



ANÁLISE ESPACIAL E ESPAÇO-TEMPORAL DA COVID-19 NO ESTADO DA PARAÍBA

*Spatial and Spatio-Temporal Analysis da COVID-19 in The State of
Paraíba*

*Análisis Espacial y Espacio-Temporal del Covid-19 en El Estado del
Paraíba*

PONTES, C. F.

Catarina Ferreira Pontes ¹, Jodavid de Araújo Ferreira ², Claryce Rebeca de Sousa Feitosa ², Rodrigo Pinheiro de Toledo Vianna ², Ronei Marcos de Moraes ²

¹ Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Estatística, João Pessoa, Brasil. catarina-coutinho@hotmail.com.br.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4017-3320>

² Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Estatística, João Pessoa, Brasil. jodavid@protonmail.com.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2131-6464>

² Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Geografia, João Pessoa, Brasil. claryfeitosa@gmail.com.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5782-130X>

² Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Nutrição, João Pessoa, Brasil. vianna@ccs.ufpb.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5358-1967>

² Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Estatística, João Pessoa, Brasil. ronei@de.ufpb.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8436-8950>

Recebido: 07/02/2022; Aceito: 05/01/2023; Publicado: 10/04/2023

RESUMO

Este estudo tem como objetivo detectar a distribuição espacial e espaço-temporal dos casos novos semanais da COVID-19 no estado da Paraíba. Trata-se de estudo epidemiológico, retrospectivo de abordagem quantitativa, cujos dados utilizados para análise são referentes ao número de casos novos confirmados semanais de COVID-19 notificados no estado da Paraíba, Brasil, e que correspondem ao período da 12^a semana epidemiológica de 2020 a 32^a semanas epidemiológicas de 2021. Foram estimadas as Razões de Incidências Espacial e aplicadas a estatísticas *Scan* circular e *Scan* espaço-temporal para a detecção dos aglomerados. A análise espacial foi dividida em quatro momentos, o primeiro foi evidenciado na 12^a semana epidemiológica de 2020, os casos de COVID-19 estiveram presentes em quatro municípios: João Pessoa, Pitimbu, Igaracy e Sousa. O segundo foi compreendido pelo primeiro pico da pandemia da COVID-19, na 28^a semana epidemiológica de 2020, marcado pela presença de aglomerado espacial em todas as regiões do estado, com destaque na região Nordeste. O terceiro foi determinado na 35^a semana epidemiológica de 2020, apresentando uma disseminação dos casos para o interior do estado da Paraíba. O quarto foi caracterizado na 22^a semana epidemiológica de 2021, identificando aglomerados disseminados em todas as regiões do estado da Paraíba. Na análise espaço-temporal, foram observados cinco aglomerados, mais presentes na região norte, sul e central do estado. A detecção dos aglomerados espaciais e espaço-temporais pode auxiliar gestores públicos a reconhecer as áreas prioritárias para o monitoramento dos casos de COVID-19.

Palavras-Chave: Infecções por coronavírus, Análise espacial, Análise espaço-temporal

PONTES, C. F.

ABSTRACT

This study aims to detect the spatial and spatio-temporal distribution of new weekly COVID-19 cases in the state of Paraíba. Epidemiological, retrospective study with a quantitative approach, whose data used for analysis refer to the number of weekly confirmed new cases of COVID-19 reported in the state of Paraíba, Brazil, and which correspond to the period of the 12th epidemiological week from 2020 to the 32nd week epidemiological data for 2021. Spatial Incidence Ratios were estimated and the Circular Scan and Spatio-Time Scan statistics were applied to detect clusters. The spatial analysis was divided into four moments, the first was evidenced by the 12th epidemiological week of 2020, the cases of COVID-19 were present in four municipalities: João Pessoa, Pitimbu, Igaracy and Sousa. The second was comprised by the first peak of the COVID-19 pandemic, in the 28th epidemiological week of 2020, marked by the presence of spatial clusters in all regions of the state, especially in the Northeast region. The third was determined by the 35th epidemiological week of 2020, presenting a spread of cases to the interior of the state of Paraíba. The fourth was characterized by the 22nd epidemiological week of 2021, identifying scattered clusters in all regions of the state of Paraíba. In the space-time analysis, five clusters were observed, most present in the north, south and central regions of the state. The detection of spatial and spatio-temporal clusters can help public managers to recognize priority areas for monitoring COVID-19 cases.

Keywords: Coronavirus infections, Spatial analysis, Spatio-time analysis

RESUMEN

Este estudio tiene como objetivo detectar la distribución espacial y espacio-temporal de los nuevos casos semanales de COVID-19 en el estado de Paraíba. Estudio epidemiológico, retrospectivo con enfoque cuantitativo, cuyos datos utilizados para el análisis se refieren al número de nuevos casos semanales confirmados de COVID-19 notificados en el estado de Paraíba, Brasil, y que corresponden al período de la 12^a semana epidemiológica de 2020 a la semana 32 datos epidemiológicos de 2021. Se estimaron las Razones de Incidencia Espacial y se aplicaron a las estadísticas Circular Scan y Spatio-temporal Scan para la detección de conglomerados. El análisis espacial se dividió en cuatro momentos, el primero se evidenció en la 12^a semana epidemiológica de 2020, los casos de COVID-19 estuvieron presentes en cuatro municipios: João Pessoa, Pitimbu, Igaracy y Sousa. La segunda se entendió por el primer pico de la pandemia de la COVID-19, en la 28^a semana epidemiológica de 2020, marcada por la presencia de un conglomerado espacial en todas las regiones del estado, especialmente en la región Nordeste. El tercero se determinó en la 35^a semana epidemiológica de 2020, mostrando una propagación de casos al interior del estado de Paraíba. El cuarto fue caracterizado en la 22^a semana epidemiológica de 2021, identificando conglomerados diseminados en todas las regiones del estado de Paraíba. En el análisis espacio-temporal se observaron cinco conglomerados, más presentes en las regiones norte, sur y centro del estado. La detección de conglomerados

PONTES, C. F.

espaciales y espaciotemporales puede ayudar a los gestores públicos a reconocer áreas prioritarias para el seguimiento de casos de COVID-19.

Palabras clave: Infecciones por coronavirus, Análisis espacial, Análisis espaciotemporal

PONTES, C. F.

1. Introdução

A COVID-19 (*Coronavirus Disease 2019*) é uma infecção causada pelo SARS-CoV-2, um vírus pertencente à família dos *Coronaviridae*, de RNA com sentido positivo, que é um potente causador de doenças respiratórias agudas graves. No final de dezembro de 2019, em Wuhan, China, foi identificada pela primeira vez a sua transmissão em humanos. Em março de 2020, a COVID-19 foi rotulada como uma pandemia pela Organização Mundial da Saúde (OMS), devido ao crescimento dos números de casos e a sua velocidade de contaminação no mundo (ZHAO *et al.*, 2020; LI *et al.*, 2020).

Em 03 de novembro de 2021, foram registrados 247.472.724 casos confirmados de COVID-19 no mundo, sendo 93.867.665 (37,93%) casos nas Américas, 77.527.689 (31,32%) na Europa, 44.030.064 (17,79%) no Sudeste da Ásia, 16.399.307 (6,62%) no Mediterrâneo Oriental, 9.488.950 (3,83%) no Pacífico Ocidental e 6.158.285 (2,48%) na África. Os Estados Unidos da América e Brasil contribuíram com 72,04% dos casos registrados nas Américas, e juntos representaram 27,32% dos casos em nível mundial (OMS, 2021).

No Brasil, em 03 de novembro de 2021, foram registrados 21.835.785 casos acumulados e 608.235 mortes por COVID-19. Na região Nordeste foi registrado 4.857.516 casos acumulados e 118.131 óbitos, apresentando uma taxa de incidência de novos casos de 8.511,3 para cada 100 mil habitantes e mortalidade de 207,0 na mesma proporção. Dessa forma, o Nordeste foi a segunda região mais acometida por casos e óbitos do SARS-CoV-2 em todo país e acompanhar a evolução dessa afecção torna-se um desafio para os diversos sistemas de vigilância epidemiológica (BRASIL, 2021).

No estado da Paraíba foram implantadas medidas sanitárias antes mesmo do primeiro caso confirmado em 19 de março de 2020. Contudo, o estado, até o mês de novembro de 2021, já notificou mais de 454.529 casos e cerca de 9.430 óbitos (2,10% de letalidade), tendo a capital João Pessoa 108.835 (23,94%) casos, o município com maior quantidade de casos. No entanto, é possível visualizar a partir do mês de agosto de 2020 uma difusão do vírus também para pequenos

PONTES, C. F.

municípios do estado, representando o processo de interiorização da doença (PEDROSA; ALBUQUERQUE, 2020; SILVA, 2021).

Diante disso, é importante que se tenha um conhecimento sobre a distribuição geográfica dos casos através dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) que são instrumentos indispensáveis para criar mapas e análises espaciais epidemiológicas. Dessa forma, o estado pode aperfeiçoar e desenvolver estratégias, por meio de análise da distribuição espacial de enfermidades e suas ligações com aspectos da população, da mobilidade e do ambiente (SOUZA *et al.*, 2020).

Nessa perspectiva, com o aumento do número de casos de SARS-CoV-2 na Paraíba e, compreendendo que a pandemia se comporta de diferentes formas a depender de aspectos territoriais, do perfil demográfico e da economia, analisamos a sua distribuição espacial, espaço-temporal e suas características demográficas (TRAN *et al.*, 2020). Sendo assim, identificar o padrão da distribuição espacial da COVID-19 é importante para que exista um maior controle da doença, reduzindo, assim, a sua propagação e, conseqüentemente, sua morbimortalidade, além de ser um importante instrumento para auxiliar no direcionamento dos recursos voltados para saúde pública (SÁ; NOGUEIRA; MORAES, 2015).

Contudo, detectar a conjuntura geográfica dos casos de COVID-19, ou seja, sua disposição espacial, subsidiará uma tomada de decisão mais dinâmica e efetiva pelos gestores da saúde, principalmente na adoção de medidas estratégicas de prevenção contra a doença, ao auxiliar na identificação de subáreas prioritárias, além de contribuir diretamente com o desenvolvimento das pesquisas epidemiológicas, auxiliando na visualização do risco de seu acontecimento e proporcionando uma compreensão dos avanços ou retardo do agravo no espaço geográfico.

Dessa forma, o presente estudo tem o objetivo de detectar a distribuição espacial e espaço-temporal dos casos novos semanais da COVID-19 no estado da Paraíba.

PONTES, C. F.

2. Metodologia

2.1 Área de estudo

O estudo foi desenvolvido no estado da Paraíba, que ocupa uma extensão territorial de 56.469,778 km², constituído por 223 municípios que são divididos em quatro mesorregiões, sendo a Mata Paraibana, Agreste Paraibano, Borborema e Sertão Paraibano. A população é de 4.059.905 habitantes, totalizando uma densidade demográfica de 66,70 habitantes/km². O estado está localizado na região Nordeste do Brasil e faz limites com os estados do Rio Grande do Norte ao norte, Ceará a oeste, Pernambuco ao sul e o Oceano Atlântico a leste, conforme pode ser observado no mapa da Figura 1 (IBGE, 2020).

Figura 1 - Mapa político-administrativo do estado da Paraíba (Paraíba, 2020).



Fonte: Paraíba, 2020.

2.2 Caracterização do estudo

Este estudo do tipo ecológico, de cunho quantitativo e exploratório. Utilizou-se dados secundários dos casos de COVID-19 do estado da Paraíba, disponibilizados pelo Sistema de Notificações de Síndrome Gripais (SNSG) do Ministério da Saúde (MS), presentes no site opendatasus, no período da 12^a semana epidemiológica de 2020 (15/03/2020 a 21/03/2020) a 32^a semana epidemiológica de 2021 (25/07/2021 a 01/08/2021). A população do estudo foi

PONTES, C. F.

composta por todos os casos novos confirmados de COVID-19 no estado da Paraíba durante o período do estudo.

Foram utilizados métodos de detecção de aglomerados espaciais, conceituados pela literatura como um conjunto de regiões que representam risco considerável de ocorrer determinado evento. Sua finalidade foi identificar áreas significativas e não significativas de um evento em estudo, a partir de uma região geográfica, através de informações georreferenciadas (HOLMES; MORAES; VIANNA, 2015). O foco está em visualizar se o evento possui uma distribuição espacial aleatória ou se apresenta aglomerados espaciais estatisticamente significativos.

A priori, realizou-se uma seleção das variáveis de interesse (critérios) no banco de dados do SNSG: data de notificação, comorbidades, sexo, município de residência e idade. A coleta de dados foi registrada em uma planilha eletrônica e, em seguida, foram realizadas as análises da RIE, análise espacial, análise espaço-temporal com o tempo do aglomerado espaço-temporal e a persistência do aglomerado espaço-temporal.

Destarte, foram elaborados mapas e gráficos, fornecendo uma melhor visualização dos resultados. A RIE foi verificada para cada município do estado da Paraíba entre a 12^a semana epidemiológica de 2020 e a 32^a semana epidemiológica de 2021. Em relação à análise espacial e espaço-temporal, foram utilizados os métodos *Scan* espacial e *Scan* espaço-temporal retrospectivo, respectivamente. Em ambas as análises, avaliou-se os valores de 0,1% a 20% da população sob risco de acordo com os métodos *Scan* (KULLDORFF, 2015). Vale ressaltar que o risco utilizado pelo método *Scan* não corresponde ao risco definido na Epidemiologia. Os valores citados de 0,1%, 0,3%, 0,4%, 0,6% da população sob risco foram os que apresentaram os melhores resultados. Os mapas da estatística *Scan* espacial foram analisados para cada semana e do *Scan* espaço-temporal, conforme a semana e a persistência do aglomerado, usando como referência os mapas da RIE.

PONTES, C. F.

Para as análises foram utilizados *software* livres e gratuitos, a análise espacial foi realizada como auxílio do R versão 3.6.3 e a análise espaço-temporal foi obtida através do SaTScan versão 9.7.

2.3 Razão de Incidências Espacial

É uma medida espacial que mostra a incidência de casos de uma determinada área em relação à população sob risco desse local (LIMA et al., 2019). Para compreender a RIE, é indispensável definir dois conceitos importantes na análise espacial: a região geográfica e o geo-objeto.

A região geográfica é uma área geográfica demarcada do estudo onde os fenômenos epidemiológicos vão ocorrer e sobre a qual os eventos de interesse ocorrem. Pode ser demonstrada por um conjunto de objetos distintos e localizáveis geograficamente dentro dela; estes, por sua vez, podem ser chamados geo-objetos (GOODCHILD, 1992). Por exemplo, para um estudo epidemiológico focado nas condições crônicas entre crianças e adolescentes no território paraibano, a Paraíba é a região geográfica. Este estudo pode ser desenvolvido a partir das totalizações das notificações de casos de doenças crônicas em cada município paraibano. Assim, a Paraíba é a região geográfica, e cada município é um geo-objeto.

Desse modo, a RIE apresenta a razão de duas incidências na ocorrência de um fenômeno, ou seja, a incidência em um geo-objeto a_i com relação à incidência de todos da região A. A primeira apresenta a razão entre o número de casos avaliados de uma subárea em relação à população em risco na mesma subárea. O segundo apresenta a razão entre o número total de casos computados em toda região geográfica, com relação à população total em risco. Assim, a RIE é dada pela seguinte equação (LIMA et al., 2019).

$$RIE(a_i) = \frac{\frac{C_{a_i}}{n_{a_i}}}{\frac{\sum_{j=i}^S C_{a_j}}{\sum_{j=i}^S n_{a_j}}} = \frac{\frac{c_{a_i}}{n_{a_i}}}{\frac{C}{N}}$$

(1)

PONTES, C. F.

ou seja, a RIE é fornecida pela incidência de um evento epidemiológico no geo-objeto a_i dividido pela incidência em toda a região geográfica.

Para análise da RIE(a_i) foram aplicadas as seguintes categorias: RIE nula, quando não existe incidência do evento epidemiológico no geo-objeto a_i ; maior que 0 e menor que 0,5 indica que a RIE é inferior à metade da incidência global na região geográfica no geo-objeto a_i ; maior ou igual a 0,5 e menor do que 1,0, a RIE naquela subárea é maior ou igual à metade e inferior à incidência em toda a região geográfica; maior ou igual a 1,0 e menor do que 1,5, a RIE naquela subárea é maior ou igual à incidência em toda a região geográfica, mas não a excede em mais do que 50%; maior ou igual a 1,5 e menor do que 2,0, a RIE naquela subárea 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; e quando maior ou igual a 2,0 a RIE naquela subárea é maior ou igual à 2,0 vezes a incidência em toda a região geográfica (LIMA *et al.*, 2019).

2.4 Métodos de Detecção de Aglomerados Espaciais

Na abordagem realizada foram utilizados métodos de aglomerados espaciais, conceituados pela literatura como um conjunto de regiões que representam risco considerável de ocorrer determinado evento. Sua finalidade é identificar áreas significativas e não significativas de um evento em estudo, a partir de uma região geográfica, através de informações georreferenciadas (HOLMES; MORAES; VIANNA, 2015). O foco está em visualizar se o evento possui uma distribuição espacial aleatória ou se apresenta aglomerados espaciais.

Na literatura nacional e internacional são fornecidas opções de métodos, considerando a natureza dos dados utilizados, possíveis indicações e limitações, como possibilidade de uso, foram pré-selecionadas: a estatística *Scan* espacial (KULLDORFF; NAGARWALLA, 1995), *Besag e Newell* (BESAG; NEWELL, 1991) e *Getis-Ord* (GETIS; ORD, 1992). O método selecionado para a análise espacial dos dados da pesquisa adequou à estatística *Scan* espacial. A preferência desse método foi devido à sua possibilidade de apresentar melhores resultados no que

PONTES, C. F.

corresponde à identificação de aglomerados espaciais quando aplicado a regiões com baixa população, tal como em situações em que o interesse do estudo se baseia em analisar áreas de incidência elevada, todavia com limitado conhecimento anterior da área (THOMAS; CARLIN, 2003).

2.5 Estatística *Scan* Espacial

O método de varredura *Scan* foi aplicado com a finalidade de identificar áreas com conglomerados, em que seu acontecimento implica diretamente em uma maior chance de ocorrência dentro do próprio conglomerado do que fora, ou seja, um conglomerado pode ser um município ou um grupo de municípios dos quais o risco de ocorrência de casos de COVID-19 é mais elevado do que fora dele. Ressalta-se que a definição de risco utilizado no *Scan* não equivale ao risco definido na epidemiologia. Esse método faz uma relação da informação da área com um círculo único dentro do geo-objeto, podendo atribuir variadas formas geométricas, como uma elipse (NEIL; MOORE; SABHNANI, 2005), um retângulo (DUCZMAL; ASSUNÇÃO, 2004) e um círculo (KULLDORFF *et al.*, 2006).

A forma geométrica circular favorece a observação da aplicabilidade do método, contudo, conforme Kulldorff *et al.* (2006), determinar a forma geométrica apropriada não é de importância fundamental, pois seja qual for a opção, exerce o objetivo básico de identificar aglomerado geográfico. Porém, garante que determinadas formas podem apresentar uma execução melhor que outras. Diante disso, para que a inferência estatística seja fundamentada, é essencial que inicialmente a seleção seja apoiada no real formato do aglomerado, antes da análise dos dados, com o propósito de evitar tendências na pré-seleção.

A varredura *Scan* atribui uma janela circular para cada centroide, onde o círculo é disposto em um dos geo-objetos do estudo e seu raio é incrementado até o tamanho máximo determinado (MELO; MELO; MORAES, 2016). Para cada centroide, o raio possibilita que varie do zero ao máximo valor recomendado, que é 50% da população em risco. O mapa da RIE pode ser usado como referência para se determinar o melhor mapa resultante do *Scan*.

PONTES, C. F.

Seja M o total de indivíduos na população sob risco em determinada região geográfica G , e seja Z o número total de casos registrados em G para cada centroide, círculos posicionados tiveram o raio aumentado envolvendo centroides vizinhos até um percentual da população pré-determinada. Paralelamente, para cada área contida pelo raio do círculo se realiza um teste de significância com o objetivo de saber se a subárea (geo-objeto) é uma candidata a aglomerados. Considera-se, dessa forma, L_1 um conjunto de todas as zonas circulares, sabendo que $L_1 \subseteq G$, e C é o número total de geo-objetos em G e J_i é o número máximo de áreas mais próximas do geo-objeto g_i (SÁ, *et al.*, 2020).

$$L_1 = \{l_{ij} \in G \vee 1 \leq i \leq C, 1 \leq j \leq J_i\} \quad (2)$$

A razão de verossimilhança pode ser definida como a razão de verossimilhança das informações sob uma hipótese alternativa seguido pela verossimilhança de uma hipótese nula (NEIL; MOORE; SABHNANI, 2005; KULLDORFF; NAGARWALLA, 2006).

Assim, seja $p_l = z_l/m_l$ a probabilidade do acontecimento dos casos dentro da zona l , que possui z_l casos registrados e m_l indivíduos sob risco e $q_l = (Z - z_l)/(M - m_l)$ a probabilidade de casos fora da zona. Se a zona l for candidata a um aglomerado, tem-se a seguinte razão de verossimilhança (SÁ *et al.*, 2020):

$$\lambda = \begin{cases} \sup_{p_1 \in L_1} \left(\frac{z_l}{E(l)} \right)^{z_l} \left(\frac{Z - z_l}{Z - E(l)} \right)^{Z - z_l}, & \text{se} \\ \frac{z_l}{E(l)} > \frac{Z - z_l}{Z - E(l)} \\ 1, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (3)$$

onde: $E(l) = \frac{z_l}{M}$ é o valor esperado de casos dentro da zona l .

Desse modo, a significância estatística do conglomerado mais plausível dos casos considerados é obtida mediante as simulações de Monte Carlo com $\alpha = 0,05$ (LUCENA; MORAES, 2009; MOURA, 2006). Nesse método *Scan*, a delimitação é obtida em relação ao percentual da população perante o risco.

PONTES, C. F.

Assim sendo, o raio de busca é estabelecido, aumentando até que abranja no máximo $\beta\%$ da população, não havendo uma normatização sobre este percentual da população, buscando o percentual que se adeque em cada cenário analisado (MELO; MELO; MORAES, 2016).

2.6 Estatística *Scan* Espaço-Temporal

Tem o objetivo de visualizar aglomerados que sucedem no espaço e no tempo simultaneamente. Esse método é similar ao espacial, porém distingue-se por considerar o tempo. Desse modo, utiliza a forma geométrica do cilindro, cuja base compreende o espaço geográfico e a altura do cilindro, o tempo, possibilitando que a base e altura modifiquem constantemente conforme a varredura. É recomendado que a medida da base geográfica e o período de tempo sejam restritos à metade da quantidade de casos estabelecidos e à metade do período total. Logo, a janela do cilindro desloca-se no espaço e no tempo de forma que, a determinada área geográfica também encontre cada período de tempo provável, transpondo em cilindros justapostos de variados tamanhos, onde são experimentados quanto à probabilidade de fazer parte de um aglomerado espaço-temporal. A significância desses aglomerados é obtida usando a simulação de Monte Carlo, da qual a hipótese nula confirma que não existe aglomerados espaço-temporal na área geográfica e a hipótese alternativa que há pelo menos um aglomerado (KULLDORFF *et al.*, 1998).

Partindo dessa definição, é possível realizar a análise espaço-temporal de duas maneiras: a análise retrospectiva, utilizada pela análise de dados coletados em um período de tempo definido, e a análise prospectiva, que é utilizada em dados que são mantidos em contínua atualização. Então, pode-se afirmar que a análise do tipo retrospectiva destaca o padrão de acontecimentos, ao passo que a análise do tipo prospectiva tem a finalidade de examinar a atividade do fenômeno, sobretudo sobre as novas informações obtidas. Da mesma maneira que a estatística *Scan*, na estatística *Scan* espaço-temporal dois modelos frequentemente são utilizados, o Poisson e Bernoulli. Como na área da epidemiologia trabalha-se, usualmente, com dados de contagem, o Modelo de

PONTES, C. F.

Poisson é mais utilizado (YAMADA; ROGERSON; LEE, 2009; LUCENA; MORAES, 2012).

No *Scan* espacial são observadas zonas circulares em L_1 e o período de tempo é observado como N_t intervalos de pontos discretos no tempo, do tempo inicial t_1 até o tempo final t_{N_t} (TANGO, 2010), ou seja:

$$PT = \{t_1, \dots, t_{N_t}\} \quad (4)$$

Na análise espaço-temporal pode-se obter duas informações adicionais que são o tempo dos aglomerados, ou seja, o momento em que determinado período de tempo do aglomerado é detectado e a persistência dos aglomerados, o que consiste em quanto tempo cada aglomerado detectado existe (MORAES; NOGUEIRA; SOUSA, 2014).

Então, atendendo um período de tempo em L_1 em um estudo do tipo retrospectivo, como é o caso da presente pesquisa, a base do cilindro reflete o espaço (L_1) e sua altura reflete o período de tempo (PT), definindo assim um domínio cilíndrico dado por $L_2 = L_1 \times PT$. Se a zona cilíndrica l_2 for uma candidata a um aglomerado, a seguinte razão de verossimilhança é fornecida (LIMA, 2019):

$$\lambda = \begin{cases} \sup_{l_2} \in L_2 \left(\frac{z_{l_2}}{E(l_2)} \right)^{z_{l_2}} \left(\frac{Z - z_{l_2}}{Z - E(l_2)} \right)^{Z - z_{l_2}}, & \text{se} \\ \frac{z_{l_2}}{E(l_2)} > \frac{Z - z_{l_2}}{Z - E(l_2)} \\ 1, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (5)$$

onde: Z é o número total de casos registrados em $G \times PT$, Z_{l_2} significa o número total de casos na zona cilíndrica l_2 e $E(l_2)$ retrata o número esperado de casos esperados na mesma zona cilíndrica, que são dados por:

$$z_{l_2} = \sum_{(i,t) \in l_2} z_{it} e E(l_2) = \sum_{(i,t) \in l_2} e_{it} \quad (6)$$

PONTES, C. F.

onde: z_{it} e e_{it} são o valor total de casos e o valor esperado de casos, na devida ordem, e ambos definidos para o geo-objeto i em um tempo específico t . Sendo assim, o número esperado de casos e_{it} é apresentado por:

$$e_{it} = \frac{\sum_{i=1}^c z_{it} \sum_{t=1}^{N_t} z_{it}}{M} \quad (7)$$

3. Resultados

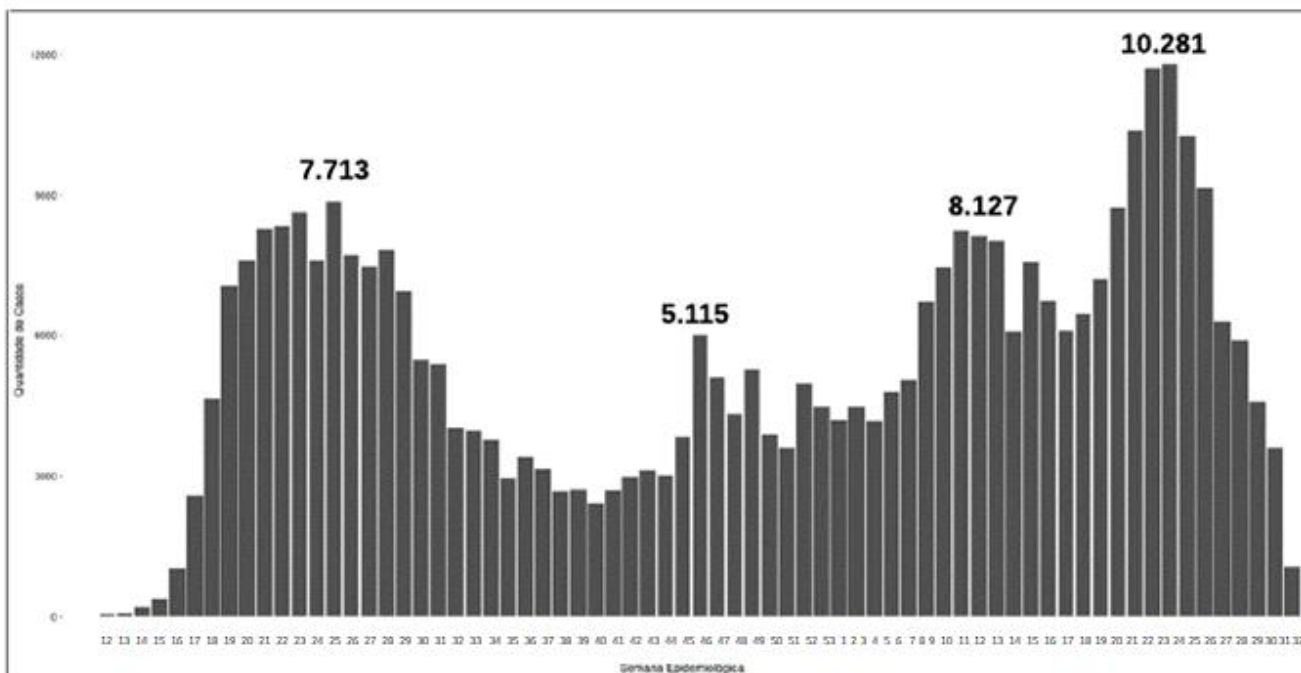
Acerca dos casos novos, foi observado, durante o período de estudo que houve quatro picos significativos: o primeiro, ocorrendo na 28ª semana epidemiológica de 2020 (05/07/20 a 11/07/2020), com 7.713 casos, o segundo pico, ocorrendo na 49ª semana epidemiológica de 2020 (29/11/2020 a 05/12/2020), com 5.115 casos, o terceiro pico, ocorrendo na 11ª semana epidemiológica de 2021 (14/03/2021 a 20/03/2021), com 8.127 casos e o quarto pico, ocorrendo na 22ª semana epidemiológica de 2021 (06/06/2021 a 12/06/2021), com 10.281 casos (Figura 2a).

Na figura 2b, verifica-se a distribuição dos casos acumulados da COVID-19 no estado da Paraíba, onde é observada uma variação de 12 a 374.789 casos registrados, correspondentes da 12ª semana epidemiológica de 2020 (15/03/2020 a 21/03/2020) a 32ª semana epidemiológica de 2021 (25/07/2021 a 01/08/2021). O gráfico mostrou uma característica crescente em todas as semanas com casos acumulados registrados, apresentando um menor registro nas semanas iniciais e um aumento considerável nas semanas subsequentes.

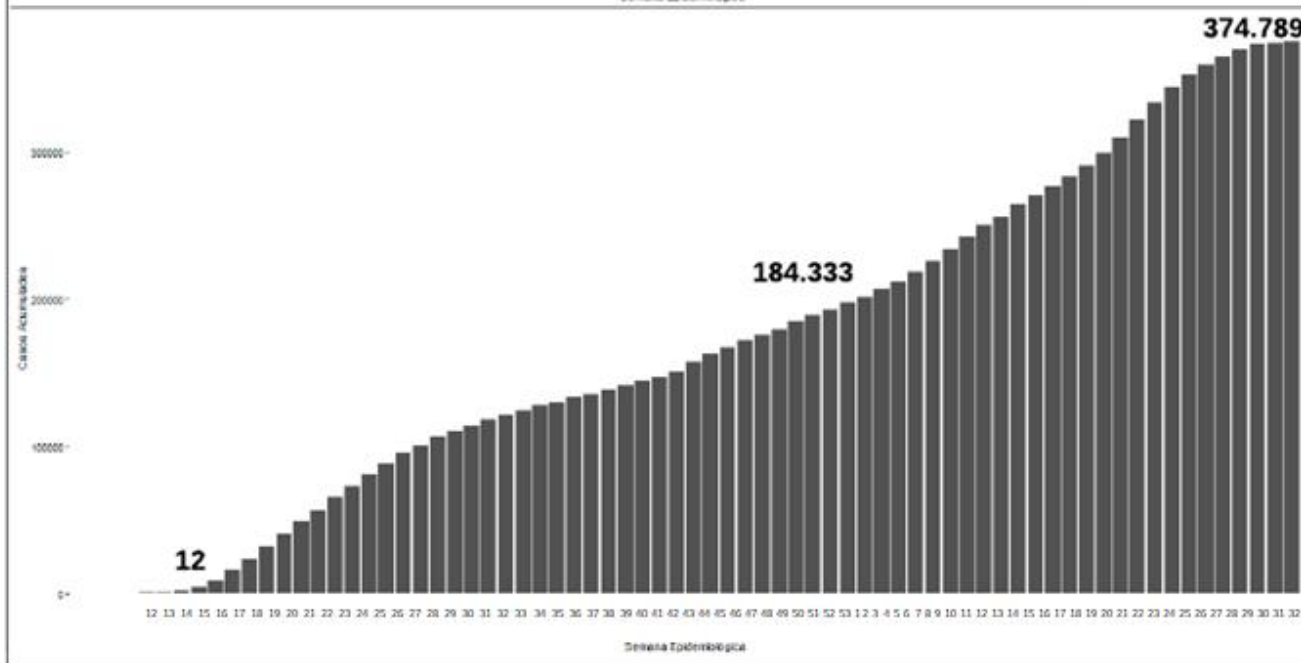
PONTES, C. F.

Figura 2 - Número de registro de casos novos (a) e casos acumulados (b) de COVID-19 da 12ª semana epidemiológica de 2020 (15/03/2020 a 21/03/2020) a 32ª semana epidemiológica de 2021 (25/07/2021 a 01/08/2021) no estado da Paraíba.

a)



b)



Fonte: Elaboração pela própria autora (2022).

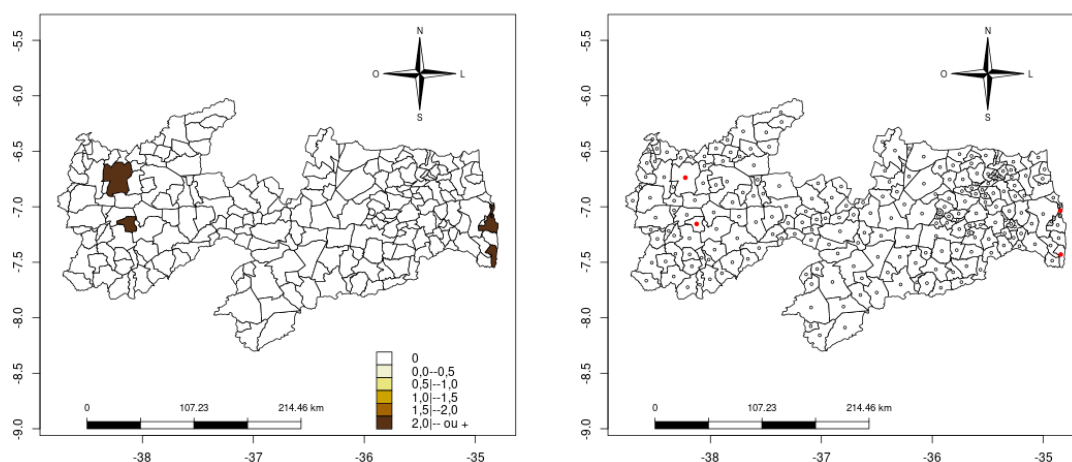
Em relação à análise espacial, foram elaborados os mapas da RIE e da estatística *Scan* circular para os casos novos de COVID-19 no período da 12ª

PONTES, C. F.

semana epidemiológica de 2020 a 32ª semana epidemiológica de 2021, possibilitando, dessa forma, a visualização do período inicial da doença e sua difusão por todo o estado.

O primeiro momento foi caracterizado pelo início da pandemia no estado da Paraíba, representado pelos mapas da RIE e *Scan* da 12ª semana epidemiológica de 2020 (15/03/2020 a 21/03/2020). A COVID-19 esteve presente em quatro municípios: João Pessoa, Pitimbu, Igaracy e Sousa, todos com RIE de 2,0 ou mais vezes o valor desta medida no estado. A RIE variou entre 0 e 54,73, sendo Igaracy, localizado ao oeste do estado, o município com maior valor registrado (Figura 3).

Figura 3 – Mapas da RIE e *Scan* espacial dos casos de COVID-19 na 12ª semana epidemiológica de 2020, no estado da Paraíba.

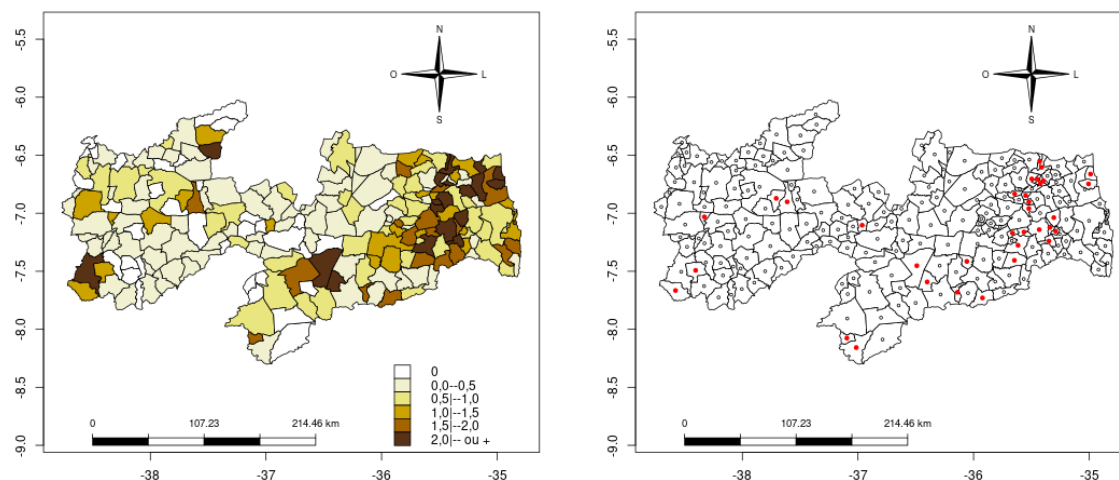


Fonte: Elaboração pela própria autora (2022).

O segundo momento foi compreendido pelo primeiro pico da pandemia da COVID-19, na 28ª semana epidemiológica de 2020 (05/07/20 a 11/07/2020), marcado pela presença de aglomerados espaciais em todas as regiões do estado, com destaque na região Nordeste. Dessa forma, 22 municípios apresentaram uma RIE maior ou igual a 2,0 vezes a incidência do estado da Paraíba, variando de 0 a 4,86, onde o município de Baía da Traição obteve o maior registro (Figura 4).

PONTES, C. F.

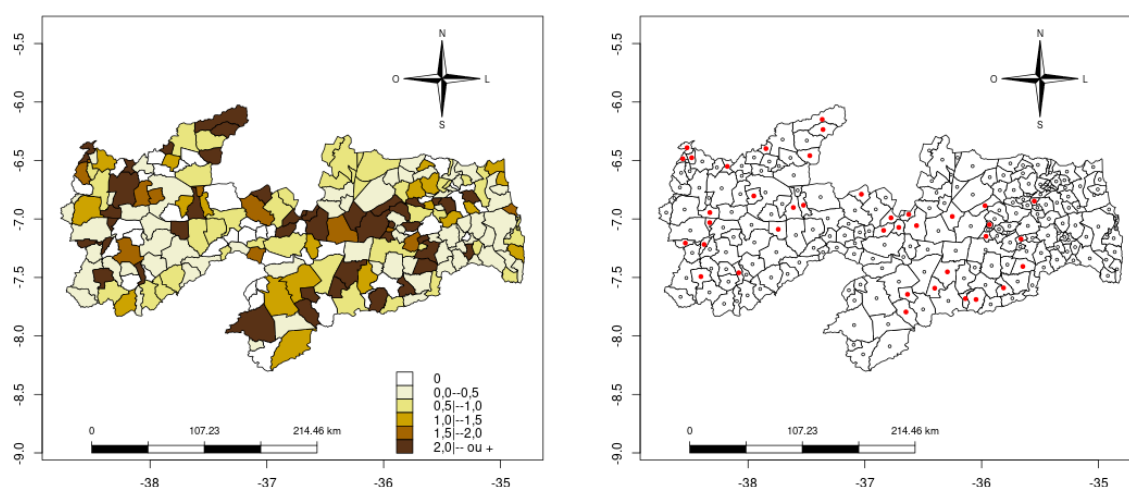
Figura 4 - Mapas da RIE e *Scan* espacial dos casos de COVID-19 na 28ª semana epidemiológica de 2020, no estado da Paraíba.



Fonte: Elaboração pela própria autora (2022).

O terceiro momento foi determinado pela 35ª semana epidemiológica de 2020 (23/08/2020 a 29/08/2020), apresentando uma disseminação dos casos para o interior do estado da Paraíba. Nessa semana, 44 municípios apresentaram RIE maior ou igual a 2 vezes o valor da incidência do estado da Paraíba, variando de 0 a 11,82, sendo Junco do Seridó, município localizado ao Norte do estado com o maior registro. Na estatística *Scan* foram encontrados aglomerados principalmente na região Norte e Oeste do estado e registro de aglomerados isolados na região Sul (Figura 5).

Figura 5 - Mapas da RIE e *Scan* espacial dos casos de COVID-19 na 35ª semana epidemiológica de 2020, no estado da Paraíba.

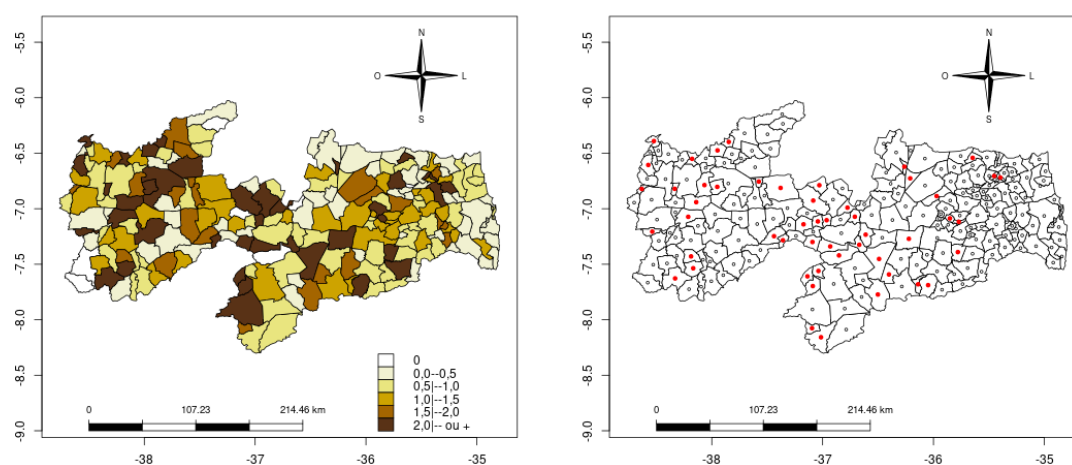


Fonte: Elaboração pela própria autora (2022).

PONTES, C. F.

O quarto momento foi caracterizado na 22^a semana epidemiológica de 2021 (06/06/2021 a 12/06/2021), com 40 municípios apresentando a RIE maior ou igual a 2 vezes o valor do estado. Foi obtida a variação de 0 a 8,63, sendo o município de Prata, localizada na região Sul, com o maior registro. Na estatística *Scan* foram identificados aglomerados em todas as regiões do estado da Paraíba, representando o pico máximo de casos novos durante toda a pandemia e disseminação da doença por todo o estado (Figura 6).

Figura 6 - Mapas da RIE e *Scan* espacial dos casos de COVID-19 na 22^a semana epidemiológica de 2021, no estado da Paraíba.



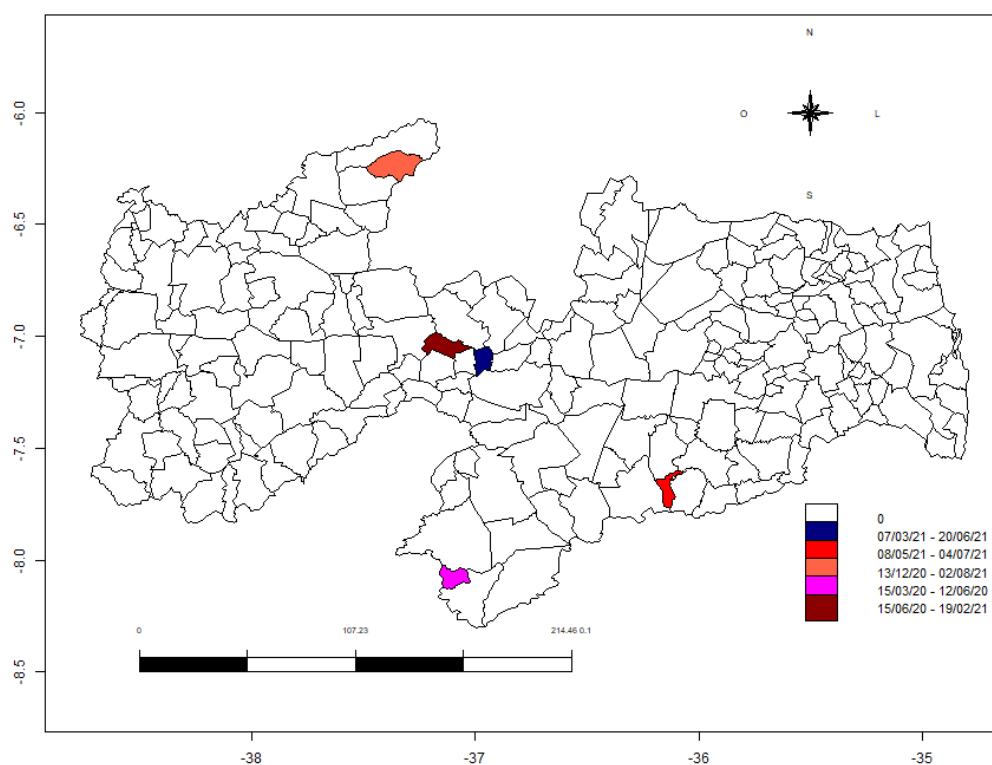
Fonte: Elaboração pela própria autora (2022).

A análise espaço-temporal dos casos da COVID-19 da 12^a semana epidemiológica de 2020 até a 32^a semana epidemiológica de 2021 possibilitou visualizar a difusão espacial pelos municípios no período determinado, facilitando a compreensão dos fatores influenciadores na expansão do vírus e na necessidade de contenção da doença, a partir de medidas protocolares de saúde no estado da Paraíba. Feita uma análise retrospectiva, usando o modelo de *Poisson*, foi possível identificar aglomerados que aconteceram anteriormente no espaço e no tempo, fornecendo um mapa como resultado. Os resultados do *Scan* espaço-temporal foram avaliados com base nos mapas da RIE e da *Scan* espacial. É importante destacar que, *a priori*, foi feita uma procura dentro dos resultados com os percentuais aplicados e, em seguida, foi realizada uma procura mais aprofundada para o resultado final.

PONTES, C. F.

Na figura 7, é possível visualizar o mapa gerado pela estatística *Scan* espaço-temporal para os casos novos de COVID-19 no estado da Paraíba. Observa-se, através da análise do mapa, que foram identificados 5 aglomerados, os quais estão localizados na região Norte do estado, constituído por São José do Brejo do Cruz, na região Central do estado, por Quixabá e Areia de Baraúnas e na região na região Sul do estado por Riacho de Santo Antônio e Zebelê. A persistência máxima dos aglomerados significativos do início ao final do período de estudo foi de 29 semanas e o mínimo foi de 9 semanas (Figura 7).

Figura 7 - Mapa *Scan* espaço-temporal dos casos novos da COVID-19 no estado da Paraíba, da 12^a semana epidemiológica a 32^a semana epidemiológica de 2021.



Fonte: Elaboração pela própria autora (2022).

4. Discussão

O vírus da COVID-19 é disseminado de forma fácil e rápida por secreções contaminadas, manifestando-se como uma síndrome respiratória aguda, que na maioria dos casos é leve ou assintomática, todavia, pode ocorrer em sua forma mais grave, ocasionando insuficiência respiratória e complicações associadas,

Revista Espaço & Geografia, v. 26,2023.

<https://periodicos.unb.br/index.php/espacoegografia/index>

PONTES, C. F.

que podem ser letais (BRASIL, 2020). A letalidade dessa doença está relacionada a vários fatores determinantes de saúde, evidenciando a presença de comorbidades pré-estabelecidas, a exemplo das doenças crônicas, idade avançada superior a 60 anos e populações em situação de vulnerabilidade social que não possuem fácil acesso aos serviços de saúde (OUSLANDER, 2020).

Sobre os casos novos de COVID-19 no estado da Paraíba, observou-se que o máximo de casos novos registrados aconteceu na semana 22^a semana epidemiológica de 2021 (06/06/2021 a 12/06/2021), com 10.281 casos (Figura 2a). Vale salientar que as notificações de casos de COVID-19 caíram consideravelmente em fins de semana e feriados, o que resulta em um aumento da concentração de notificações durante a semana. Segundo os dados do Ministério da Saúde (2020), os domingos e as segundas-feiras são os dias que possuem o menor registro de notificação, isso devido ao regime de plantão nos centros de saúde e em laboratórios, o que retarda o envio das informações.

Na figura 2b, observamos os registros dos casos acumulados da COVID-19 no estado da Paraíba, onde foi percebida uma variação de 12 a 374.789 casos registrados, correspondentes da 12^a semana epidemiológica de 2020 (15/03/2020 a 21/03/2020) à 32^a semana epidemiológica de 2021 (25/07/2021 a 01/08/2021). Notou-se que os casos foram aumentando substancialmente e progressivamente após feriados, período de eleições e festas de fim de ano, isso porque há um maior número de pessoas reunidas, apesar das recomendações de distanciamento social, aumentando a disseminação do vírus. Esse aumento na notificação ocorre de 5 a 15 dias após essas datas, visto o período de incubação do vírus.

O presente estudo identificou que, nas primeiras semanas epidemiológicas, a COVID-19 estava mais concentrada na região metropolitana de João Pessoa, onde retêm os serviços de saúde mais especializados, uma melhor infraestrutura, maiores propostas de emprego e uma maior concentração populacional, o que propicia um maior alastramento do vírus. Porém, com o passar das semanas epidemiológicas, a doença começou a se disseminar para o interior e em áreas mais remotas do estado, áreas essas, vistas por possuírem baixa densidade demográfica e prejudicado acesso aos serviços mais

PONTES, C. F.

especializados (FLOSS *et al.*, 2020). Destarte, estes aspectos podem estar associados com a redução da velocidade de contágio da doença, contudo, estes locais possuem uma maior situação de vulnerabilidade e pobreza, além de uma dificuldade na implantação e implementação de políticas públicas, atenuando o problema nessas áreas (KARIM; CHEN, 2021).

A velocidade e o potencial de disseminação da COVID-19 estabelecem uma sequência de desafios semanais ou até mesmo diários à saúde pública, obstando a tomada de decisão por parte dos gestores em seus distintos âmbitos de governo. Devido a isso, é imprescindível conhecer como funciona a distribuição da doença em uma região, bem como compreender a sua difusão e de como está acontecendo o processo de interiorização da região metropolitana para áreas com menor desenvolvimento (PEDROSA; ALBUQUERQUE, 2020). Neste aspecto, entender as conexões sociais, econômicas, comerciais e o deslocamento de viagens é primordial para entender a expansão territorial da COVID-19.

Em relação à análise *Scan* espaço-temporal foram identificados cinco aglomerados, os quais se concentraram nas regiões norte e sul do estado, que persistiram por todo o período de estudo. Os municípios que apresentaram essa persistência são de pequeno porte e estão mais distantes da capital do estado, afetando negativamente o acesso aos principais centros de saúde. A análise espaço-temporal, no campo da saúde, foi aplicada para detectar aglomerados de tuberculose (ARROYO *et al.*, 2017), doença mão-pé-boca (DENG *et al.*, 2013), câncer de mama (ROCHE *et al.*, 2017) e anomalias congênitas (LIMA *et al.*, 2019). Estes métodos podem ser empregados para diferentes tipos de agravos, demonstrando a validação dos mesmos. As pesquisas constataram análise de aglomerados utilizando à estatística *Scan* circular ou espaço temporal, porém não associaram os métodos ao mesmo tempo, com exceção do estudo das anomalias congênitas e do presente estudo, o que evidencia a importância destes.

Com o cenário pandêmico da COVID-19, percebeu-se a importância de identificar aglomerados espaciais como estratégias para gestores de saúde realizarem as intervenções adequadas à gravidade de cada região. No estudo de

PONTES, C. F.

Groisman *et al.* (2017) é ressaltada a relevância de conhecer aglomerados, isto porque os mapas utilizados em conjunto com testes estatísticos são fundamentais para os pesquisadores da saúde, por centralizarem precauções em regiões para investigação complementar. Dessa forma, os mapas exibem padrões da doença, que possibilitam hipóteses acerca de fatores ecossistêmicos, genéticos e características etiológicas de agravos.

Os achados do presente estudo colaboram na área da saúde pública por permitir reconhecer os padrões de distribuição espacial e de incidência da RIE da COVID-19 no estado da Paraíba, além da análise indicar as possíveis áreas que devem ser priorizadas nos monitoramentos. Essas informações podem colaborar com a ampliação e supervisão dos serviços de saúde para a população e apoiar os gestores na elaboração e desenvolvimento de políticas públicas na saúde.

5. Conclusões ou Considerações Finais

O presente estudo possibilitou identificar aglomerados espaciais dos casos novos de COVID-19 no estado da Paraíba, no período da 12^a semana epidemiológica de 2020 (15/03/2020 a 21/03/2020) à 32^a semana epidemiológica de 2021 (25/07/2021 a 01/08/2021).

A detecção desses aglomerados através da análise espacial, associada a outros parâmetros, auxiliam no reconhecimento e visualização de áreas prioritárias para o monitoramento dos casos de COVID-19. Desse modo, deve-se ressaltar a importância da tomada de decisão baseada em evidências científicas, o que implica diretamente na melhoria e otimização dos serviços, evitando sobrecargas e aumento das demandas da atenção secundária e terciária de saúde.

Nesse sentido, ao utilizar-se desse cabedal de conhecimentos para o estudo e análise da COVID-19, compreendendo a velocidade e potencial de sua disseminação e os vários desafios semanais e até mesmo diários à saúde pública, é possível observar tanto o aumento da incidência dos casos em determinadas áreas, como a possibilidade concreta de uma intervenção baseada nos recursos disponíveis e divulgados pelas secretarias municipais e estadual de saúde.

PONTES, C. F.

Assim, deve-se ressaltar a importância da tomada de decisão baseada em evidências científicas, o que implica diretamente na melhoria e otimização dos serviços, evitando sobrecargas e aumento das demandas da atenção secundária e terciária de saúde.

6. Referências Bibliográficas

ARROYO LH, *et al.* Identificação de áreas de risco para a transmissão da tuberculose no município de São Carlos, São Paulo, 2008 a 2013. **Epidemiologia Sér. Saúde.** 2017;26 (3):525-34. DOI: <http://dx.doi.org/10.5123/s1679-49742017000300010>.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Análise em Saúde e Doenças não Transmissíveis. **Guia de vigilância epidemiológica Emergência de saúde pública de Importância nacional pela Doença pelo coronavírus 2019.** Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. - Brasília: Ministério da Saúde, 2021. Disponível em: https://www.conasems.org.br/wp-content/uploads/2021/03/Guia-de-vigila%CC%82ncia-epidemiolo%CC%81gica-da-covid_19_15.03_2021.pdf.

_____. Ministério da Saúde. **Diretrizes para diagnóstico e tratamento da COVID-19.** Brasília, DF, 2020. Disponível em: <https://portalarquivos.saude.gov.br/images/pdf/2020/May/08/Diretriz-Covid19-v4-07-05.20h05m.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2021.

DENG T, *et al.* Spatial-temporal clusters and risk factors of hand, foot, and mouth disease at the district level in Guangdong Province, China. **PloS one.** 2013, v.8, n. 2. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0056943>.

FLOSS, M *et al.* A pandemia de COVID-19 em territórios rurais e remotos: perspectiva de médicas e médicos de família e comunidade sobre a atenção

PONTES, C. F.

primária à saúde. **Cadernos de Saúde Pública** [online]. 2020, v. 36, n. 7 [Acessado 20 Janeiro 2022]. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csp/a/3G5DSvMQ9p7xnypGxPkhTNQ/?lang=pt>. Epub 24 Jul 2020. ISSN 1678-4464.

GOODCHILD, M. Geographical Data Modeling. **Computers & Geosciences**, v.8, n. 4, p. 401-408, 1992. [https://doi.org/10.1016/0098-3004\(92\)90069-4](https://doi.org/10.1016/0098-3004(92)90069-4).

HOLMES, D. C. S. C.; MORAES, R. M.; VIANNA, R. P. T. A Rule for Combination of Spatial Clustering Methods. In: The Seventh International Conferences on Pervasive Patterns and Applications, 2015, Nice, França. **Anais**. Proceedings of the Seventh International Conferences on Pervasive Patterns and Applications. 2015, p. 55-59.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA - IBGE (2010) **População residente, total, urbana total e urbana na sede municipal, em números absolutos e relativos, com indicação da área total e densidade demográfica, segundo as Unidades da Federação e os municípios - 2010**. Brasília: IBGE.

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

KULLDORFF, M. (1997). A spatial scan statistic. **Communications in Statistics: Theory and Methods**, v. 26, n. 6, pág:1481-1496.

LI, R., *et al.* Substantial undocumented infection facilitates the rapid dissemination of novel coronavirus (SARS-CoV-2). **Science**, 2020. Pág: 489-493. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32179701/>

PONTES, C. F.

LIMA, LMM, *et al.* A new combination rule for Spatial Decision Support Systems for epidemiology. **Int J Health Geogr.** 2019. Disponível em: <https://ijhealthgeographics.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12>.

MORAES, R. M.; NOGUEIRA, J. A.; SOUSA, A. C. A. (2014) A New Architecture for a Spatio-Temporal Decision Support System for Epidemiological Purposes. In: 11th International FLINS Conference on Decision Making and Soft Computing. **Anais.** João Pessoa (Brasil): FLINS 2014, p. 17-23.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE. WHO **Coronavirus Disease** (COVID19) Dashboard. Publicado em 2021. Acesso em 04 maio 2021. Disponível em: <https://covid19.who.int/>

OUSLANDER, JG. Coronavirus Disease19 in Geriatrics and Long-Term Care: An Update. **J Am Geriatr Soc.** 2020. V. 68, n. 5, pág:918-921. DOI: 10.1111/jgs.16464.

PARAÍBA (Estado). **Secretaria de Saúde do Estado da Paraíba.** Paraíba, PB, 2020c. Disponível em: <https://paraiba.pb.gov.br/diretas/saude>. Acesso em: 25 dez 2021.

PEDROSA, N. L.; ALBUQUERQUE, N. L. S. Análise Espacial dos Casos de COVID-19 e leitos de terapia intensiva no estado do Ceará, Brasil. **Ciênc. saúde coletiva**, Rio de Janeiro, v. 25, p. 2461-8, 2020. Suppl. 1. <https://doi.org/10.1590/1413-81232020256.1.10952020>.

ROCHE LM, *et al.* Disparities in Female Breast Cancer Stage at Diagnosis in New Jersey: A Spatial-Temporal Analysis. **J Public Health Manag Pract.** 2017. V. 23, n. 5, pág: 477-86. DOI: <https://doi.org/10.1097/PHH.0000000000000524>.

SÁ, L.R, *et al.* "New Combining Rules for Spatial Clustering Methods Using Sigma-Count for Spatial Epidemiology," 2020 **International Conference on**

PONTES, C. F.

Decision Aid Sciences and Application (DASA), 2020, pp. 794-800, DOI: 10.1109/DASA51403.2020.9317161.

SÁ, L. R.; NOGUEIRA, J. A.; MORAES, RONEI M. (2015) Modelo de decisão sobre o perfil demográfico para o controle da tuberculose usando lógica fuzzy. *Revista Eletrônica de Enfermagem*, v. 17, n. 2, p. 223-237. ISSN: 1518-1944. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/fen/article/view/27643/19527> . DOI: 10.5216/ree.v17i2.27643.

SOUZA ALP. Geoprocessamento e Vigilância Epidemiológica no enfrentamento da Covid-19 na Macrorregião Triângulo Sul, MG. **Ra. e Rum.** 4º de dezembro de 2020. V. 8, n. 1, pág: 189-201. Disponível em: <http://www.seer.unirio.br/raizeserumos/article/view/10389>.

TANGO, T. *Statistical Methods for Disease Clustering*. **Springer**, 2010.

TRAN, B. X *et al.* Impact of COVID-19 on Economic Well-Being and Quality of Life of the Vietnamese During the National Social Distancing. **Frontiers in Psychology** , [s. l.], v. 11, 2020. DOI 10.3389/fpsyg.2020.565153. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpsyg.2020.565153>. Acesso em: 18 mar. 2021.

YAMADA, I.; THILL, J-C. (2007) Local Indicators of Network-Constrained Clusters in Spatial Point Patterns. **Geographical Analysis**, v. 39, n.3, p. 268-292.

ZHAO, W, YU, S, ZHA, X, *et al.* Clinical characteristics and durations of hospitalized patients with COVID-19 in Beijing: a retrospective cohort study. **MedRxiv**. 2020. Disponível em: <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.03.13.20035436v2>.