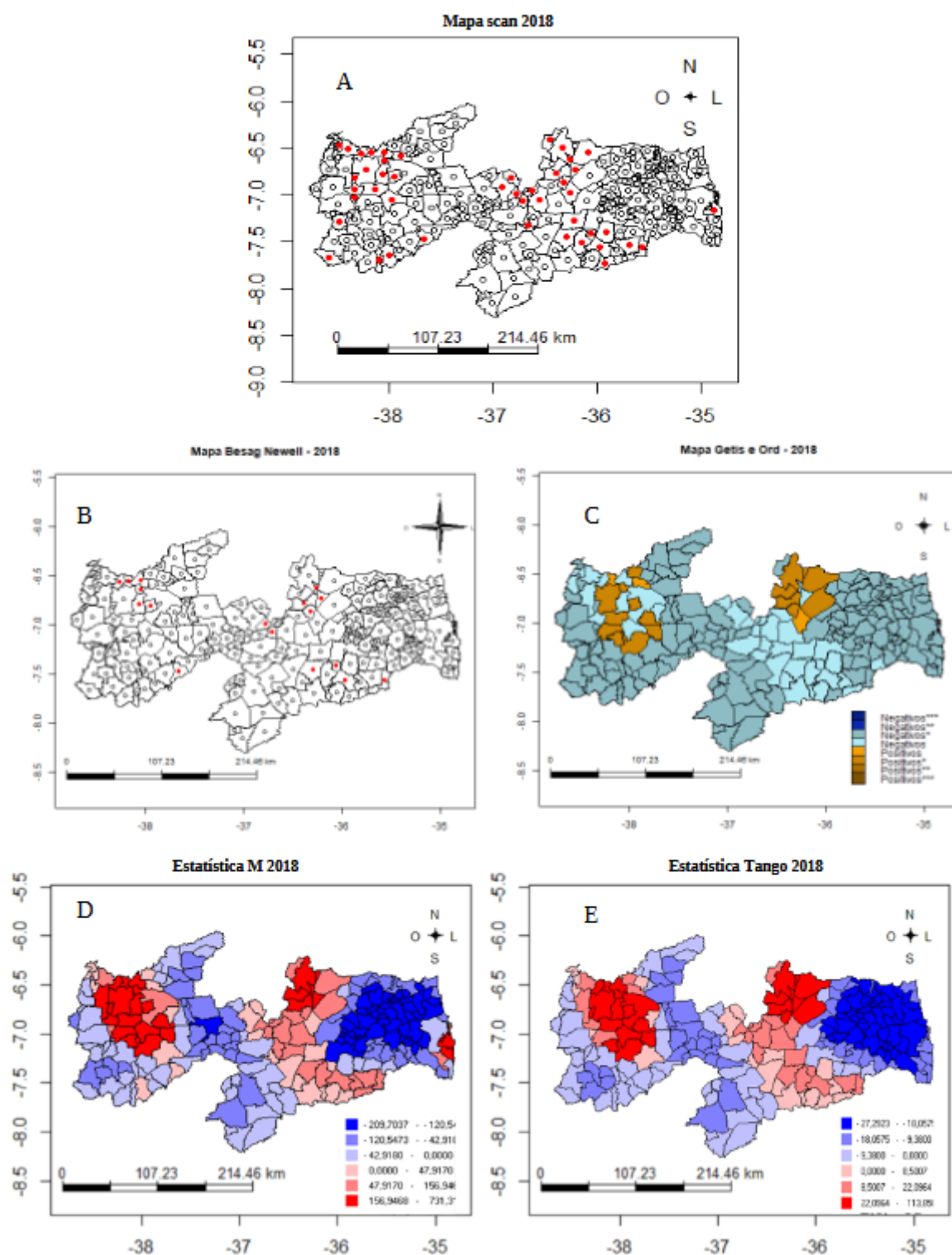


Fonte: Elaboração pelo próprio autor, 2025

Inicialmente, o método DAELF, identificou 29 aglomerados espaciais de valores altos (Figura 12A) e 30 aglomerados de valores baixos, com 5% da distância máxima da região geográfica (Figura 12B).

Além disso, para testar o desempenho o DAELF, realizou-se comparação dos resultados com outros métodos de detecção de aglomeração espacial, a saber: Estatística Scan espacial, Besag-Newell, Getis-Ord, Estatística M e Estatística Tango (Figura 13).

Figura 13 - A) Estatística Scan, B) Besag e Newell, C) Getis-Ord, D) Estatística e E) Estatística Tango de casos de dengue em 2018



Fonte: Elaboração pelo próprio auto, 2025

A estatística scan espacial com 0,001% da população sob risco detectou 45

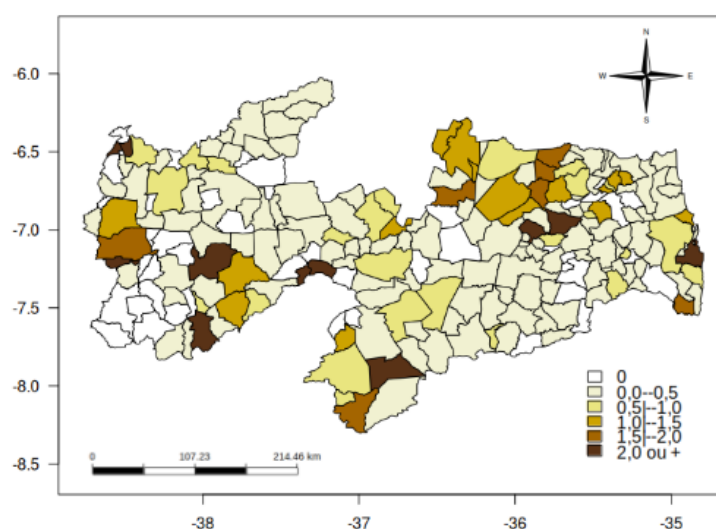
aglomerados significativos (valor- $p < 0,05$), representados no mapa com pontos vermelhos (Figura 13A). Observou-se ainda, que os aglomerados espaciais estão distribuídos em todo o estado da Paraíba.

Em relação ao Mapa do Método Besag e Newell (Figura 13B), foram identificados 17 municípios significativos, também representados no mapa com pontos vermelhos. Observou-se, maior concentração de aglomerados espaciais a oeste, norte e sul do estado da Paraíba.

No mapa gerado pelo Getis-Ord (Figura 13C), do ano de 2018, foram identificados aglomerados espaciais de valores positivos e negativos. Identificou-se uma presença maior de aglomerados espaciais de valores negativos em todo o estado da Paraíba. Os aglomerados espaciais de valores positivos concentraram-se a oeste e norte do estado. Em relação aos métodos Estatística M e (Figura 13D) e Tango (Figura 13E), ressalta-se que foram capazes de detectar municípios com alta e baixa incidência de casos de dengue.

Ademais, a RIE dos casos de dengue no estado da Paraíba para o ano de 2019 pode ser observada na Figura 14. A RIE neste período variou entre 0 e 7,52, e seu maior registro ocorreu em Teixeira, município localizado ao oeste do estado.

Figura 14 - Mapa do estado da Paraíba, Brasil, representando a Razão de Incidências Espacial de Dengue para o ano de 2019

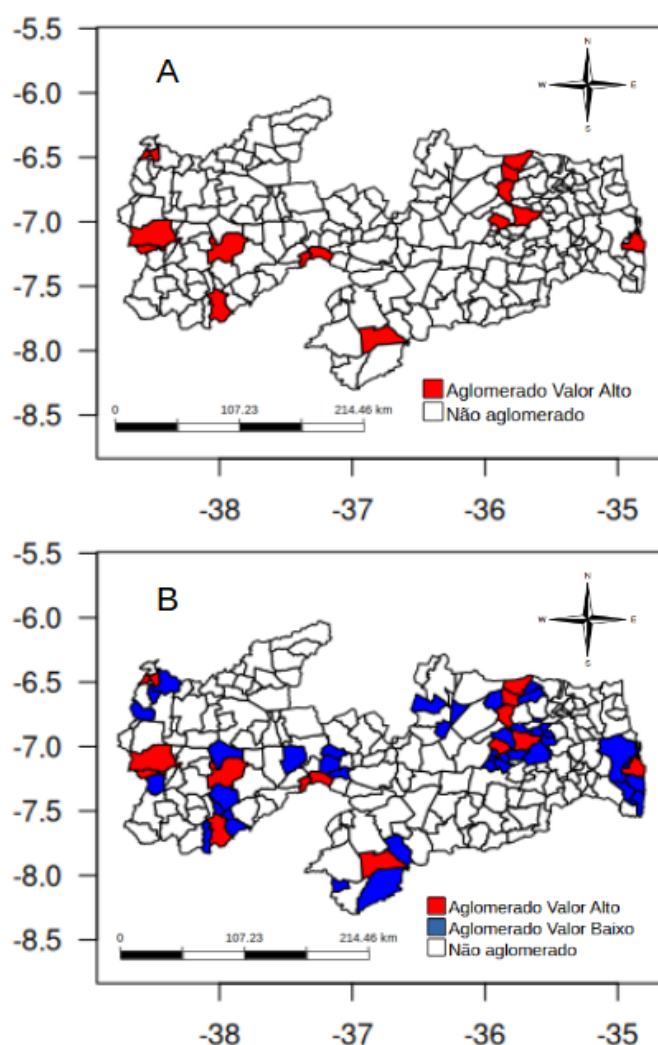


Fonte: Elaboração pelo próprio autor, 2025

Os aglomerados de valores altos (Figura 15A) e aglomerados de valores baixos

detectados pelo DAELF, de casos de dengue em 2019, podem ser visualizados na Figura 15B).

Figura 15 - A) DAELF com aglomerados de valores altos, B) DAELF com aglomerados de valores altos e baixos de Dengue para o ano de 2019

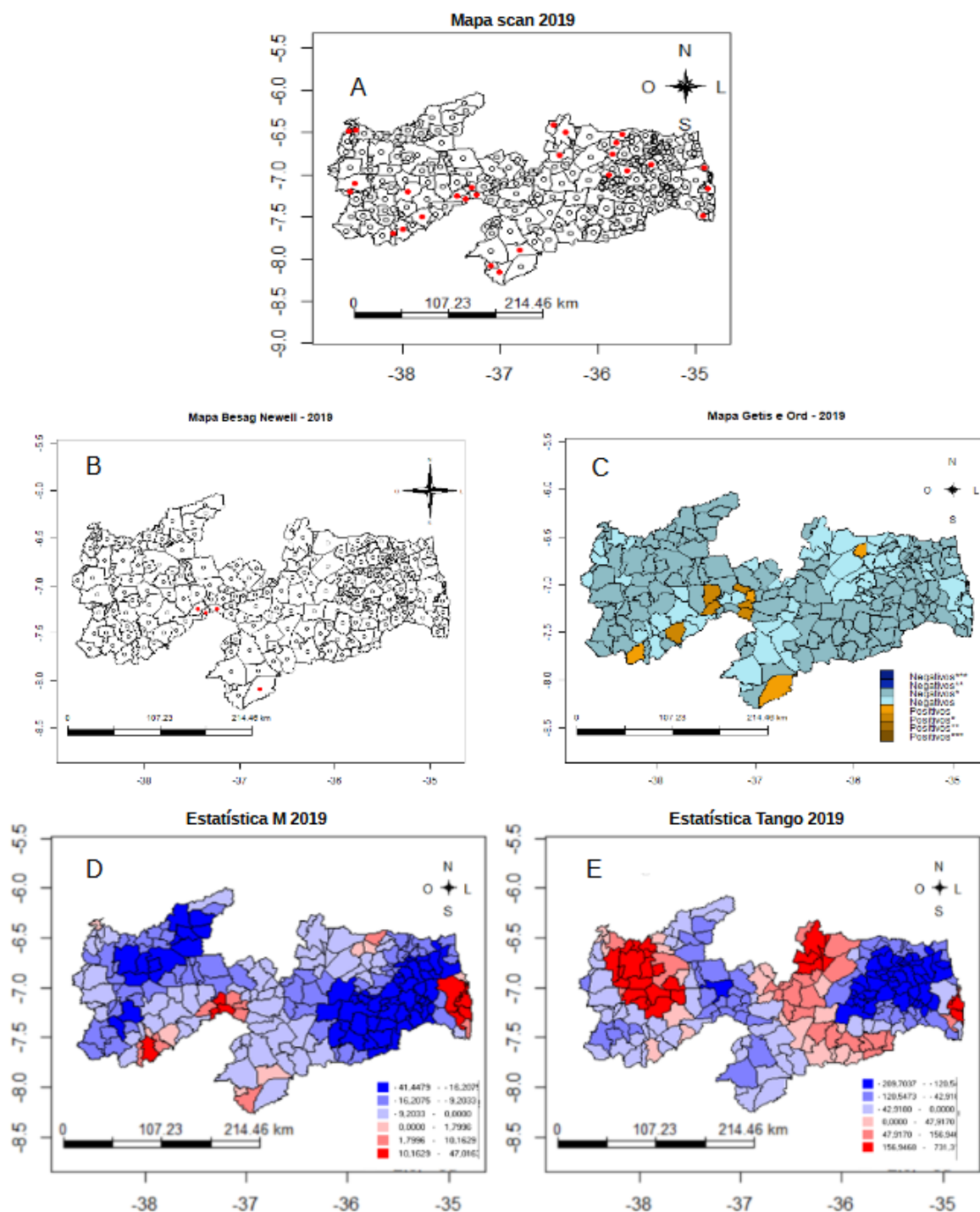


Fonte: Elaboração pelo próprio autor, 2025

Nos mapas gerados pelo DAELF, identificou 12 aglomerados espaciais de valores altos (Figura 15A) e 40 aglomerados de valores baixos, com 5% da distância máxima da região geográfica (Figura 15B).

A comparação dos resultados com os outros métodos de aglomeração espacial, - Estatística Scan espacial, Besag-Newell, Getis-Ord, Estatística M e Estatística Tango – pode ser observada (Figura 16).

Figura 16 - A) Estatística Scan, B) Besag e Newell, C) Getis-Ord, D) Estatística M e E) Estatística Tango de casos de dengue em 2019



Fonte: Elaboração pelo próprio autor (2025).

A estatística scan espacial com 0,001% da população sob risco detectou 25 aglomerados significativos (valor- $p < 0,05$), representados no mapa com pontos

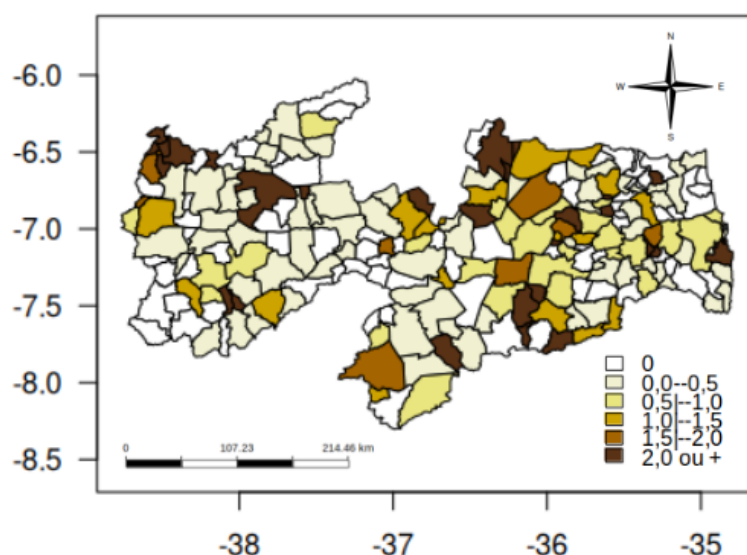
vermelhos (Figura 16A). Observou-se ainda, que os aglomerados espaciais estão distribuídos em todo o estado da Paraíba.

Em relação ao Mapa do Método Besag e Newell (Figura 16B), foram identificados 4 municípios significativos, também representados no mapa com pontos vermelhos. Observou-se, um aglomerado composto por 3 municípios a oeste e 1 aglomerado ao sul aglomerados espaciais a oeste do estado da Paraíba.

No mapa gerado pelo Getis-Ord (Figura 16C), do ano de 2019, foram identificados aglomerados espaciais de valores positivos e negativos. Identificou-se uma presença maior de aglomerados espaciais de valores negativos em todo o estado da Paraíba. Os aglomerados espaciais de valores positivos (10 aglomerados), com maioria localizados a oeste do estado. Em relação aos métodos Estatística M e (Figura 16D) e Tango (Figura 16E), ressalta-se que foram capazes de detectar municípios com alta e baixa incidência de casos de dengue.

A RIE dos casos de dengue no estado da Paraíba para o ano de 2020 pode ser observada na Figura 17. A RIE neste período variou entre 0 e 14,03, e seu maior registro ocorreu em Vista Serrana, município localizado ao oeste do estado.

Figura 17 - Mapa do estado da Paraíba, Brasil, representando a Razão de Incidências Espacial de Dengue para o ano de 2020

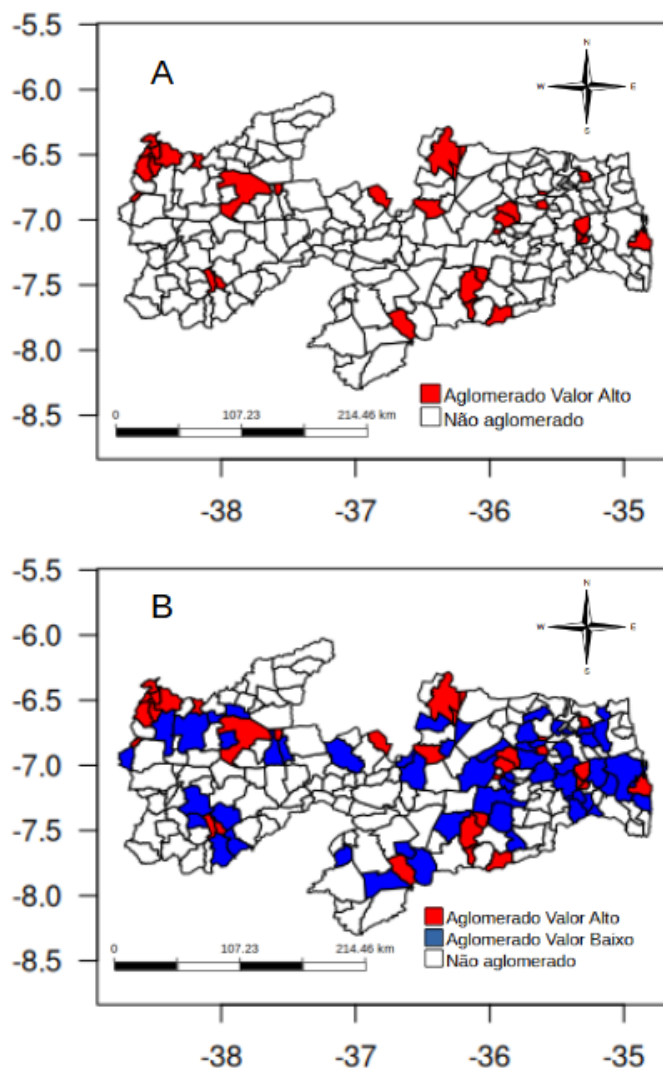


Fonte: Elaboração pelo próprio autor, 2025

Os aglomerados de valores altos (Figura 18A) e aglomerados de valores baixos detectados pelo DAELF, de casos de dengue em 2020, podem ser visualizados na

Figura 18B).

Figura 18 - A) DAELF com aglomerados de valores altos, B) DAELF com aglomerados de valores altos e baixos de Dengue para o ano de 2020

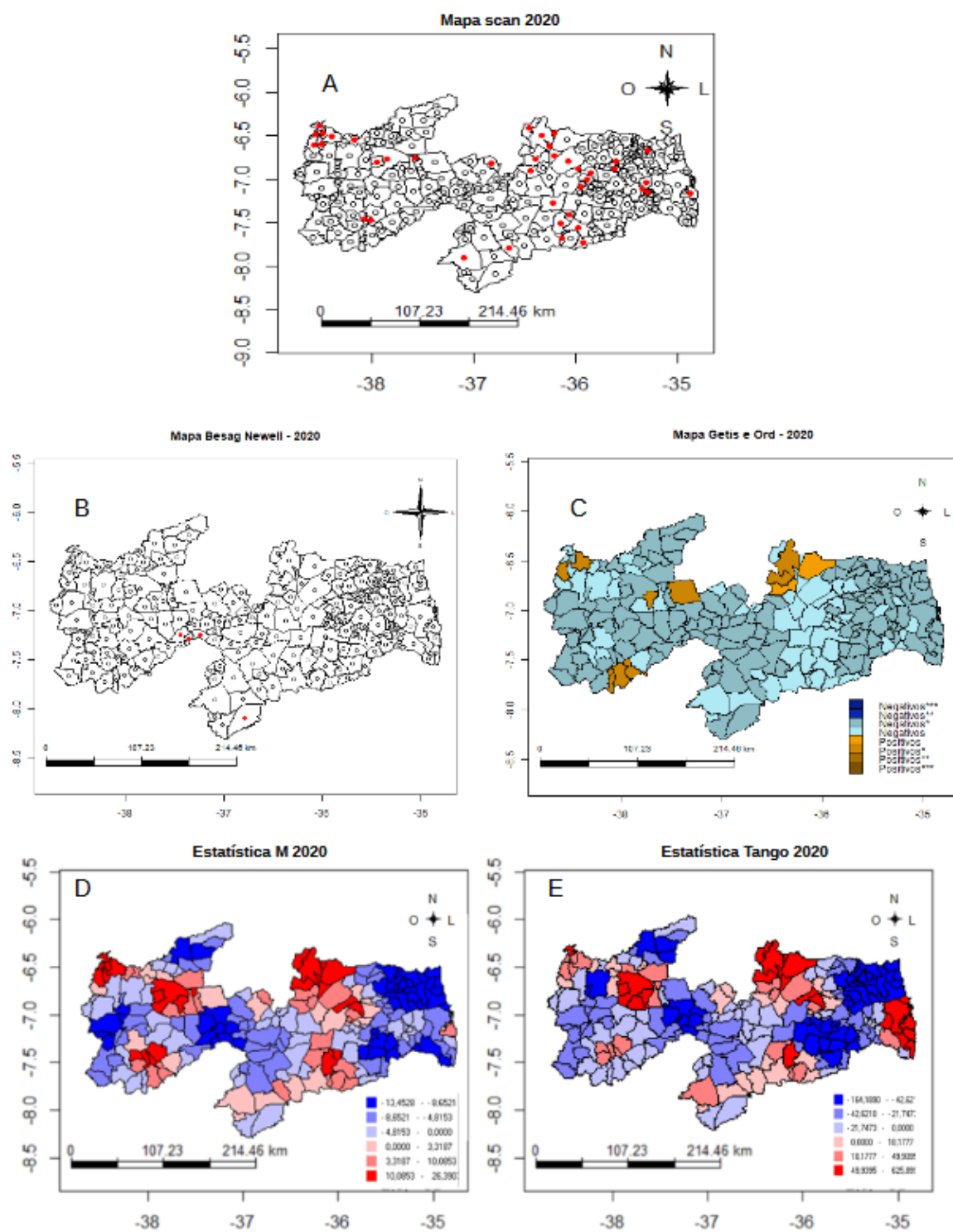


Fonte: Elaboração pelo próprio autor, 2025

Identificou 23 aglomerados espaciais de valores altos (Figura 18A) e 55 aglomerados de valores baixos, com 5% da distância máxima da região geográfica (Figura 18B).

A comparação dos resultados com os outros métodos de aglomeração espacial, - Estatística Scan espacial, Besag-Newell, Getis-Ord, Estatística M e Estatística Tango – pode ser observada (Figura 19).

Figura 19 - A) Estatística Scan, B) Besag e Newell, C) Getis-Ord, D) Estatística M e E) Estatística Tango de casos de dengue em 2020



Fonte: Elaboração pelo próprio autor, 2025

A estatística scan espacial com 0,001% da população sob risco detectou 41

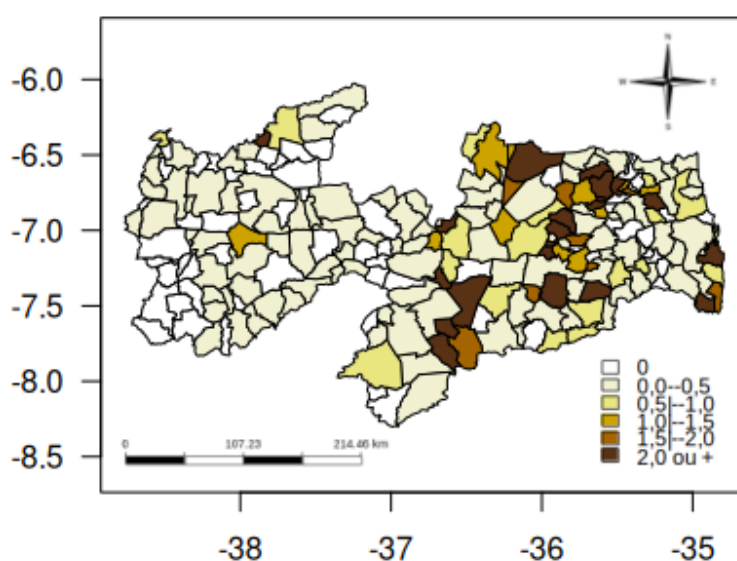
aglomerados significativos (valor- $p < 0,05$), representados no mapa com pontos vermelhos (Figura 19A). Observou-se ainda, que os aglomerados espaciais estão distribuídos em todo o estado da Paraíba.

Em relação ao Mapa do Método Besag e Newell (Figura 19B), foram identificados 4 municípios significativos, também representados no mapa com pontos vermelhos. Observou-se, um aglomerado composto por 3 municípios a oeste e 1 aglomerado ao sul aglomerados espaciais a oeste do estado da Paraíba.

No mapa gerado pelo Getis-Ord (Figura 19C), do ano de 2020, foram identificados aglomerados espaciais de valores positivos e negativos. Identificou-se uma presença maior de aglomerados espaciais de valores negativos em todo o estado da Paraíba. Os aglomerados espaciais de valores positivos (9 aglomerados), com maioria localizados a oeste e norte do estado. Em relação aos métodos Estatística M e (Figura 19D) e Tango (Figura 19E), foram identificados municípios com alta e baixa incidência de casos de dengue em todo o estado da Paraíba.

A RIE dos casos de dengue no estado da Paraíba para o ano de 2021 pode ser observada na Figura 20. A RIE neste período variou entre 0 e 10,97, e seu maior registro ocorreu em São João do Cariri, município localizado ao leste do estado.

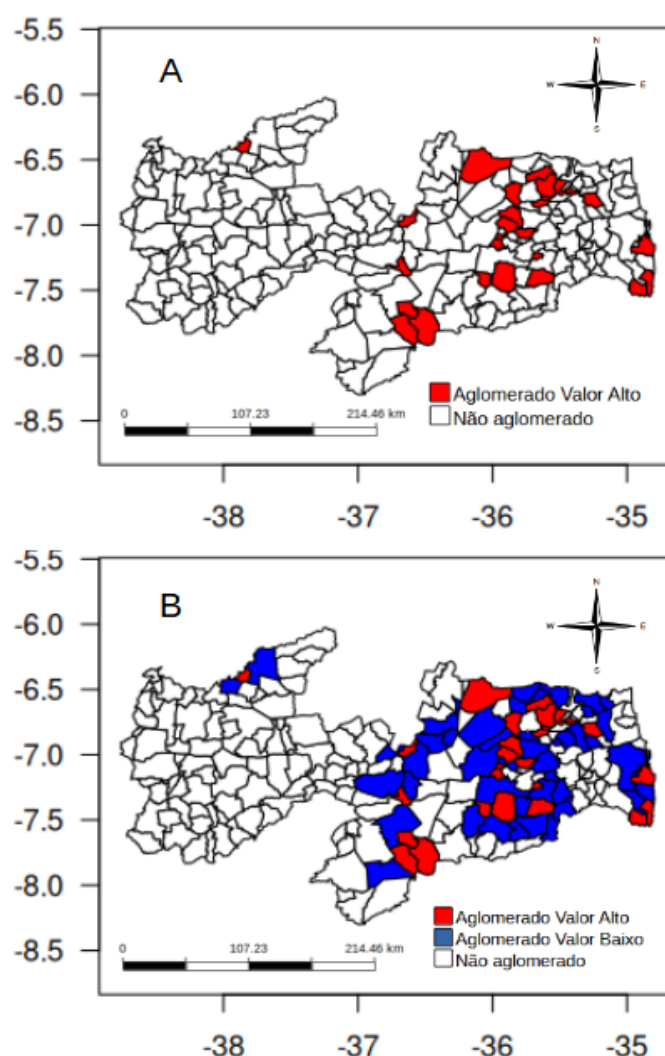
Figura 20 - Mapa do estado da Paraíba, Brasil, representando a Razão de Incidências Espacial de Dengue para o ano de 2021



Fonte: Elaboração pelo próprio autor, 2025

Os aglomerados de valores altos (Figura 21A) e aglomerados de valores baixos detectados pelo DAELF, de casos de dengue em 2021, podem ser visualizados na Figura 21B).

Figura 21 - A) DAELF com aglomerados de valores altos, B) DAELF com aglomerados de valores altos e baixos de Dengue para o ano de 2021



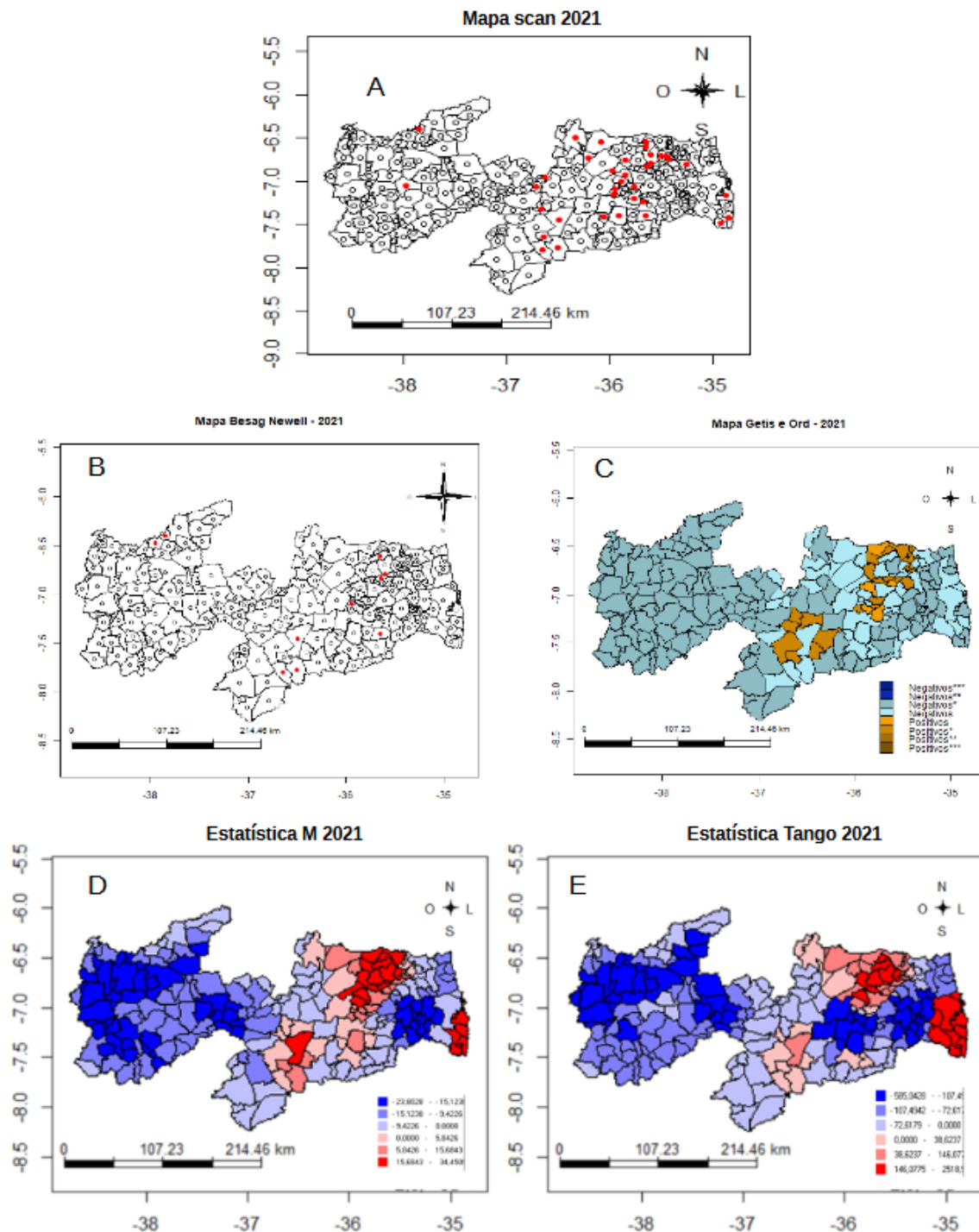
Fonte: Elaboração pelo próprio autor, 2025

O mapa DAELF (Figura 21A), identificou 18 aglomerados espaciais de valores altos, e 47 aglomerados espaciais de valores baixos (Figura 21B), com 5% da distância máxima da região geográfica.

A comparação dos resultados com os outros métodos de aglomeração espacial, - Estatística Scan espacial, Besag-Newell, Getis-Ord, Estatística M e

Estatística Tango – pode ser observada (Figura 22).

Figura 22 - A) Estatística Scan, B) Besag e Newell, C) Getis-Ord, D) Estatística M e E) Estatística Tango de casos de dengue em 2021



Fonte: Elaboração pelo próprio autor, 2025

A estatística scan espacial com 0,001% da população sob risco detectou 34

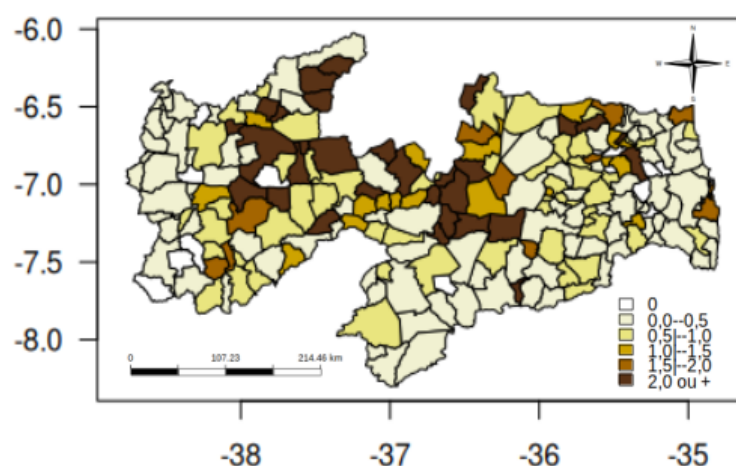
aglomerados significativos (valor- $p < 0,05$), representados no mapa com pontos vermelhos (Figura 22A). Observou-se ainda, que os aglomerados espaciais estão mais concentrados a leste do estado da Paraíba.

Em relação ao Mapa do Método Besag e Newell (Figura 22B), foram identificados 10 municípios significativos, também representados no mapa com pontos vermelhos. Também se observou maior concentração de aglomerados a leste do estado da Paraíba.

No mapa gerado pelo Getis-Ord (Figura 22C), do ano de 2021, foram identificados aglomerados espaciais de valores positivos e negativos. Identificou-se uma presença maior de aglomerados espaciais de valores negativos em todo o estado da Paraíba. Os aglomerados espaciais de valores positivos (29 aglomerados), com maioria localizados a leste do estado. Em relação aos métodos Estatística M e (Figura 22D) e Tango (Figura 22E), foram identificados municípios com alta e baixa incidência de casos de dengue em todo o estado da Paraíba.

A RIE dos casos de dengue no estado da Paraíba para o ano de 2022 pode ser observada na Figura 23. A RIE neste período variou entre 0 e 26,79, e seu maior registro ocorreu em São José do Brejo do Cruz, município localizado ao leste do estado.

Figura 23 - Mapa do estado da Paraíba, Brasil, representando a Razão de Incidências Espacial de Dengue para o ano de 2022

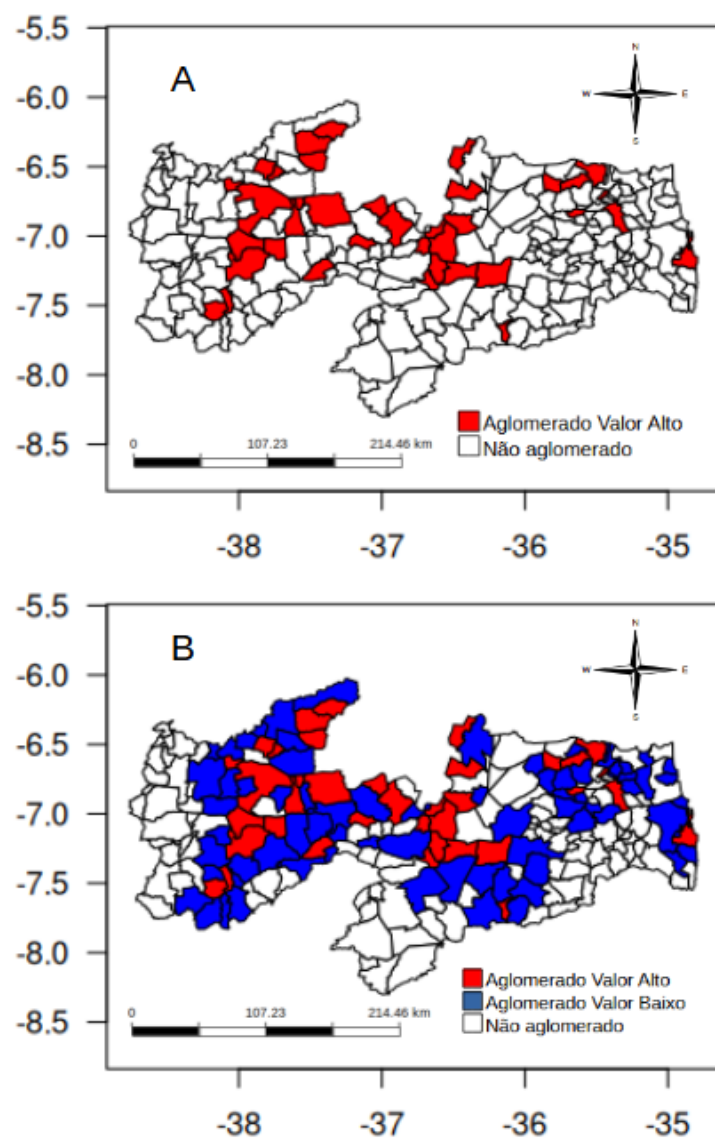


Fonte: Elaboração pelo próprio autor, 2025

Os aglomerados de valores altos (Figura 24A) e aglomerados de valores baixos

detectados pelo DAELF, de casos de dengue em 2022, podem ser visualizados na Figura 24B).

Figura 24 - A) DAELF com aglomerados de valores altos, B) DAELF com aglomerados de valores altos e baixos de Dengue para o ano de 2022



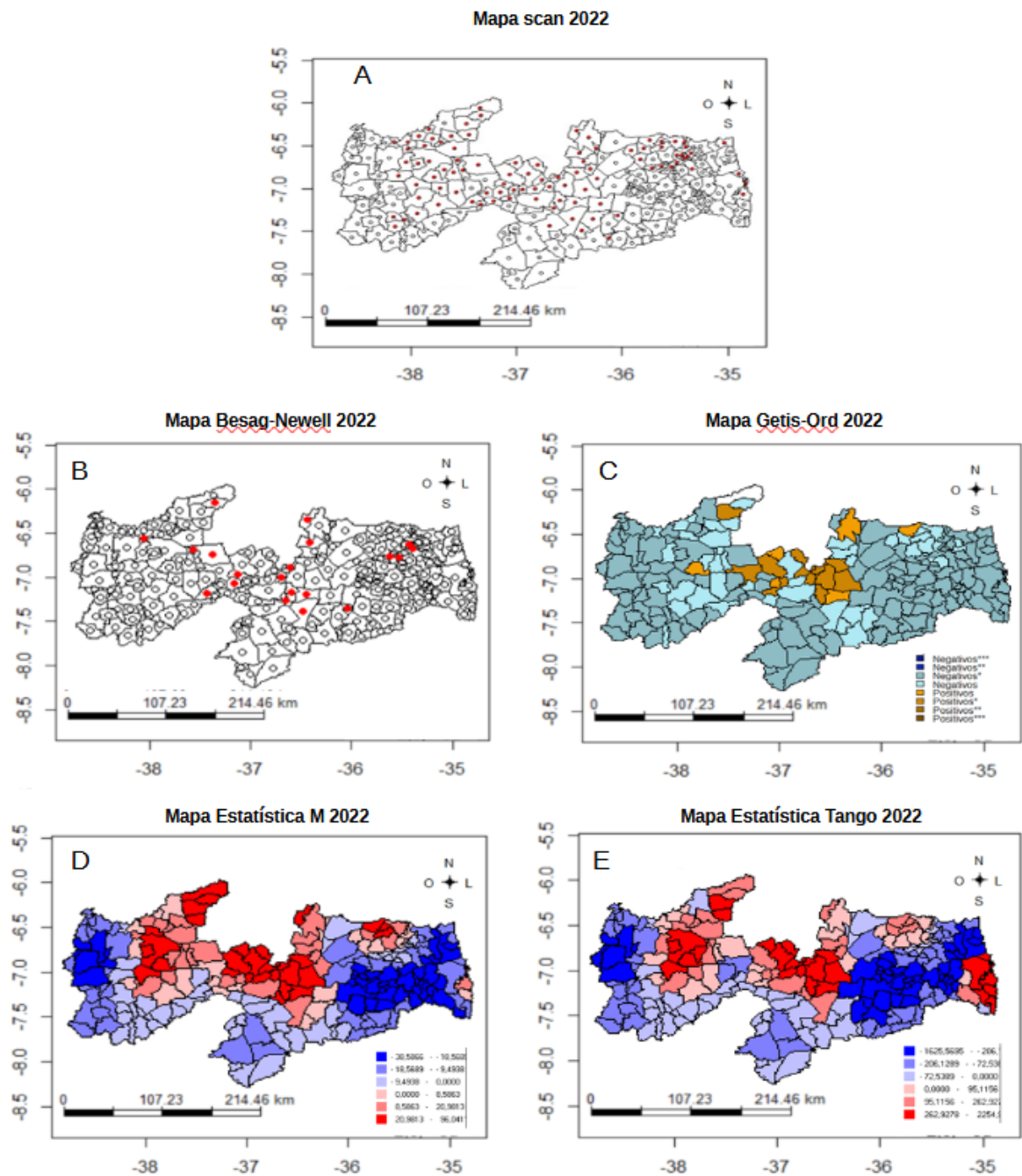
Fonte: elaboração pelo próprio autor, 2025

O mapa DAELF (Figura 24A), identificou 28 aglomerados espaciais de valores altos, e 72 aglomerados com valores baixos, com 5% da distância máxima da região geográfica (Figura 24B).

A comparação dos resultados com os outros métodos de aglomeração

espacial, - Estatística Scan espacial, Besag-Newell, Getis-Ord, Estatística M e Estatística Tango – pode ser observada (Figura 25).

Figura 25 - A) Estatística Scan, B) Besag e Newell, C) Getis-Ord, D) Estatística M e E) Estatística Tango de casos de dengue em 2022



Fonte: elaboração pelo próprio autor, 2025

A estatística scan espacial com 0,001% da população sob risco detectou 52

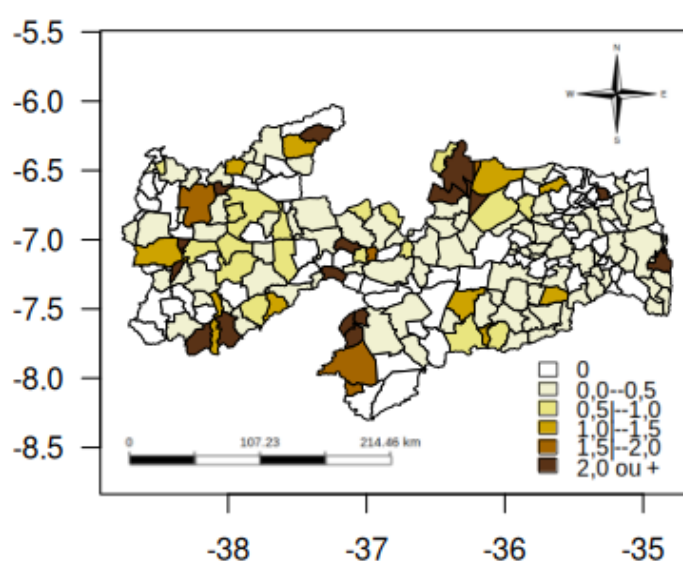
aglomerados significativos (valor- $p < 0,05$), representados no mapa com pontos vermelhos (Figura 25A). Observou-se ainda, que os aglomerados espaciais estão dispersos por todo o estado da Paraíba.

Em relação ao Mapa do Método Besag e Newell (Figura 25B), foram identificados 20 municípios significativos, também representados no mapa com pontos vermelhos. Também se observou maior concentração dispersos pelo estado da Paraíba.

No mapa gerado pelo Getis-Ord (Figura 25C), do ano de 2022, foram identificados aglomerados espaciais de valores positivos e negativos. Identificou-se uma presença maior de aglomerados espaciais de valores negativos em todo o estado da Paraíba. Os aglomerados espaciais de valores positivos (19 aglomerados), com maioria localizados ao norte do estado. Em relação aos métodos Estatística M e (Figura 25D) e Tango (Figura 25E), foram identificados municípios com alta e baixa incidência de casos de dengue em todo o estado da Paraíba.

A RIE dos casos de dengue no estado da Paraíba para o ano de 2023 pode ser observada na Figura 26. A RIE neste período variou entre 0 e 7,50, e seu maior registro ocorreu em Teixeira, município localizado ao leste do estado.

Figura 26 - Mapa do estado da Paraíba, Brasil, representando a Razão de Incidências Espacial de Dengue para o ano de 2023

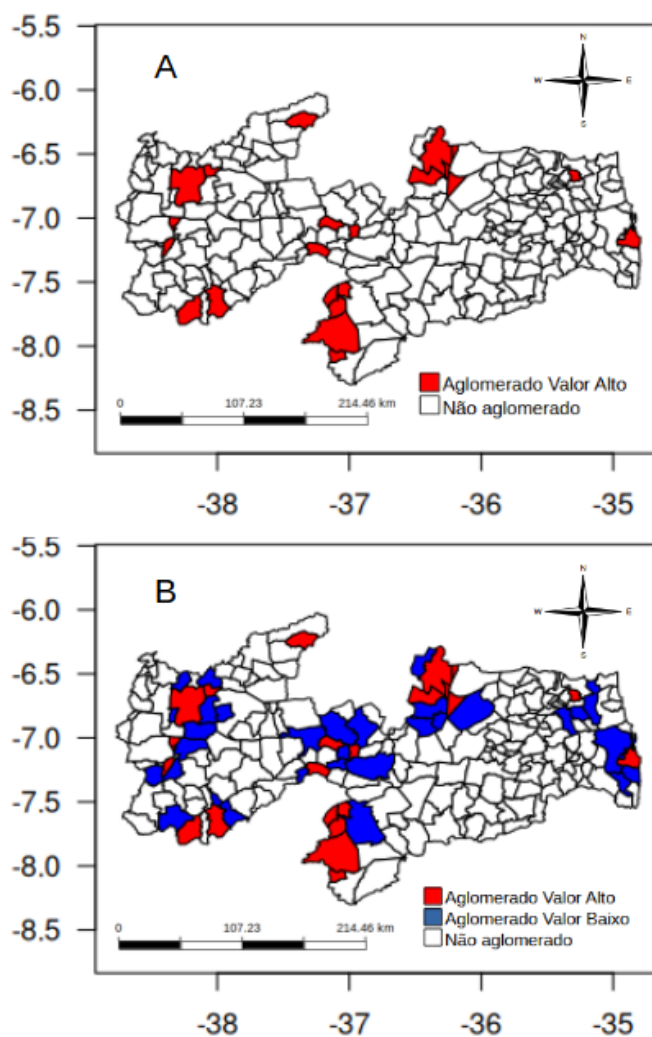


Fonte: elaboração pelo próprio autor, 2025

Os aglomerados de valores altos (Figura 27A) e aglomerados de valores baixos

detectados pelo DAELF, de casos de dengue em 2023, podem ser visualizados na Figura 27B).

Figura 27 - A) DAELF com aglomerados de valores altos, B) DAELF com aglomerados de valores altos e baixos de Dengue para o ano de 2023

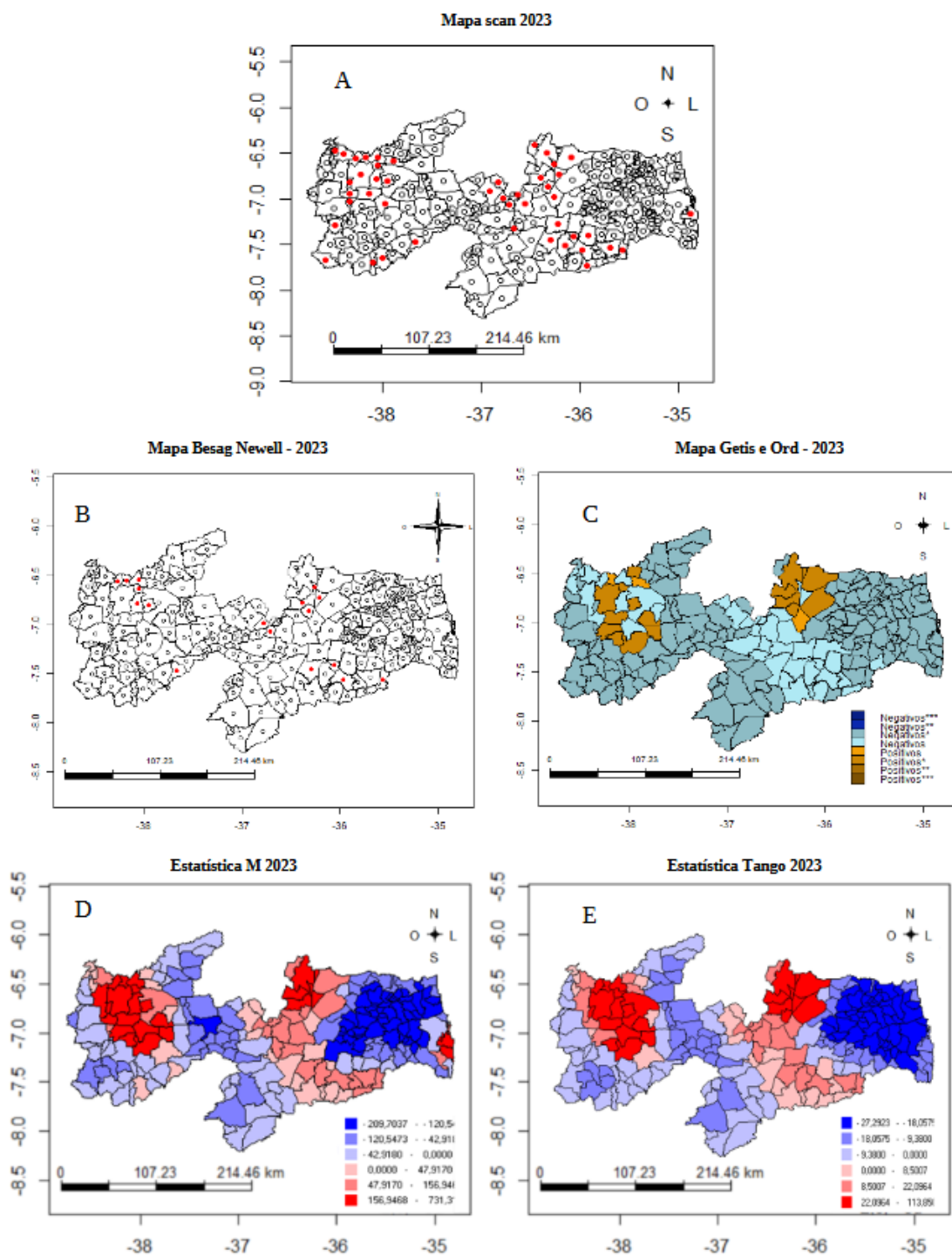


Fonte: elaboração pelo próprio autor, 2025

O mapa DAELF (Figura 27A), identificou 16 aglomerados espaciais de valores altos, e 33 aglomerados de valores baixos com 3% da distância máxima da região geográfica (Figura 27B).

A comparação dos resultados com os outros métodos de aglomeração espacial, Estatística Scan espacial, Besag-Newell, Getis-Ord, Estatística M e Estatística Tango – pode ser observada (Figura 28).

Figura 28 - A) Estatística Scan, B) Besag e Newell, C) Getis-Ord, D) Estatística M e E) Estatística Tango de casos de dengue em 2023



A estatística scan espacial com 0,001% da população sob risco detectou 25

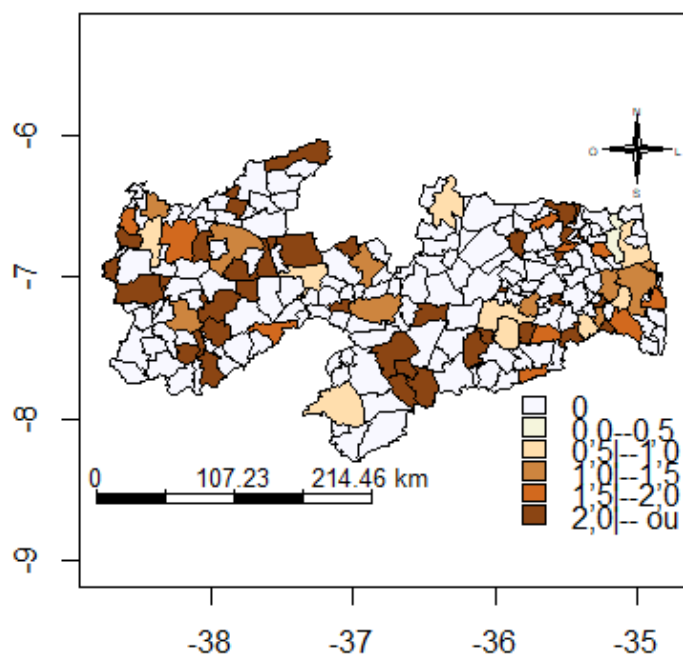
aglomerados significativos (valor- $p < 0,05$), representados no mapa com pontos vermelhos (Figura 28A). Observou-se ainda, que os aglomerados espaciais estão distribuídos em todo o estado da Paraíba.

Em relação ao Mapa do Método Besag e Newell (Figura 28B), foram identificados 4 municípios significativos, também representados no mapa com pontos vermelhos. Observou-se, um aglomerado composto por 3 municípios a oeste e 1 aglomerado ao sul aglomerados espaciais a oeste do estado da Paraíba.

No mapa gerado pelo Getis-Ord (Figura 28C), do ano de 2023, foram identificados aglomerados espaciais de valores positivos e negativos. Identificou-se uma presença maior de aglomerados espaciais de valores negativos em todo o estado da Paraíba. Os aglomerados espaciais de valores positivos (10 aglomerados), com maioria localizados a oeste do estado. Em relação aos métodos Estatística M e (Figura 28D) e Tango (Figura 28E), ressalta-se que foram capazes de detectar municípios com alta e baixa incidência de casos de dengue.

A RIE dos óbitos de COVID-19 no estado da Paraíba para o mês de outubro de 2020 pode ser observada na Figura 29. A RIE neste período variou entre 0 e 27,87, e seu maior registro ocorreu em Cajazeirinhas, município localizado a oeste do estado.

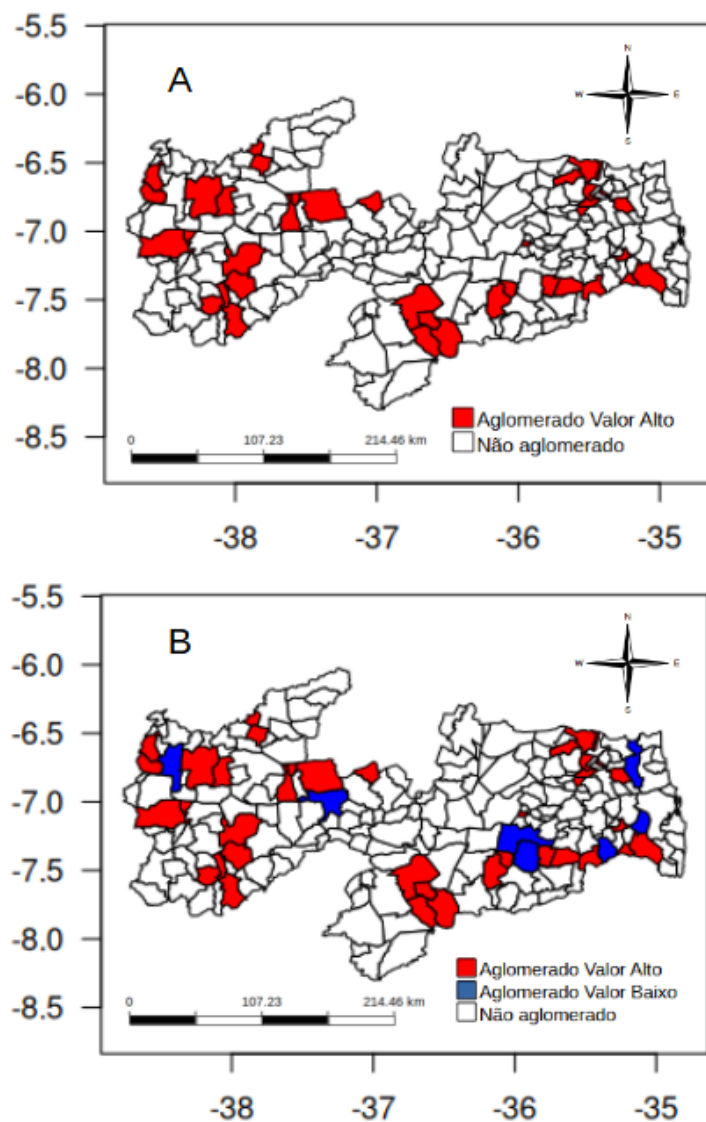
Figura 29 - Mapa do estado da Paraíba, Brasil, representando a Razão de Incidências Espacial de óbitos de COVID-19 para o mês de outubro de 2020



Fonte: elaboração pelo próprio autor, 2025

Os aglomerados de valores altos e baixos (Figura 30) detectados pelo DAELF, de óbitos de Covid-19 em outubro de 2020.

Figura 30 - DAELF com aglomerados de valores altos e baixos de óbitos de COVID-19 para o mês de outubro de 2020

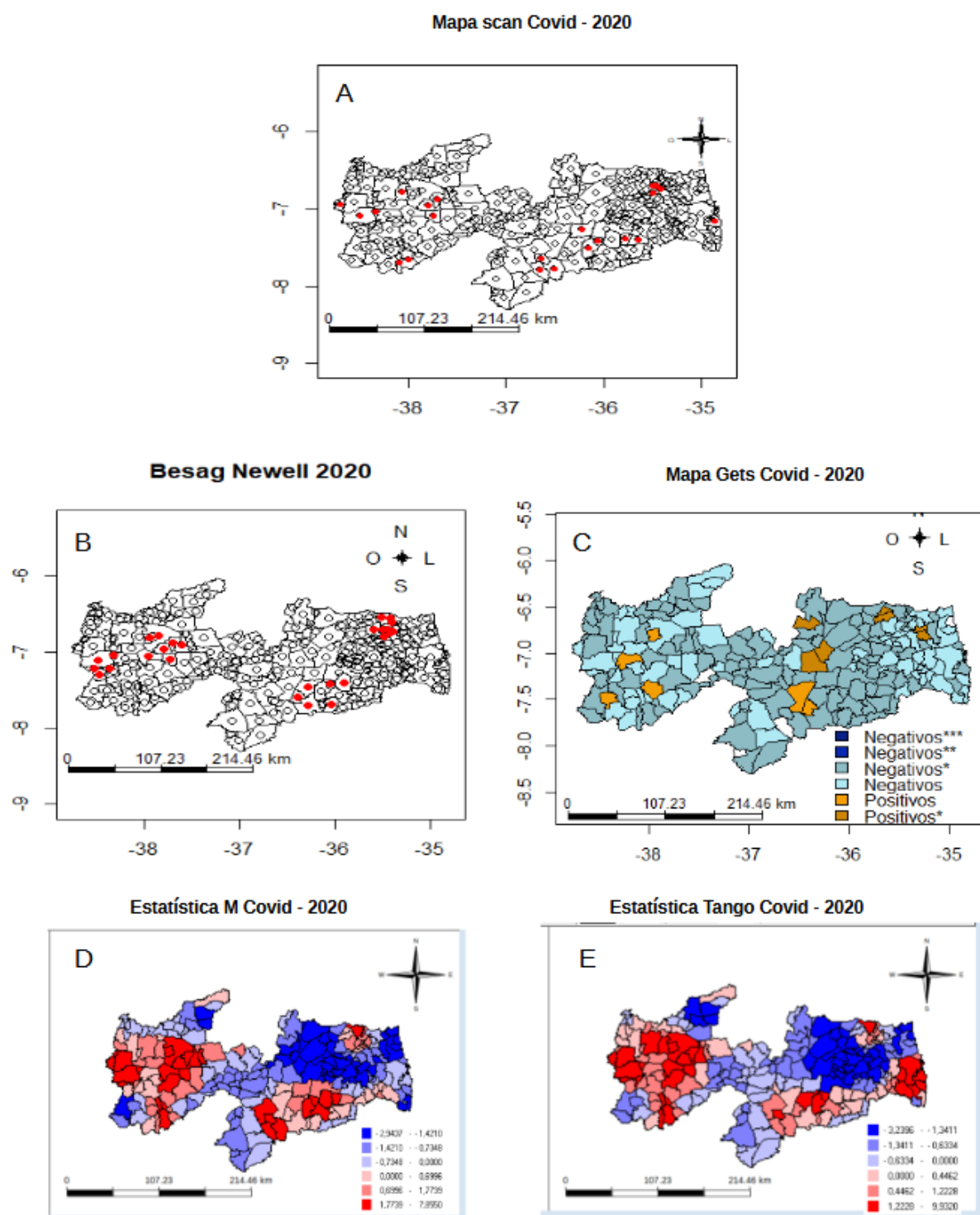


Fonte: Elaboração pelo próprio autor, 2025

O mapa DAELF (Figura 30A), identificou 31 aglomerados espaciais com valores altos, e 7 aglomerados de valores baixos com 3% da distância máxima da região geográfica (Figura 30B).

A comparação dos resultados com os outros métodos de aglomeração espacial, Estatística Scan espacial, Besag-Newell, Getis-Ord, Estatística M e Estatística Tango – pode ser observada (Figura 31).

Figura 31 - A) Estatística Scan, B) Besag e Newell, C) Getis-Ord, D) Estatística M e E) Estatística Tango de óbitos de COVID-19 em outubro de 2020



Fonte: Elaboração pelo próprio autor, 2025

A estatística scan espacial com 0,003% da população sob risco detectou 22 aglomerados significativos (valor- $p < 0,05$), representados no mapa com pontos

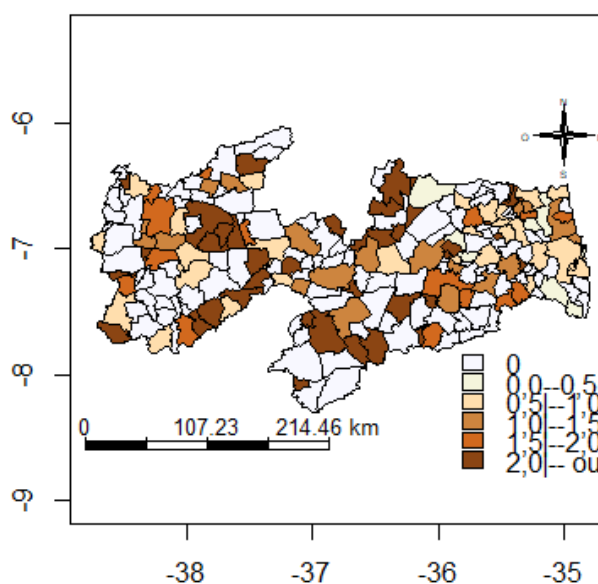
vermelhos (Figura 31A). Observou-se ainda, que os aglomerados espaciais estão distribuídos em todo o estado da Paraíba.

Em relação ao Mapa do Método Besag e Newell (Figura 31B), foram identificados 27 municípios significativos, também representados no mapa com pontos vermelhos. Observou-se, diversos aglomerados compostos localizados, principalmente, a leste e oeste do estado da Paraíba.

No mapa gerado pelo Getis-Ord (Figura 31C), do ano de 2020, foram identificados aglomerados espaciais de valores positivos e negativos. Identificou-se uma presença maior de aglomerados espaciais de valores negativos em todo o estado da Paraíba. Os aglomerados espaciais de valores positivos (13 aglomerados), com maioria localizados a oeste do estado. Em relação aos métodos Estatística M e (Figura 31D) e Tango (Figura 31E), ressalta-se que foram capazes de detectar municípios com alta e baixa incidência de casos de dengue.

A RIE dos óbitos de COVID-19 no estado da Paraíba para o mês de janeiro de 2021 pode ser observada na Figura 32. A RIE neste período variou entre 0 e 14,99, e seu maior registro ocorreu em Cabaceiras, município localizado a oeste do estado.

Figura 32 - Mapa do estado da Paraíba, Brasil, representando a Razão de Incidências Espacial de óbitos de COVID-19 para o mês de janeiro de 2021

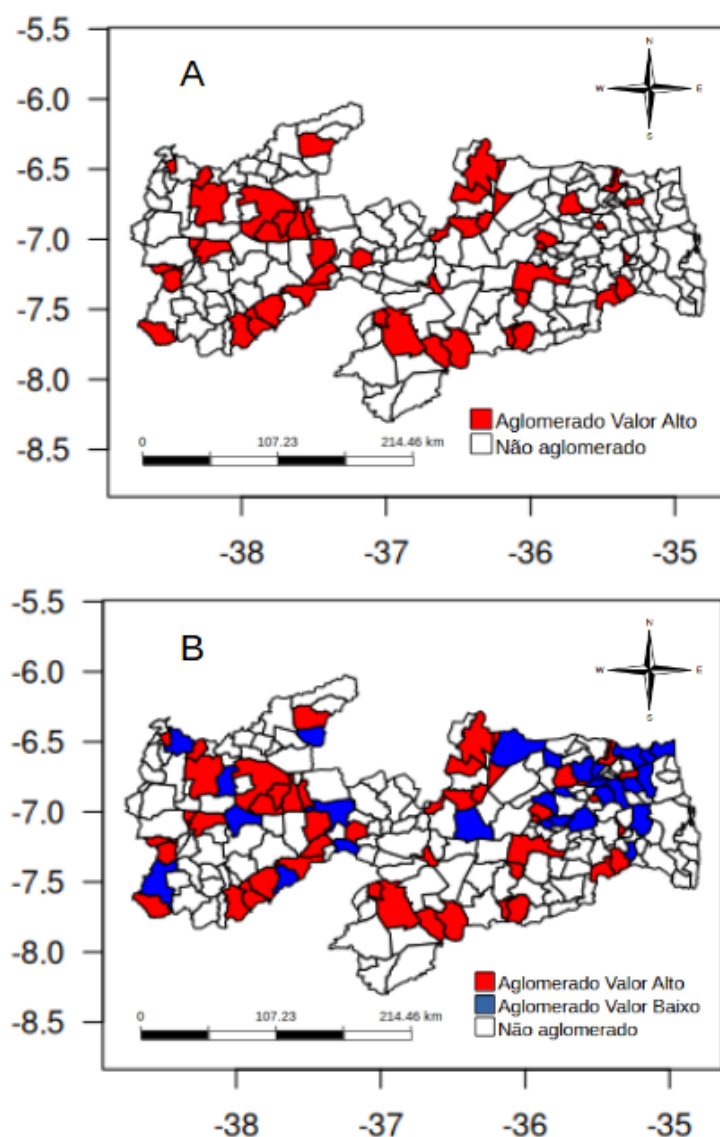


Fonte: Elaboração pelo próprio autor, 2025

Os aglomerados de valores altos (Figura 33A) e aglomerados de valores baixos

detectados pelo DAELF, de casos de Covid-19 em outubro de 2020, podem ser visualizados na (Figura 33B).

Figura 33 - A) DAELF com aglomerados de valores altos, B) DAELF com aglomerados de valores altos e baixos de óbitos de COVID-19 para o mês de janeiro de 2021



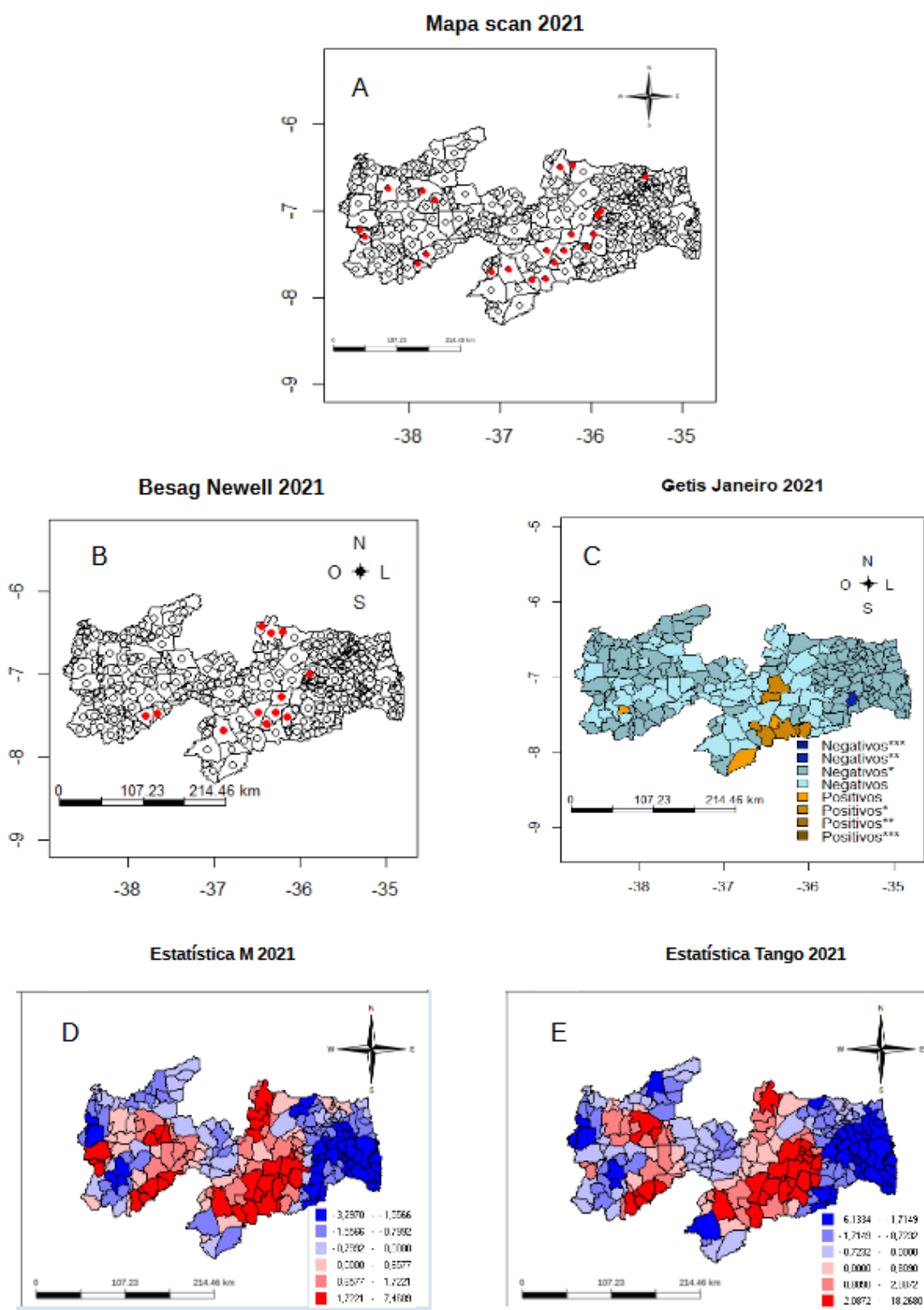
Fonte: Elaboração pelo próprio autor, 2025

O mapa DAELF (Figura 33A), identificou 38 aglomerados espaciais de valores altos e 27 aglomerados de valores baixos com 3% da distância máxima da região geográfica (Figura 33B).

A comparação dos resultados com os outros métodos de aglomeração espacial, Estatística Scan espacial, Besag-Newell, Getis-Ord, Estatística M e

Estatística Tango – pode ser observada (Figura 34).

Figura 34 - A) Estatística Scan, B) Besag e Newell, C) Getis-Ord, D) Estatística M e E) Estatística Tango de óbitos de COVID-19 em janeiro de 2021



Fonte: Elaboração pelo próprio autor, 2025

A estatística scan espacial com 0,004% da população sob risco detectou 22 aglomerados significativos (valor- $p < 0,05$), representados no mapa com pontos vermelhos (Figura 34A). Observou-se ainda, que os aglomerados espaciais estão distribuídos em todo o estado da Paraíba.

Em relação ao Mapa do Método Besag e Newell (Figura 34B), foram identificados 12 municípios significativos, também representados no mapa com pontos vermelhos. Observou-se, diversos aglomerados compostos localizados, principalmente, a leste e oeste do estado da Paraíba.

No mapa gerado pelo Getis-Ord (Figura 34C), do ano de 2020, foram identificados aglomerados espaciais de valores positivos e negativos. Identificou-se uma presença maior de aglomerados espaciais de valores negativos em todo o estado da Paraíba. Os aglomerados espaciais de valores positivos (10 aglomerados), com maioria localizados ao do estado. Em relação aos métodos Estatística M e (Figura 34D) e Tango (Figura 34E), ressalta-se que foram capazes de detectar municípios com alta e baixa incidência de óbitos de Covid-19.

Observou-se que o mapa gerado pelo DAELF coincidiu com a maioria dos valores altos no respectivo mapa da RIE do período analisado, tanto em valores altos como em valores baixos. Por outro lado, métodos como a estatística Scan, Estatística M e Estatística Tango, detectaram aglomerados espaciais mais do que deveriam, ou seja, aglomerados falso positivos.

Em relação ao método de Getis-Ord, o mesmo foi conservador quanto a detecção de aglomerados de valores altos, como por exemplo, nos anos de 2018, 2020 para a dengue e 2020 e 2021 para a Covid-19. O DAELF por outro lado, conseguiu identificar grande parcela de altos e baixos, com base no mapa da RIE.

Os métodos da estatística M e estatística Tango, demonstraram supernotificação dos casos tanto para a dengue como para a Covid-19. Isto é, resultaram em um cenário onde de fato a problemática era pior que a realidade.

Após a comparação visual do DAELF, métodos de aglomeração espacial e mapas da RIE, percebeu-se que o novo método obteve bons resultados pois os aglomerados considerados de valores altos e baixos coincidiram com os valores de do mapa da RIE. Todavia, os métodos que mais se diferenciaram dos resultados de valores altos e baixos do mapa de RIE foram o Getis-Ord, estatística M e estatística Tango.

6 DISCUSSÃO

O novo método para detecção de aglomerados espaciais proposto permitiu a incorporação de regras *Fuzzy* envolvendo o município em análise e sua vizinhança, além da combinação de características da teoria dos grafos e análises espaciais e não-espaciais, resultando em um mapa de decisão final com os municípios que foram aglomerados de valor alto, aglomerados de valor baixo ou municípios que não foram considerados aglomerados espaciais, no estado da Paraíba. Ressalta-se que, após uma vasta busca na literatura científica pertinente, não foram encontradas pesquisas com características semelhantes.

O estudo constatou no mapa de decisão final, aspectos importantes que devem ser utilizados para subsidiar possíveis tomadas de decisão dos gestores. Observou-se que, por exemplo, os municípios que foram considerados “aglomerados espaciais de valores altos” para dengue, ou seja, fatores estão influenciando de diretamente ou indiretamente o surgimento de casos naquela localidade. Ressalta-se que a Dengue é uma doença intrínseca ao processo de urbanização, acúmulo de água em recipientes como garrafas e pneus, lixo em diversos locais, vasos para guarda de plantas em áreas abertas, proporciona o ambiente para o desenvolvimento dos vetores (MEDEIROS, 2024).

Do ponto de vista da COVID-19, sua análise é complexa dado que é uma patologia que atinge indivíduos de todas as faixas etárias, nível socioeconômico, sexo e etnia. Além disso, o desenvolvimento da doença está intimamente relacionado aos determinantes presentes na rotina da população. A vulnerabilidade para adquirir a patologia aumenta dependendo das condições de vida, condição financeira e deficiência de acesso aos serviços essenciais, como por exemplo, saúde e educação.

Em algumas investigações, empregaram-se métodos para detecção de aglomerados espaciais. Em Pinto *et al.* (2019) evidenciou-se que o método foi o mais eficaz em encontrar aglomerados quando comparado com outros métodos de varredura espacial, indicando que a estatística scan pode contribuir para a compreensão da distribuição dos aglomerados espaciais e fatores de risco atrelados ao território da região de interesse; mapear a distribuição de casos e óbitos de COVID-19 no estado da Paraíba (SILVA *et al.*, 2023).

Ainda mais, pesquisas têm sido desenvolvidas com informações

georreferenciadas para a problemática de doenças transmissíveis como tuberculose, hanseníase e dengue (HINO *et al.*, 2011; CHAVES *et al.*, 2017; MELO; MORAES, 2018), talvez pela facilidade de disseminação desses agravos e por apresentarem uma maior associação com o espaço geográfico em que as pessoas vivem e suas condições de vida. No entanto, esses estudos não possuíram como base a Teoria dos Grafos em paralelo com um sistema baseado em regras *Fuzzy* com o modelo Mamdani.

Com base na análise espacial e os mapas gerados nesse estudo para os anos de 2018 a 2023 para a dengue e 2020 a 2021 de Covid-19, foi possível observar que há uma heterogeneidade na distribuição geográfica das patologias no Estado da Paraíba. Porém, há uma maior concentração em áreas com grande densidade populacional, além do leste e oeste paraibano apresentarem municípios com maiores valores de RIE.

Comparando-se os métodos de detecção de aglomerados espaciais com o método DAELF, percebe-se que o método proposto obteve resultados competitivos, dado que através da comparação visual, o DAELF conseguiu detectar municípios com valores altos e baixos em diversas áreas do estado da Paraíba. Isto pode se justificar pelo fato deste utilizar uma metodologia inovadora, que considera a vizinhança criada a partir de um percentual de distância, que serviu como função de entrada para um sistema baseado em regras *Fuzzy*.

Além de aglomerados de valores altos, o DAELF também detectou aglomerados de valores baixos. Alguns métodos, como é o caso do Getis-Ord e da estatística scan espacial também detectam aglomerados de valores baixos, todavia não utilizam como base o arcabouço da lógica *Fuzzy*. Detectar aglomerados de valores baixos é importante porque pode auxiliar na identificação fatores protetores ou a subnotificação de casos. Esse processo gera a possibilidade, portanto, de realização de futuros estudos com o objetivo de investigar o que leva aquela região ao risco baixo ou inexistente.

Considerando que o processo de tomada de decisão é uma prática constante no campo da saúde e todas atividades em saúde estão relacionadas com a busca e o uso da informação, quanto mais precisa for a informação maior será a qualidade na decisão (MARIN, 2010). O novo método pode auxiliar na detecção de aglomerados espaciais de valores altos e/ou de valores baixos, a depender do interesse do usuário. Esses resultados podem subsidiar estratégias dos gestores públicos de saúde, com

objetivo de melhorar o sistema de controle e prevenção de doenças.

Entretanto, para o presente estudo, ressalta-se que a limitação da pesquisa está relacionada com o uso de dados secundários que necessitam de uma boa qualidade e rigoroso registro de informações, mas que, por vezes, não são adequadamente preenchidos. Dessa forma, há a necessidade de coleta e registro de informações qualificadas para que haja uma assistência de qualidade.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi proposto um novo método para detecção de aglomerados espaciais utilizando um sistema baseado em regras *Fuzzy* aplicado à epidemiologia, sendo este formalizado matematicamente, apresentando a capacidade de flexibilização para sua utilização em várias localidades. Ressalta-se que esta abordagem é inovadora pois não foi encontrado nenhum método baseado em lógica *Fuzzy* para detecção de aglomerados espaciais.

A aplicação deste novo método demonstrou sua funcionalidade e vantagens frente a outros métodos de aglomeração espacial, dado que a nova metodologia, gerou resultados satisfatórios quando comparada individualmente com outras metodologias. O resultado do DAELF, permitiu a visualização da distribuição espacial da dengue e da Covid-19 em todos os municípios da Paraíba, demonstrando que as patologias carecem de intervenções para melhoria da qualidade de vida da população. Ressalta-se o cunho interdisciplinar do estudo, dado que o mesmo conseguiu contribuir para diversas áreas do conhecimento.

Espera-se que o presente estudo, possa motivar a produção de pesquisas no campo interdisciplinar, e também possa servir como base para a construção de novos métodos. Diante disso, como trabalhos futuros, pode-se sugerir a criação de um método que seja capaz de detectar aglomerados espaço-temporais, ou seja, municípios que se destacaram em comparação com o seu redor no espaço e no tempo, simultaneamente.

Por fim, vale destacar que um Programa de Computador oriundo dessa tese está em processo de registro junto ao Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI) para posterior disponibilização gratuita no Github do Laboratório de Estatística Aplicada ao Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LEAPIG) (<https://github.com/leapigufpb>).

PRODUÇÃO BIBLIOGRÁFICA

A produção bibliográfica desenvolvida durante o curso de Doutorado do Programa de Modelos de Decisão e Saúde (PPGMDS) da Universidade Federal da Paraíba pode ser observada a seguir:

ROCHA, J. M. F. R. de C.; PONTES, C. F.; FEITOSA, C. R. de S.; MORAES, R. M. de. Perfil dos óbitos pela COVID-19 no estado da Paraíba: março a outubro de 2020. **Revista Principia**, [S. l.], v. 1, n. 56, p. 312–319, 2021. DOI: 10.18265/1517-0306a2021id5071.

ROCHA, C. J. M. F. R.; SILVA, L. H.; MORAES, R. M. Comparative Analysis of Spatial Agglomeration Methods Getis-Ord and Besag and Newell for Dengue Epidemiology Paraíba, Brazil. *In*: International Conference on Information Technology & Systems. Cham: Springer Nature Switzerland, 2024. p. 212-223.

Artigos Submetidos:

ROCHA, C. J. M. F. R.; MORAES, R. M. Análise da Covid-19 no Estado de Pernambuco: Identificação de aglomerados espaciais. **Journal of human growth and development**. Submetido Junho-2021.

ROCHA, C. J. M. F. R.; SILVA, L. H.; MORAES, R. M. A New Method for Spatial Clustering Detection based on *Fuzzy* Logic for Application on Epidemiological Studies. **Geo-spatial Information Science**. Submetido em Fevereiro-2025.

REFERÊNCIAS

ABBAS, A.K.; LICHTMAN, A.H.; PILLAI, S. **Imunologia Celular e Molecular**. 8ª Edição. Elsevier, 2015.

AESA. **Agência Executiva de Gestão das Águas da Paraíba**. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA EM SAÚDE. **Relatório: Bases técnicas para decisão do uso emergencial, em caráter experimental de vacinas contra a COVID-19**. Brasília, DF: ANVISA, 2021.

ANSELIN, L. Local indicators of spatial association - LISA. **Geographical Analysis**, v. 27, p. 91-115, 1995. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x>.

ANSELIN, L. Spatial data analysis with GIS: an introduction to application in the social sciences. **National Center for Geographic Information and Analysis**. University of California - Santa Barbara. August, 1992.

BESAG, J; NEWELL, J. The detection of clusters in rare diseases. **Journal of the Royal Statistical Society**, v. 154, p. 143-155, 1991.

BHOPAL, R. **Concepts of epidemiology: an integrated introduction to the ideas, theories, principles and methods of epidemiology**. Oxford: Oxford University Press; 2007.

BIASSOTI, A.; ORTIZ, M. Diagnóstico laboratorial da dengue. **Revista UNINGÁ**, vol. 29, n. 1, p. 122-126, 2017.

BRASIL. **Boletim Epidemiológico: Monitoramento das arboviroses e balanço de encerramento do Comitê de Operações de Emergência (COE) Dengue e outras Arboviroses 2024**. Secretaria de vigilância em saúde e ambiente. Brasília, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/boletins/epidemiologicos/edicoes/2024/boletim-epidemiologico-volume-55-no-11.pdf>. Acesso: 04 fev 2025

BRASIL. Ministério da Saúde. **Plano Nacional de operacionalização da vacinação contra a COVID-19**. Disponível em: https://www.gov.br/saude/pt-br/media/pdf/2020/dezembro/16/plano_vacinacao_versao_eletronica-1.pdf. Acesso: 06 fev. 2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. Diretrizes para diagnóstico e tratamento da COVID-19. Brasília, DF, 2020.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Painel Coronavírus**. Brasília, DF, 2020.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde – Departamento de Vigilância de Doenças Transmissíveis. **Dengue – diagnóstico e manejo clínico**. Brasília, 2016.

BRASIL. **Portaria nº188, de 3 de fevereiro de 2020.** Declara Emergência em Saúde Pública de importância Nacional (ESPIN) em decorrência da Infecção Humana pelo novo Coronavírus (2019-nCoV). Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2020.

BRUNS, D.P.; KRAGULJAC, N.V.; BRUNS, T. R. COVID-19: facts, cultural considerations, and risk of stigmatization. **J Transcult Nurs**, 31:326-32, 2020. <https://doi.org/10.1177/1043659620917724>

CANDIDO, D. S *et al.* Evolution and epidemic spread of SARS-CoV-2 in Brazil. **MedRxiv**, [United States]: 2020. No prelo. <https://doi.org/10.1101/2020.06.11.20128249>.

CARVALHO, M. S.; SOUZA-SANTOS, R. Análise de dados espaciais em saúde pública: métodos, problemas, perspectivas. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 21, n. 2, p. 361-378, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2005000200003>

CHAVES, E.C *et al.* Índice de carência social e hanseníase no Estado do Pará em 2013: análise espacial. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 26, p. 807-816, 2017.

CHEN, Y. *et al.* Structure analysis of the receptor binding of 2019-nCoV. **Biochem Biophys Res Commun**, v. 525, p. 135-40, 2020. Issue 1. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2020.02.071>.

DIESTEL, R. **Graph theory**. Springer (print edition); Reinhard Diestel (eBooks), 2024.

DOLFUD, O. **O espaço geográfico**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1991.

ELLIOT, P.; WAKEFIELD, J. **Spatial epidemiology: methods and applications**. In: D Briggs. *Spatial epidemiology methods and applications*. Oxford: Oxford University Press; 2000. p. 3-14.

ERTEL, W. **Introduction to artificial intelligence**. 2nd.ed. London: Springer, 2017.

FALAVIGNA, M *et al.* Diretrizes para o Tratamento Farmacológico da COVID-19. Consenso da Associação de Medicina Intensiva Brasileira, da Sociedade Brasileira de Infectologia e da Sociedade Brasileira de Pneumologia e Tisiologia. **Rev Bras Ter Intensiva**, São Paulo, SP, v. 32, n. 2, p. 166-96, 2020. <http://dx.doi.org/10.5935/0103-507x.20200039>.

FEOFILOFF, P.; KOHAYAKAWA, Y.; WAKABAYASHI, Y. **Uma introdução sucinta à teoria dos grafos**. 2011.

FERREIRA, J. A.; MORAES, R. M. **FuzzyRules: Fuzzy Rules for Fuzzy Type II**. GitHub repository, 2024. Disponível em: <https://github.com/leapigufpb/FuzzyRules>. Acesso: 05 fev. 2025.

GOMES, P. F. Uma introdução à Ciência de Redes e Teoria de Grafos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 46, p. e20240190, 2024.

GOODCHILD, M.F. Geographical Data Modeling. **Computers & Geoscience**, v. 18, n. 4, p.401-408, 1992.

GRACIA, E. *et al.* The spatial epidemiology of intimate partner violence: do neighborhoods matter?. **American journal of epidemiology**, v. 182, n. 1, p. 58-66, 2015. <https://doi.org/10.1093/aje/kwv016>

GUZMAN, M. G.; HARRIS, E. Dengue. **The Lancet**, v. 385, n. 9966, p. 453-465, 2015.

HAVERS, F. P. *et al.* Seroprevalence of Antibodies to SARS-CoV-2 in 10 Sites in the United States, March 23-May 12, 2020. **JAMA Intern Med**, 2020. <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2020.4130>.

HAYKIN, S. **Redes neurais: princípios e prática**. Bookman Editora, 2001.

HINO, P.; VILLA, T.C.S.; CUNHA, T.N.D.; SANTOS, C.B.D. Distribuição espacial de doenças endêmicas no município de Ribeirão Preto (SP). **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 16, p. 1289-1294, 2011

HOLMES, D. C. S. C.; MORAES, Ronei M.; VIANNA, Rodrigo PT. A rule for combination of spatial clustering methods. **PATTERNS** 2015, p. 64, 2015.

HUI, D. S. C.; ZUMLA, A. Severe Acute Respiratory Syndrome: Historical, Epidemiologic, and Clinical Features. **Infect Dis Clin North Am**, v. 33, n. 4, p. 869–89, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.idc.2019.07.001>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Síntese de indicadores sociais 2010 uma análise das condições de vida da população brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estimativas de População**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022

JIN, Y. H *et al.* A rapid advice guideline for the diagnosis and treatment of 2019 novel coronavirus (2019-nCoV) infected pneumonia (standard version). **Mil Med Res**, United States, v. 7, Feb. 2020. <https://doi.org/10.1186/s40779-020-0233-6>.

KIRBY, T. New variant of SARS-CoV-2 in UK causes surge of COVID-19. **Country in focus**, v. 9, n. 2, E20-E21, 2021. [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(21\)00005-9](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(21)00005-9).

KUJAWSKI, S. A *et al.* First 12 patients with coronavirus disease 2019 (COVID-19) in the United States. **MedRxiv**, 2020. No prelo <https://doi.org/10.1101/2020.03.09.20032896>.

KULLDORFF, M.; NAGARWALLA, N. Spatial disease cluster: detection and inference. **Statistics in Medicine**, v. 14, p. 799-810, 1995.

LIMA, L. M. M. *et al.* Análise espacial das anomalias congênitas do sistema nervoso.

Cadernos Saúde Coletiva, v. 27, n. 3, p. 257-263, 2019.
<https://doi.org/10.1590/1414-462X201900030313>

LIU, H. *et al.* Comorbid chronic diseases are strongly correlated with disease severity among COVID-19 patients: a systematic review and meta-analysis. **Aging and disease**, v. 11, n. 3, p. 668, 2020. <https://doi.org/10.14336/AD.2020.0502>

LU, R. *et al.* Genomic characterisation and epidemiology of 2019 novel coronavirus: Implications for virus origins and receptor binding. **Lancet**, London, v. 395, p. 565-74, 2020. Issue 10224. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30251-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30251-8).

MARIN, H. F. Sistemas de informação em saúde: considerações gerais. **J. Health Inform.** v.2 , n. 1, p. 20-24, 2010.

MEDEIROS, E. A. Desafios no controle da epidemia da dengue no Brasil. **Acta Paulista de Enfermagem**, v. 37, p. eEDT012, 2024. <https://doi.org/10.37689/actaape/2024EDT012>

MEDRONHO, R. A.; BLOCH, K. V.; WERNECK, G. L. **Epidemiologia**. Editora Atheneu, 2009.

MELO, J.C.S.; MORAES, R.M. Sistema Espacial de Suporte à Decisão para Gestão do Combate ao Dengue Usando Lógica Fuzzy. **TEMA (São Carlos)**, v. 19, n. 3, p. 405-421, 2018.

MORAES, R.M.; BANON, G.J.F.; SANDRI, S.A. Fuzzy expert systems architecture for image classification using mathematical morphology operators. **Information Sciences**, v. 142, n. 1, p. 7-21, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0020-0255\(02\)00154-8](https://doi.org/10.1016/S0020-0255(02)00154-8).

NETTO, B.; OSWALDO, P.; JURKIEWICZ, S. **Grafos: introdução e prática**. [S.l.]: Editora Blusher, 2009

OLIVEIRA, C. C. S. *et al.* Vacina da dengue x sorotipo circulante: uma discussão da cobertura vacinal de acordo com a epidemiologia das regiões do Brasil. **Revista JRG de Estudos Acadêmicos**, v. 7, n. 14, p. e14951-e14951, 2024. <https://doi.org/10.29327/257411>

PARAÍBA (Estado). Secretaria de Saúde do Estado da Paraíba. **Dados epidemiológicos**. Paraíba, PB, 2020.

PEDRYCZ, W.; GOMIDE, F. Fuzzy systems engineering: toward human-centric computing. **John Wiley & Sons**, 2007.

PINTO, M. M. P. S *et al.* Análise comparativa de métodos de aglomeração espacial para estudos epidemiológicos. **Revista Espaço e Geografia**, v. 22, n. 1, p. 683-706, 2019.

POURJAVAD, E.; SHAHIN, A. The application of Mamdani *Fuzzy* inference system in evaluating green supply chain management performance. **International Journal of Fuzzy Systems**, v. 20, p. 901-912, 2018.

POVOA, T. F. *et al.* The pathology of severe dengue in multiple organs of human fatal cases: histopathology, ultrastructure and virus replication. *PloS one*, v. 9, n. 4, p. e83386, 2014.

RESENDES, A. P. C. **Sensoriamento remoto e modelagem espacial nos estudos dos processos endêmicos-epidêmicos em áreas urbanas: o caso da dengue no município de Niterói- Estado do Rio de Janeiro**. 2010. Tese (Doutorado) – Pós-graduação em Ciência na área de Saúde Pública, Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Rio de Janeiro, 2010.

RICH, E.; KNIGHT, K. **Inteligência Artificial**. Rio de Janeiro: McGraw Hill, 1993.

ROCHA, C. J. M. F. R.; SILVA, L. H.; MORAES, R. M. Comparative Analysis of Spatial Agglomeration Methods Getis-Ord and Besag and Newell for Dengue Epidemiology Paraíba, Brazil. *In: International Conference on Information Technology & Systems*. Cham: Springer Nature Switzerland, 2024. p. 212-223.

ROGERSON, P. A. Spatial monitoring of geographic patterns: na aplicação to crimeanalysis. **Computes, Environment and Urban Systems**, v. 25, p. 539-556, 2001.

ROSA, A. M *et al.* Doença respiratória e sazonalidade climática em menores de 15 anos em um município da Amazônia brasileira. **J. Pediatr**, Rio de Janeiro, v. 84, n. 6, p. 543-49, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0021-75572008000700012>.

ROSEN, B.; WAITZBERG, R.; ISRAELI, A. Israel's rapid rollout of vaccinations for COVID-19. **Isr J Health Policy Res**, v. 10, n. 6, 2021. <https://doi.org/10.1186/s13584-021-00440-6>.

ROSENBERG, E. S *et al.* Association of Treatment With Hydroxychloroquine or Azithromycin With In-Hospital Mortality in Patients With COVID-19 in New York State. **JAMA**, New York, v. 323, n. 4, p. 2493-2502, 2020. <https://doi.org/10.1001/jama.2020.8630>.

RUSSELL, S.; NORVIG, P. **Artificial intelligence: a modern approach**. 4th. ed. New York: Pearson, 2020.

SÁ, L. R. *et al.* Nova arquitetura utilizando regras de combinação *Fuzzy* para métodos de aglomeração espacial aplicada à epidemiologia. 2019.

SANTOS, C. B *et al.* Utilização de um Sistema de Informação Geográfica para descrição dos casos de tuberculose. **Bol. Pneumol. Sanit.**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 1, p. 07-12, abr. 2004.

SILVA, L. H *et al.* ANÁLISE ESPACIAL DOS CASOS E ÓBITOS DE COVID-19 NO ESTADO DA PARAÍBA, BRASIL. **Revista Espaço e Geografia**, v. 26, p. 28-49, 2023.

SKALINSKI, L.M.; COSTA, M.C.; TEIXEIRA, M.G.L. Contribuições da análise espacial para a compreensão da dinâmica de transmissão da dengue: revisão integrativa. **J. Health Biol Sci.** v. 7, n. 1, p. 53-63, 2019.

STRINGHINI, S *et al.* Seroprevalence of anti-SARS-CoV-2 IgG antibodies in Geneva, Switzerland (SEROCoV-POP): a population-based study. **The Lancet**, v. 396, p. 313-19, 2020. Issue 10247. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)31304-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)31304-0).

SUSSER, M.; SUSSER, E. Choosing a future for epidemiology: I. Eras and paradigms. **Am J Public Health**, v. 86, n. 5, p. 668-73, 1996. <https://doi.org/10.2105/ajph.86.5.668>.

TANGO, T. A class of tests for detecting general and focused clustering of rare diseases. **Statistics in Medicine**, v. 14, p. 1307-1315, 1995.

TEGALLY, H *et al.* Emergence and rapid spread of a new severe acute respiratory syndrome-related coronavirus 2 (SARS-CoV-2) lineage with multiple spike mutations in South Africa. **MedRxiv**, 2020. No prelo. <https://doi.org/10.1101/2020.12.21.20248640>.

VOLOCH, C. M *et al.* Genomic characterization of a novel SARS-CoV-2 lineage from Rio de Janeiro, Brazil. **MedRxiv**, 2020. No prelo. <https://doi.org/10.1101/2020.12.23.20248598>.

WORBOYS, M. F. **GIS: A computing Perspective**. London: Taylor and Francis, 1995.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **COVID-19 Weekly Epidemiological Update**. 2021

YURKOVICH, S.; OZGUNER, U.; PASSINO, K. M. Control system testbeds and toys: serendipitous or suspect?. In: **Proceedings of the 1997 American Control Conference (Cat. No. 97CH36041)**. IEEE, 1997. p. 2692-2696.

ZADEH, L. A. *Fuzzy sets*. **Information and Control**, v. 8, n. 3, p. 338-353, 1965. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)