



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS**  
**DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA**  
**CURSO DE GEOGRAFIA**

**LIZA SANTOS OLIVEIRA**

**ANÁLISE DA AUTOCORRELAÇÃO ESPACIAL DOS CASOS E ÓBITOS**  
**CONFIRMADOS DE COVID-19 EM FORTALEZA, CEARÁ**

**FORTALEZA**

**2021**

LIZA SANTOS OLIVEIRA

ANÁLISE DA AUTOCORRELAÇÃO ESPACIAL DOS CASOS E ÓBITOS  
CONFIRMADOS DE COVID-19 EM FORTALEZA, CEARÁ

Artigo apresentado ao Curso de Geografia do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Jader de Oliveira Santos

FORTALEZA

2021

LIZA SANTOS OLIVEIRA

ANÁLISE DA AUTOCORRELAÇÃO ESPACIAL DOS CASOS E ÓBITOS  
CONFIRMADOS DE COVID-19 EM FORTALEZA, CEARÁ

Artigo apresentado ao Curso de Geografia do  
Departamento de Geografia da Universidade Federal  
do Ceará, como requisito parcial para obtenção do  
título de Bacharel em Geografia.

Aprovado em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Jader de Oliveira Santos (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Edenilo Baltazar Barreira Filho  
Faculdade de Ensino e Cultura do Ceará (FAECE)

---

Bacharel José Matheus da Rocha Marques  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

## RESUMO

A contaminação pela COVID-19 atinge diversas escalas da sociedade e, em especial no meio urbano e globalizado, encontra vários vetores de transmissão, como a grande quantidade populacional e os deslocamentos entre bairros da cidade e demais espaços. No município de Fortaleza, no período de janeiro de 2020 a abril de 2021 registrou-se um total de 138.794 casos e 7.080 óbitos confirmados. Assim, a pesquisa se propôs a analisar a correlação espacial dos casos e óbitos confirmados de COVID-19 na cidade de Fortaleza, capital do Estado do Ceará, investigando o padrão de distribuição e a autocorrelação espacial do número de infecções e óbitos pela doença. Na pesquisa, utilizaram-se dados populacionais do município, obtidos através do boletim epidemiológico de 2021 da Prefeitura de Fortaleza e da Secretaria Municipal de Saúde (SMS). Os dados referentes aos casos e óbitos confirmados de COVID-19 foram obtidos através da Plataforma de Transparência da Saúde do Ceará (Integra SUS), no período de janeiro de 2020 e abril de 2021. Para realização do estudo, utilizaram-se técnicas de estatística descritiva e espacial de dados, como o Índice de Moran Global e os Indicadores Locais de Associação Espacial (LISA). De acordo com os resultados, os territórios centrais da cidade concentram os bairros de autocorrelação espacial com padrão Alto-Alto e Baixo-Alto, sendo o primeiro o mais expressivo; já na zona leste da cidade, observa-se um padrão Baixo-Baixo e Alto-Baixo. Assim, a análise da autocorreção espacial e espacialização da doença é de fundamental importância para o entendimento de como a COVID-19 se configura no território.

**Palavras chaves:** COVID-19, áreas de contaminação, autocorrelação espacial, Fortaleza.

## ABSTRACT

Contamination by COVID-19 affects different scales of society and, especially in urban and globalized environments, it encounters various transmission vectors, such as the large population and displacements between city neighborhoods and other spaces. In the city of Fortaleza, from January 2020 to April 2021, a total of 138,794 cases and 7,080 confirmed deaths were registered. Therefore, the research proposed to analyze the spatial correlation of confirmed cases and deaths from COVID-19 in the city of Fortaleza - Ceará, investigating the distribution pattern and the spatial autocorrelation of the number of infections and deaths caused by the disease. In the research, population data from the municipality were used, obtained through the 2021 epidemiological bulletin of the City of Fortaleza and the Municipal Health Department (SMS). Data referring to confirmed cases and deaths of COVID-19 were obtained through the Health Transparency Platform of Ceará, Integra SUS, in the period between January 2020 and April 2021. To carry out the study, descriptive statistical techniques were used and spatial analysis of data such as the Global Moran Index and Local Indicators of Spatial Association (LISA). According to the results, the central territories of the city concentrate the neighborhoods with spatial autocorrelation with High-High and Low-High patterns, with the first being the most expressive; in the east side of the city, there is a Low-Low and High-Low pattern. Thus, the analysis of spatial self-correction and spatialization of the disease is of fundamental importance for understanding how COVID-19 is configured in the territory.

**Keywords:** COVID-19, contamination areas, spatial autocorrelation, Fortaleza.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>ANÁLISE EXPLORATÓRIA DE DADOS ESPACIAIS APLICADA À ESPACIALIZAÇÃO DA COVID-19 EM FORTALEZA</b> .....	<b>9</b>
<b>2.1</b>	<b>Autocorrelação espacial</b> .....	<b>10</b>
<b>2.2.1</b>	<b>Matriz de vizinhança ou proximidade espacial</b> .....	<b>11</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Índice de Moran (I)</b> .....	<b>12</b>
<b>2.2.3</b>	<b>Diagrama de espalhamento ou dispersão de Moran</b> .....	<b>13</b>
<b>2.2.4</b>	<b>Teste de Pseudo Significância</b> .....	<b>14</b>
<b>2.2.5</b>	<b>Índice Local de Associação Espacial (LISA)</b> .....	<b>15</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>16</b>
<b>3.1</b>	<b>Suavização de variáveis através da Taxa Espacial (Spatial Rate)</b> .....	<b>19</b>
<b>3.2</b>	<b>Cálculo do Índice de Moran Univariado e Bivariado</b> .....	<b>19</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>20</b>
<b>4.1</b>	<b>Índice Local de Moran Univariado</b> .....	<b>22</b>
<b>4.2</b>	<b>Índice Local de Moran Bivariado</b> .....	<b>25</b>
<b>4.3</b>	<b>Relações espaciais da COVID-19 em Fortaleza</b> .....	<b>27</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>28</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>30</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A partir do século XX começou um intenso processo de urbanização e crescimento demográfico que gerou uma série de modificações nas relações entre os meios natural e social. Nos países em desenvolvimento, como o Brasil, junto a essas transformações não houve um bom planejamento ou estruturação efetiva da cidade, gerando impactos socioambientais e efeitos adversos provenientes do precário processo de urbanização (MARICATO, 2011; SANTOS, 2016; SANTOS, 2008; SANTOS E SOUZA, 2014; SOUZA, 2006).

Os problemas observados no meio urbano, especialmente nas grandes cidades, estão associados, em sua maioria, às variáveis ambientais/naturais e sociais, bem como suas relações no espaço. Esse contexto tem forte influência e expressa as condições de vulnerabilidades social e fragilidades ambiental na qual a sociedade se encontra (SANTOS, 2016). Assim, os problemas observados nas metrópoles podem desencadear situações de crise ambiental e social, especialmente nos espaços urbanos onde se associam uma grande concentração de pessoas com precariedade de infraestruturas e elevada vulnerabilidade social. Nesses contextos são produzidas as condições necessárias para deflagração de condições de desastres, como as derivadas da pandemia de COVID-19.

Em dezembro de 2019, a Organização Mundial da Saúde (OMS) foi noticiada sobre o surgimento do que seria uma grave pneumonia na cidade de Wuhan, na China, que até então tinha sua etiologia desconhecida (ESTEVÃO, 2020). Esse foi o diagnóstico dos primeiros casos do novo coronavírus (SARS-CoV-2), o qual teve uma rápida disseminação. Em janeiro de 2020, o Comitê de Emergência da OMS declarou situação de urgência na saúde pública a nível internacional, anunciando, em março do mesmo ano, a pandemia mundial da COVID-19 (VELAVAN & MEYER, 2020; AQUINO, 2020).

Na América Latina, em fevereiro de 2020, o Ministério da Saúde do Brasil confirmou o primeiro caso de COVID-19 (RODRIGUES-MORALES et. al., 2020), tendo a cidade de Fortaleza registrado o primeiro caso em janeiro de 2020. Entretanto, a confirmação oficial somente ocorreu em março do mesmo ano. Decorrido três meses da constatação do primeiro caso, em abril, foram registrados 15.930 casos confirmados pela doença e 626 óbitos. A partir desse quadro, é possível perceber a rapidez com que o vírus foi sendo dispersando pelos bairros de Fortaleza, evidenciando o forte espalhamento da doença no Estado do Ceará (DE PAULA, 2020), principalmente por causa da sua centralidade em relação aos deslocamentos aéreos do país.

Percebe-se, assim, que os meios de transportes assumem um papel de peso na transmissão comunitária do vírus, onde a circulação de pessoas, bens e mercadorias tem função central na cidade contemporânea (SANTOS, 2008a) integrando diferentes escalas espaciais e grupos sociais. Mendez (2020), indica que a hipermobilidade conecta diferentes lugares e gera interações no espaço em diversas escalas (federal, estadual, municipal), atuando como um fator de continuidade do vírus no território (GUIMARÃES et al. 2020).

Assim, parte-se do pressuposto que a intensidade e velocidade da circulação de pessoas, bens e serviços são fatores relevantes para a disseminação da COVID-19, formando uma grande rede de contaminação a partir dos meios de transporte (GUIMARÃES et al. 2020 e PEREIRA JÚNIOR et. al. 2020). Isto posto, tem-se a hipermobilidade como uma das variáveis que suscita a rápida proliferação do vírus. Nesse contexto, a Epidemiologia Geográfica apresenta-se como o estudo que trata das relações entre as variáveis sociais e/ou ambientais e as formas com que as doenças estão distribuídas no espaço de análise (SANTOS & BARCELOS, 2007).

Essa vertente de pesquisa, com base em estudos ecológicos, funciona como um método para trabalhar dados de determinados grupos sociais em relação à ocorrência do evento no espaço ou no tempo (BARCELLOS et. al., 2003). Schwartz (1994) e Susser (1994), ressaltam a importância dos estudos ecológicos para entender o contexto de doenças de fácil e rápida transmissão, chamadas de infectocontagiosas. No contexto em que esses eventos apresentam relações locais, sua espacialização se torna imprescindível para o desenvolvimento de estudos e demais análises.

Para realizar tais análises, no Brasil, os dados referentes ao âmbito da saúde estão armazenados em um grande banco de dados de abrangência nacional, de acordo com os métodos do Sistema Único de Saúde (SUS), e são disponibilizados aos setores do Governo para posterior inserção de localização geográfica, como bairros e logradouros (BARCELLOS E RAMALHO, 2002). A utilização desses dados através dos Sistemas de Informação Geográficas (SIG) é muito importante para a visualização, localização e entendimento das condições de saúde de um determinado espaço e possíveis riscos relacionados a ela (ARJONA et. al., 2017).

Dessa forma, os mapas atuam na representação desses eventos de saúde a partir de uma base territorial, a qual pode ter diferentes escalas de análise. A utilização dos SIG resulta em produtos rápidos e precisos, além de subsidiar estudos de eventos específicos, através da associação de dados de diversas fontes e áreas do conhecimento, por isso, tem sido cada vez mais utilizado em tomadas de decisões (LEITE, 2010). A associação desses conhecimentos para



rápidas respostas se faz premente em áreas com grande concentração de pessoas e desigualdades sociais, como ocorrem nas áreas urbanas dos países em desenvolvimento.

No Brasil, o processo de concentração urbana se deu de maneira desordenada, principalmente nos grandes centros urbanos. Todo esse crescimento e transformação do espaço impactou nas relações sociais existentes no território, no modo de vida das pessoas e nas relações da sociedade com a natureza, trazendo, em muitos casos, problemas socioambientais emergentes (BRITO E SOUZA, 2005; MARICATO (2011); LIMA E SILVA, 2000; COELHO, 2001; SANTOS, 2008). A cidade de Fortaleza, por sua vez, se configura como um importante centro urbano e apresenta uma alta densidade demográfica, onde seu processo de urbanização é marcado por vários conflitos e impactos decorrentes do precário planejamento da cidade (SANTOS, 2016), cuja manifestação mais incisiva ocorre nos assentamentos precários (LIMA, 2018; LIMA, SANTOS, ZANELLA, 2018).

A presente investigação tem como objetivo geral analisar a correlação espacial dos casos confirmados e óbitos registrados de COVID-19 em Fortaleza, buscando compreender o padrão espacial da distribuição e autocorrelação espacial do número de infecções e óbitos no município. Nesse contexto, considera-se que campo de estudo da análise espacial pode elucidar questões como: a disseminação da doença no espaço assume um padrão? Existe algum fator espacial externo que pode contribuir para essa distribuição? Assim, de modo a atingir o objetivo delineado, foram utilizadas técnicas de análise exploratória de dados e de estatística descritiva e espacial, como o Índice de Moran Global e os Indicadores Locais de Associação Espacial (LISA).

Compreende-se que a forma como doença se distribui no espaço, fornece subsídios para o entendimento de como ela está se disseminando no espaço intraurbano e em um processo de interiorização (PEDROSA, 2020). Tendo em vista que, a análise espacial de dados considera a dinâmica do fenômeno no meio e como ela pode estar relacionada a outros fatores sociais, econômicos e/ou políticos, sua compreensão fornece subsídios para o entendimento dos padrões de distribuição e proliferação do contágio pela COVID-19.

## **2 ANÁLISE EXPLORATÓRIA DE DADOS ESPACIAIS APLICADA À ESPACIALIZAÇÃO DA COVID-19 EM FORTALEZA**

Conforme Morettini (2009), a estatística espacial começou a ser desenvolvida a partir da necessidade de mensurar a dependência entre os dados espaciais. Assim, a estatística espacial se configura como um ramo de estudo que permite a visualização de como determinados fenômenos são localizados no espaço, identificando padrões de associação espacial entre os

dados (ANSELIN, 1992). Diferentemente da estatística convencional, a estatística espacial trabalha com as relações de vizinhança entre o valor de um atributo em determinada área e o valor desse mesmo atributo em áreas vizinhas.

A base desse método de análise é constituída pela ideia de Waldo Tobler, a qual afirma que “todas as coisas são parecidas, mas coisas mais próximas se parecem mais que coisas mais distantes” (Tobler, 1979). De acordo com Tobler há maiores chances de haver semelhança quando são comparados dois objetos próximos, pois os processos que os influenciam no espaço tendem a ser semelhantes.

A utilização dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) quando associados ao processamento e análise da estatística espacial permitem a modelagem da ocorrência dos eventos, bem como a identificação da existência de padrões no espaço (ANDRADE ET. AL., 2007). Nos estudos relacionados à saúde, a estatística ajuda na modelagem da realidade, sendo a Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE) uma técnica bastante utilizada nos projetos (CARVALHO & SANTOS, 2005; SOARES & NASCIMENTO, 2010; SILVA, et al., 2011).

Através da AEDE têm-se a indicação do grau de autocorrelação espacial, sendo possível estudar as prováveis associações entre eventos no espaço e a existência de dependência ou heterogeneidade espacial.

## 2.1 Autocorrelação espacial

O conceito de autocorrelação espacial é decorrente do termo de correlação da estatística clássica, assim como afirma Druck et al. (2004), e diz respeito ao nível de influência de uma variável em uma determinada localização e em localidades próximas. Ou seja, através desse método de estudo é possível analisar a dependência entre um dado observado na área de estudo em comparação aos demais territórios.

De acordo com Andrade et al. (2007), a autocorrelação espacial é representada por uma função, onde  $W_{ij}$  representa o fator de vizinhança;  $Y_i$  e  $Y_j$  são os valores dos indicadores nas áreas de estudo  $i$  e  $j$ ;  $\bar{Y}$  corresponde ao valor médio; e  $VAR(Y)$  é a variância das taxas. Conforme o autor, a função que representa a autocorrelação espacial é a seguinte:

Equação 1 – Autocorrelação espacial

$$1 = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}} \times \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{VAR(Y)}$$

Fonte: Andrade et. al. (2007)

A autocorrelação espacial pode ser positiva, negativa ou neutra. De acordo com Almeida (2004), o primeiro caso ocorre quando os objetos próximos são similares entre si, ou seja, quando valores altos são vizinhos de valores altos e atributos de valores baixos são vizinhos de valores baixos, indicando uma situação de dependência espacial positiva.

Quando os objetos próximos são diferentes entre si, a autocorrelação se configura como negativa. Nesse caso, valores altos são vizinhos de valores baixos ou vice-versa, apontando a dissemelhança entre os dados. O último caso (valor zero, correlação neutra) acontece quando há ausência de autocorrelação espacial, ou seja, quando os atributos independem da localização de seus vizinhos, indicando a aleatoriedade espacial.

Existem diversos indicadores para medir a autocorrelação de um atributo, os quais podem ser globais (Estatística I de Moran) ou locais (Índice de Moran Local), sendo este último, no caso de Moran, uma decomposição do primeiro (ANSELIN, 1995). Além disso, a análise de autocorrelação pode ser analisada num contexto univariado, quando um atributo é comparado com ele mesmo em áreas vizinhas; ou bivariado, quando um atributo é comparado com outro em áreas vizinhas.

### ***2.2.1 Matriz de vizinhança ou proximidade espacial***

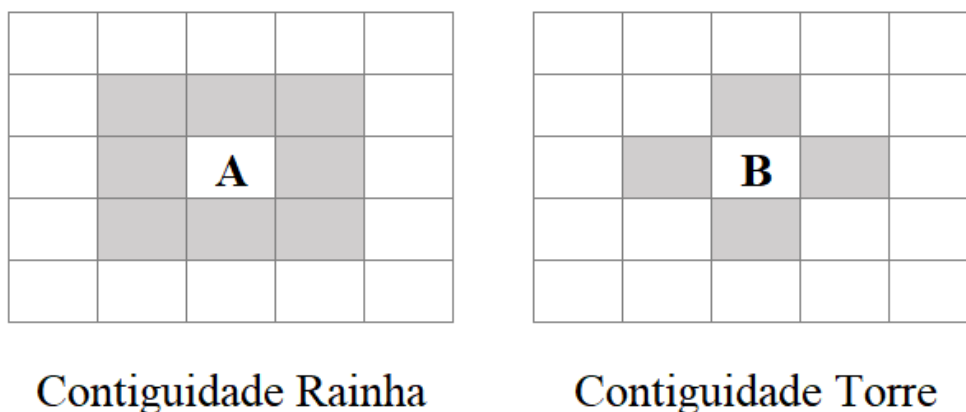
De acordo com Andrade et al. (2007), a matriz de vizinhança expressa as relações espaciais de uma área com os demais territórios, podendo ser construída a partir de critérios de vizinhança entre fronteiras ou distância entre as áreas, por exemplo. A matriz de vizinhança faz parte da fase de análise exploratória, assim como aponta Druck et al. (2004), sendo sua normalização muito importante para facilitar alguns cálculos dos índices de autocorrelação, como as medições das médias de áreas vizinhas. Assim, ao ser normalizada, a soma de cada linha da matriz é igual a 1 (BAUMONT, 2004).

Nesse contexto, para gerar as informações dos possíveis padrões espaciais, é necessário determinar uma relação de vizinhança e, a partir dessa definição, criar uma matriz de pesos ( $W$ ). No trabalho, utilizou-se o critério de contiguidade, ou seja, áreas que apresentam divisas físicas comuns. Assim, a formação da matriz de pesos segue a ideia de que duas áreas contíguas têm maior interação espacial, onde cada elemento ( $W_{ij}$ ) verifica a proximidade entre “i” (linha) e “j” (coluna), corroborando com Câmara et al., (2002).

Para variáveis de área, a matriz de vizinhança (figura 1) pode ser construída a partir de dois critérios principais de continuidade: Rainha (Queen) ou Torre (Rook), sendo possível variar a ordem de vizinhança (ALMEIDA, 2012). Os vizinhos mais próximos de uma área de

análise são considerados de primeira ordem, os vizinhos dos vizinhos são os de segunda ordem e assim por diante.

Figura 1: Convenção Rainha e Torre de contiguidade



Fonte: adaptada de Almeida (2012).

O critério adotado para construção da matriz de vizinhança, no presente trabalho, é a estrutura de rainha de primeira ordem, onde são considerados tanto os vértices quanto as divisas físicas das feições dos vizinhos mais próximos.

### 2.2.2 Índice de Moran (*I*)

O Índice de Moran configura-se como um índice de associação espacial global que mede o padrão de autocorrelação espacial do conjunto de dados (ALMEIDA, 2012). Ou seja, fornece a informação de como os dados se comportam no espaço, a partir de uma medida única para o local de análise. Nesse contexto, é possível analisar se há um agrupamento de informações, onde os valores próximos tendem a ser semelhantes; se há uma dispersão das variáveis, onde valores altos e baixos ficam próximos uns dos outros; ou se há uma aleatoriedade nos dados indicando ausência de autocorrelação espacial.

A estatística de Moran é um coeficiente de associação linear e tem seu valor esperado, caso haja aleatoriedade espacial, representado por  $-[1/(n-1)]$ , onde  $n$  é o número de observações (bairros). Assim, para o Índice de Moran parte-se do pressuposto de uma hipótese nula de que, nos dados, não há padrão espacial. Quando os valores de Moran são maiores que o valor esperado, a autocorrelação é positiva e quando são menores, tem-se uma autocorrelação negativa. Conforme Tachibana et. al. (2007), a equação que representa a estatística *I* de Moran é a seguinte:

Equação 2 – Estatística I de Moran

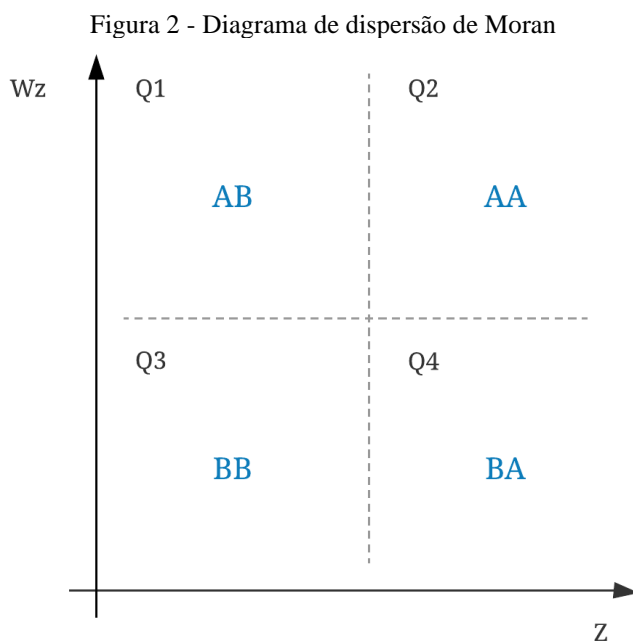
$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (z_i - \bar{z})(z_j - \bar{z})}{\left(\sum_{i=1}^n (z_i - \bar{z})^2\right) \left(\sum_{i \neq j} w_{ij}\right)}, \text{ para } i \neq j$$

Fonte: Tachibana et. al. (2007).

Onde a letra n diz respeito ao número de regiões ou unidades espaciais; Z corresponde à variável de interesse e  $W_{ij}$  é a matriz de peso espacial normalizada para os elementos i e j. Segundo Andrade et. al. (2007), o Índice Global de Moran varia de 1 a -1, sendo a autocorrelação positiva quanto mais próximos de 1 os valores estiverem indicando uma similaridade e relação direta entre os atributos. A autocorrelação será negativa quanto mais próximos de -1 o Índice de Moran estiver expressando uma relação inversa. Os valores de atributos próximos de 0 demonstram a ausência de autocorrelação.

### 2.2.3 Diagrama de espalhamento ou dispersão de Moran

O diagrama de dispersão de Moran (Figura 2) configura-se como um gráfico que representa a dispersão das regiões e tem como objetivo visualizar o padrão espacial do atributo de análise com ele mesmo ou com outros dados de interesse. De acordo com Almeida (2012), a divisão do diagrama é feita em quatro quadrantes que correspondem a padrões de associação linear, onde o eixo vertical representa a defasagem espacial do atributo e o eixo horizontal corresponde ao valor do atributo.



Fonte: adaptado de Almeida (2012).

O primeiro quadrante corresponde ao padrão Alto-Alto (AA) ou *High-High*, representando áreas com valores altos, acima da média, e que são rodeadas por valores também acima da média. O terceiro quadrante diz respeito aos agrupamentos de valores abaixo da média para o território de estudo e para seus vizinhos, sendo representado como Baixo-Baixo (BB) ou *Low-Low*. Esses dois quadrantes indicam a existência de uma associação espacial positiva, onde uma área e seus vizinhos têm valores semelhantes.

Os segundo e quarto quadrantes estão relacionados aos conjuntos Alto-Baixo (AB) ou *High-Low* e Baixo-Alto (BA) ou *Low-High* respectivamente. O quadrante AB representa valores do atributo acima da média rodeado de valores abaixo da média; e o quadrante BA corresponde ao inverso, valores baixos com vizinhos acima da média. Esses dois quadrantes indicam a existência de uma associação espacial negativa, onde uma área e seus vizinhos têm valores distintos.

Os quadrantes Alto-Alto e Baixo-Baixo representam um padrão sistemático de ordenação dos valores do atributo de análise quando se verifica um evento de contágio de um fenômeno de risco ou de seu transbordamento para áreas vizinhas (ALMEIDA, 2004). Assim, essa representação mostra uma maior propensão em haver similaridade entre áreas vizinhas.

Assim, no presente trabalho, para a análise Univariada, o quadrante Alto-Alto representa as áreas com altos valores de óbitos e que estão rodeadas também por altos valores da mesma variável. Já o quadrante Baixo-Baixo, diz respeito as áreas com baixos valores de óbitos e que são vizinhas de bairros com a mesma característica, diferentemente dos quadrantes Baixo-Alto e Alto-baixo, os quais expressão, respectivamente, áreas com baixos valores de óbitos em meio a territórios com altos valores e vice-versa.

Já na análise bivariada, os quadrantes representam a mesma situação, porém, as análises são feitas a partir dos casos e óbitos confirmados pela doença. Nos resultados, os bairros que se apresentam como Alto-Alto ou Baixo-Baixo expressão uma associação espacial positiva, reforçando a similaridade entre os dados naquele território.

#### **2.2.4 Teste de Pseudo Significância**

O conhecimento da validade estatística do Índice de Moran é muito importante para o desenvolvimento e análise dos resultados. Assim, aplica-se o Teste de Pseudo Significância para aferir se os valores encontrados no índice apresentam uma correlação espacial significativa. O Teste é feito a partir de permutações nos valores dos atributos de cada região, ou seja, os valores vão sendo redistribuídos, de maneira aleatória, produzindo novos arranjos espaciais (PRADO ET. AL, 2010).

A partir das diferentes combinações, é formada uma distribuição empírica do Índice de Moran, tendo em vista que apenas um arranjo diz respeito à situação observada. A representação é feita através de um gráfico de distribuição normal, onde as extremidades correspondem às significâncias estatísticas (valor-p), corroborando com Martini (2009).

### 2.2.5 Índice Local de Associação Espacial (LISA)

De acordo com Druck et al. (2004) e Câmara et al. (2002), a utilização de indicadores locais é muito importante quando o local de estudo abrange um grande número de áreas, tendo em vista que, em decorrência do detalhamento da escala, diferentes processos de correlação espacial podem ser visualizados. Assim, através de indicadores locais, é possível comparar o valor de determinadas áreas com o valor das vizinhas, evidenciando vários regimes espaciais.

O Índice Local de Associação Espacial (LISA), configura-se como uma decomposição dos índices globais, calculando um valor de associação espacial para cada elemento de análise no mapa, ao invés de um valor único para todo o agrupamento de dados (ANSELIN, 1995; ANSELIN and BAO, 1997). A partir do LISA é possível analisar diferentes padrões espaciais ao longo da área de estudo, identificando regiões que são mais agrupadas ou dispersas, e também valores atípicos (*outliers*), corroborando com Andrade et al. (2007).

Além disso, a análise com indicadores locais, assim como nos globais, podem calcular a autocorrelação multivariada (ANSELIN, 2004), ou seja, a análise é feita para um atributo em determinada localização e para outro em áreas vizinhas. De acordo com Prado et. al. (2010), a equação para o Índice Local de Moran é:

Equação 3 – Índice Local de Moran

$$I_i = \frac{z_i \sum_{j=1}^n w_{ij} z_j}{\sum_{j=1}^n w_j^2}$$

Fonte: Prado et. al. (2010)

Onde os valores já se encontram normalizados e a significância segue o que foi calculado no modelo do índice global. A função local de Moran é realizada para cada área *i* de interesse.

De acordo com Anselin (1995) e Almeida (2004), o mapa de significância LISA (LISA MAP) possibilita a representação do gráfico de espalhamento de Moran, mostrando as áreas de onde as estatísticas locais de Moran foram significativas. Sua representação é feita com

as seguintes classificações: áreas que não apresentam significância; áreas com 95% (valor-p = 0,05), 99% (valor-p = 0,01) e 99,9% (valor-p = 0,001) de significância. Após processada a significância, gera-se um mapa com a indicação das áreas que apresentam valores de correlação espacial local significativos.

Já no mapa do Índice Local de Moran (LISA cluster map) têm-se o resultado da combinação do diagrama de dispersão de Moran e da significância local, sendo a classificação de associação espacial representada por: Alto-Alto, Baixo-Baixo, Alto-Baixo e Baixo-Alto (ALMEIDA, 2004). Os valores positivos do Índice de Moran Local indicam a formação de clusters com valores parecidos (Alto-Alto e Baixo-Baixo); e os valores negativos fazem referência aos clusters distintos (Alto-Baixo e Baixo-Alto). Assim, é possível identificar no mapa as áreas com conglomerados de cada quadrante.

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

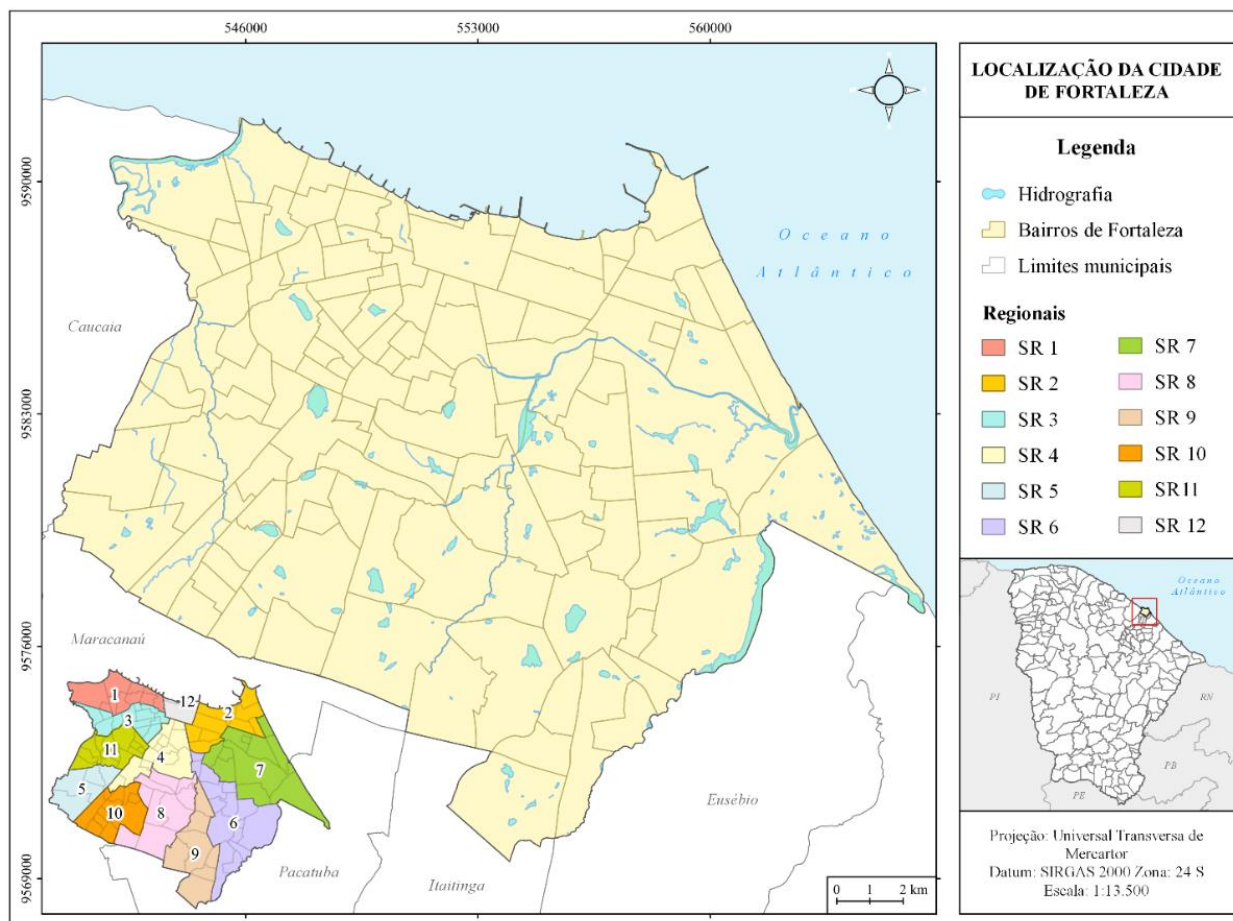
O trabalho constitui-se em um estudo ecológico, onde os dados geográficos foram analisados estatisticamente através da Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE), que apresenta grande importância na identificação de relações espaciais, bem como no reconhecimento de padrões (clusters) e zonas atípicas (outliers), corroborando com Anselin & Bao (1997) e Oliveau & Guilmoto, 2005.

A cidade de Fortaleza se configura como a área de análise, onde foram utilizadas informações secundárias a respeito dos casos e óbitos confirmados por COVID-19 e dados populacionais dos bairros do município. De acordo com dados dos Censos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2011), nos anos 2000 o rápido crescimento da cidade já havia ultrapassado a marca de dois milhões de habitantes. Atualmente, de acordo com as estimativas para 2019, a cidade tem mais de dois milhões e seiscentos mil habitantes.

O município de Fortaleza tem área de 314,980 km<sup>2</sup> e, de acordo com a nova territorialização administrativa do ano de 2021, é dividido em 12 regiões administrativas (Figura 3). No total, 121 bairros compõem as regionais da cidade, os quais foram sendo incorporados à capital no decorrer dos anos, passando de vilas isoladas ou áreas de outros municípios, para o território de expansão de Fortaleza (COSTA, 2014).



Figura 3 - Mapa de localização de Fortaleza, CE

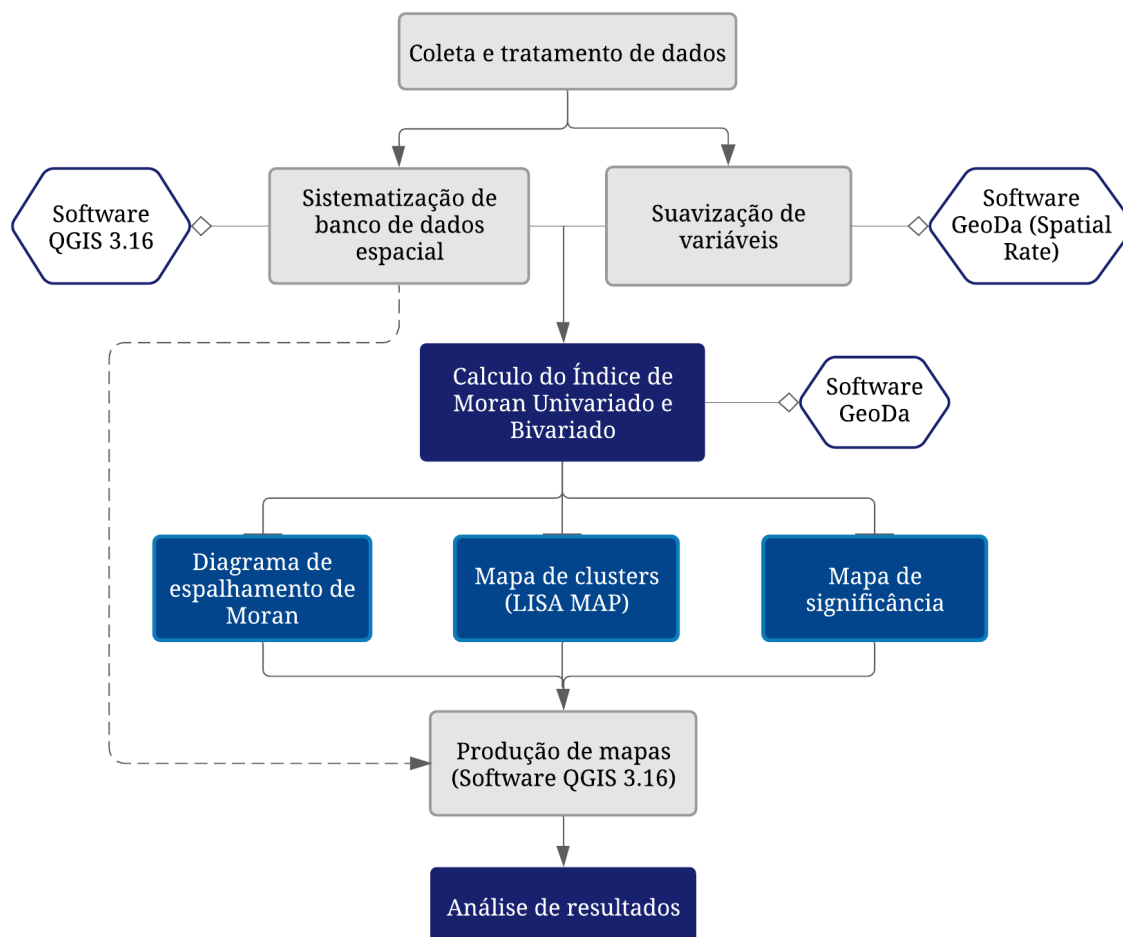


Fonte: adaptado de Prefeitura de Fortaleza, Instituto de Planejamento de Fortaleza (2021).

Em decorrência do processo de construção do espaço urbano de Fortaleza, estudos apontam que, na referida cidade, as áreas periféricas e de expansão são consideradas umas das mais vulneráveis à rápida transmissão da COVID-19 (DE PAULA, 2020; DANTAS, 2020). Esse fato se dá, principalmente, por causa das precárias estruturas sociais e econômicas presentes nesses territórios advindas do modelo de urbanização.

Assim, o trabalho operacional foi dividido em quatro fases, assim como mostra a Figura 4, sendo elas: (1) Coleta e tratamento de dados; (2) Cálculo do Índice de Moran Univariado e Bivariado; (3) Produção de mapas; e (4) Análise de resultados.

Figura 4 - Fluxograma de trabalho



Fonte: elaboração própria.

Os dados populacionais dos bairros de Fortaleza foram coletados a partir do Informe Semanal COVID-19, do boletim epidemiológico de 2021 da Prefeitura de Fortaleza e da Secretaria Municipal de Saúde (SMS), disponibilizados através do portal Coronavírus da Prefeitura de Fortaleza.

As variáveis referentes aos casos e óbitos confirmados por COVID-19 para os bairros da cidade de Fortaleza, foram obtidos através do boletim epidemiológico do novo coronavírus disponibilizado pela Plataforma de Transparência da Saúde do Ceará, Integra SUS (GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ, 2020). Os dados utilizados foram coletados e tratados mensalmente no período de janeiro de 2020 a abril de 2021, onde a última coleta foi realizada no dia 4 de maio de 2021.

Para a construção do mapa de casos e óbitos por bairro foram utilizados os dados acumulados no período de interesse; já para as análises de autocorrelação espacial, as variáveis foram suavizadas de acordo com a população de cada bairro, utilizando a Taxa Espacial. Todos os mapas foram produzidos no software QGIS 3.16.

### **3.1 Suavização de variáveis através da Taxa Espacial (Spatial Rate)**

A utilização de taxas, de acordo com sua distribuição no espaço, apresenta uma série de dificuldades, tendo em vista a instabilidade no tamanho das populações (ANDRADE, 2007). Existem diversas técnicas que visam corrigir essa instabilidade através de uma suavização das variáveis utilizadas para análise. No presente trabalho, o processamento dos dados sem a suavização por Taxa Espacial faz com que os resultados do Índice de Moran sejam muito baixos, não representando, efetivamente, as autocorrelações existentes no espaço de análise.

A suavização dos dados foi procedida utilizando a técnica Spatial Rate (Taxa Espacial) disponível no software GeoDa. A Taxa Espacial considera os atributos que descrevem as informações do evento e a variável base, sendo, no estudo, a primeira caracterizada pelos casos e óbitos, e a segunda pela população em risco, ou seja, o quantitativo populacional de cada bairro. Esses aspectos foram complementados pela matriz de correlação para construção do arquivo de pesos.

Dessa forma, a taxa espacial gera um mapa com informações suavizadas a partir da razão entre o número total de eventos em uma “janela espacial móvel” e a população total em risco em cada janela. Esta última, é construída usando como base o arquivo de pesos espaciais, o qual considera tanto o local de análise, quanto seus vizinhos, e é centrada em cada território por vez. Neste trabalho, para definir a janela espacial, utilizou-se a matriz de contiguidade rainha de primeira ordem.

### **3.2 Cálculo do Índice de Moran Univariado e Bivariado**

A elaboração do Índice de Moran foi feita em duas etapas com a utilização do software GeoDa. Primeiramente, foi gerada a matriz de vizinhança por contiguidade rainha e, posteriormente, realizado o processamento de Moran Global para as análises univariada e bivariada. O Moran Univariado comparou os valores de óbitos confirmados de um local com valores dessa mesma variável para seus vizinhos; já no Bivariado fez-se a comparação entre os casos confirmados em uma localidade e os óbitos confirmados nas áreas vizinhas, a fim de verificar a relação entre os dados e se apresentam um comportamento semelhante.

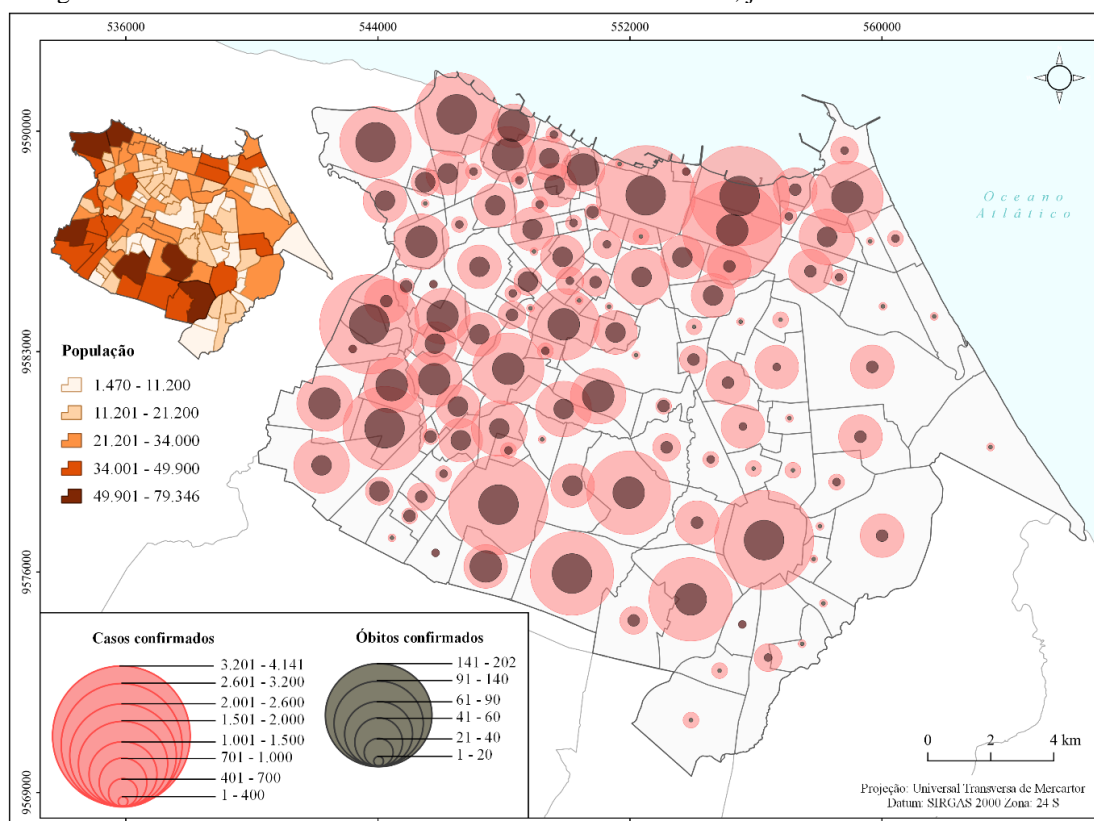
Em um segundo momento, as estatísticas globais foram complementadas pelo Índice de Moran Local (LISA), pois era necessário um maior detalhamento das relações de autocorrelação. Assim, têm-se o aparecimento de clusters do tipo Alto-Alto, Baixo-Baixo, Alto-Baixo e Baixo-Alto, tanto para a análise univariada, quanto para a bivariada.

## 4 RESULTADOS

A cidade de Fortaleza evidenciou grande velocidade de disseminação do SARS-CoV-2, sendo um dos principais polos de disseminação do novo coronavírus no Brasil. Essa velocidade, em muito foi impulsionada devido ao grande fluxo de voos internacionais provenientes da Europa, podendo ser considerada, segundo pesquisas de instituições brasileiras e britânicas, uma das entradas da COVID-19 no País (CÂNDIDO et. al., 2020). Em Fortaleza, percebe-se que a contaminação pelo novo coronavírus teve início nos bairros com maiores Índices de Desenvolvimento Humano, onde tal comportamento pode ser caracterizado a partir do perfil dos moradores do bairro que visitavam outros países (DANTAS et. al., 2020).

No período de janeiro de 2020 a abril de 2021, foram registrados 138.794 casos e 7.080 óbitos confirmados pela COVID-19 na cidade de Fortaleza. No que diz respeito à distribuição dos dados brutos por bairro, têm-se que os maiores valores de casos encontram-se nos bairros Messejana, Aldeota e Mondubim e de óbitos nos bairros Prefeito José Walter, Mondubim e Messejana. Outro dado importante a ser levado em consideração é o quantitativo de população dos bairros, sendo os bairros Barra do Ceará, Vila Velha, Mondubim, Granja Lisboa, Passaré e Jangurussu os mais populosos da cidade (figura 5).

Figura 5 - Casos e óbitos acumulados confirmados de COVID-19, janeiro de 2020 a abril de 2021



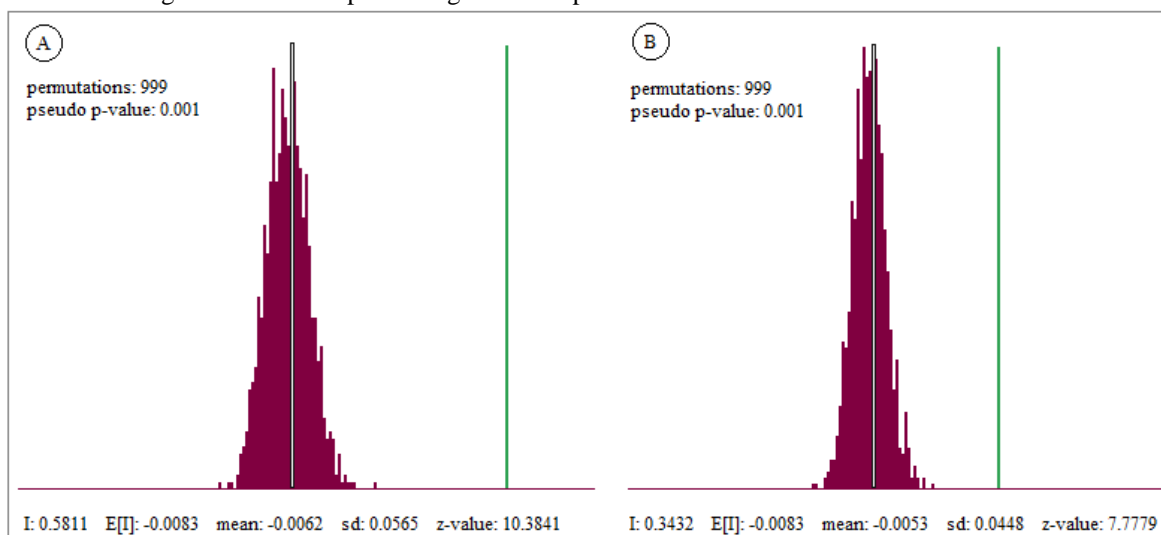
Fonte: elaboração própria.

Ao analisar o mapa de espacialização dos casos e óbitos confirmados, percebem-se grandes concentrações nos bairros localizados nas áreas periféricas da cidade e litorânea, com exceção da zona leste. Entretanto, os setores mais afastados do centro da cidade concentram os maiores quantitativos populacionais, assim como visto na Figura 6. Nesse contexto, para analisar as relações de autocorrelação entre o número de casos e óbitos confirmados na cidade, é necessário suavizar os dados, tendo como base a população de cada bairro.

Assim, as unidades espaciais do estudo são representadas pelos 121 bairros de Fortaleza, onde o valor esperado de Moran é de  $-0,0083$ , representando a ausência de autocorrelação espacial entre os atributos. Referido valor é alcançado através da substituição de “n” pelo número de bairros na fórmula anteriormente descrita na metodologia:  $-[1/(n-1)]$ . Os valores de Moran acima de  $-0,0083$  indicam autocorrelação espacial positiva e aqueles abaixo do valor esperado, indicam autocorrelação negativa.

A estimativa de significância para o Índice de Moran foi realizada no software GeoDa, com 999 permutações (Figura 6). Na figura, os gráficos A e B representam o teste de significância para o Índice de Moran Global Univariado e Bivariado, respectivamente. Na estatística univariada foram utilizados os dados de óbitos confirmados e na bivariada, casos e óbitos confirmados, estando todas as variáveis padronizadas por Taxa Espacial (Spatial Rate).

Figura 6 - Teste de pseudo significância para as estatísticas uni e bivariada de Moran



Fonte: elaboração própria.

Para os dados de óbitos confirmados (gráfico A), o valor observado do Índice de Moran ( $I = 0,5811$ ) encontra-se à direita da permutação, muito distante dos valores aleatórios. A mesma situação acontece com a análise bivariada entre casos e óbitos confirmados ( $I = 0,3432$ ), representada no gráfico B. Esse contexto expressa uma forte tendência a não aleatoriedade dos

dados, tendo em vista também que os valores-p encontrados são de 0,001 para as duas análises, demonstrando uma significância estatística relevante (DRUCK et al., 2004).

Na fase de análise exploratória, onde foi calculada a Estatística I de Moran para as variáveis óbitos confirmados (análise univariada) e casos e óbitos confirmados (análise bivariada) suavizadas pela Taxa Espacial, obtiveram-se valores positivos e de grande significância estatística para as duas análises (Tabela 1).

Tabela 1 - Índice Global de Moran, análise Univariada e Bivariada

<b>Análise Univariada de Moran</b>		
<b>Variável</b>	<b>Índice Global de Moran</b>	<b>Valor – p</b>
Casos acumulados confirmados	0,581	0,001
<b>Análise Bivariada de Moran</b>		
<b>Variável</b>	<b>Índice Global de Moran</b>	<b>Valor – p</b>
Casos e óbitos acumulados confirmados	0,343	0,001

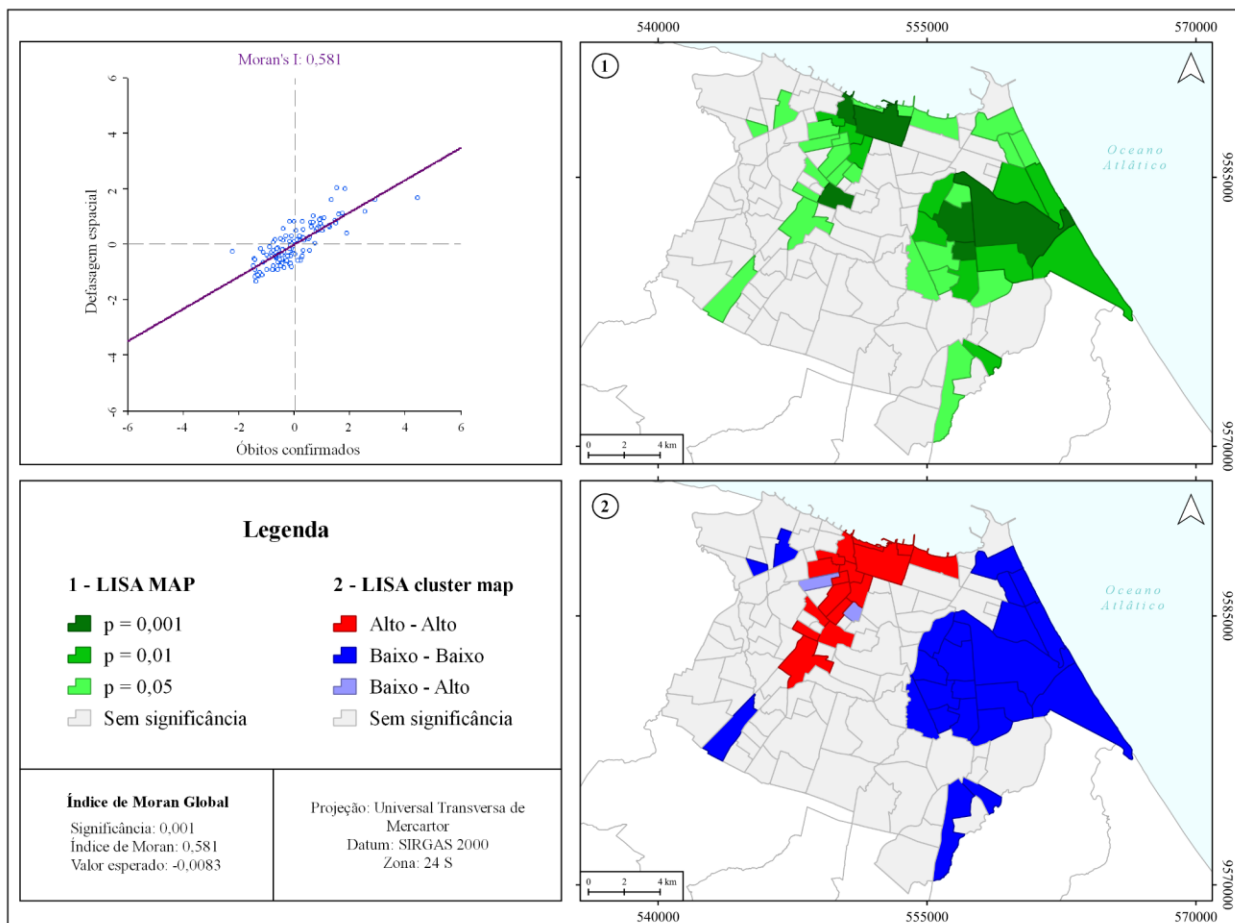
Fonte: elaboração própria.

No que diz respeito ao índice univariado, têm-se o valor de Moran de 0,581 com uma significância de 0,001 e no bivariado, obteve-se o valor do Índice de 0,343, com a mesma significância. Assim, os resultados da estatística de Moran Global indicam que as variáveis apresentam autocorrelação espacial positiva, podendo ser dispensada, com uma significância de 99,9%, a hipótese nula de ausência de autocorrelação nos dados.

#### **4.1 Índice Local de Moran Univariado**

Em um primeiro momento foram geradas as informações da autocorrelação espacial para a variável óbitos acumulados confirmados por COVID-19 (Figura 7) no período de janeiro de 2020 a abril de 2021. Mais precisamente foram construídos o gráfico de espalhamento de Moran e os mapas de significância (LISA MAP) e clusterização (LISA cluster map) para a variável de análise.

Figura 7 - Produtos do processamento univariado de Moran (Óbitos confirmados)



Fonte: elaboração própria.

De acordo com o diagrama de espalhamento de Moran percebe-se que grande parte dos bairros de Fortaleza está localizada nos quadrantes Alto-Alto e Baixo-Baixo, indicando a existência de uma autocorrelação espacial positiva. Os bairros que se encontram nos quadrantes Alto-Baixo e Baixo-Alto podem ser analisados como áreas de transição ou que não apresentam a mesma dependência espacial.

Os territórios de Fortaleza que têm significância estatística fazem parte dos quadrantes Alto-Alto, Baixo-Baixo e Baixo-Alto. O quadrante Alto-Baixo não apresentou nenhuma significância estatística para a variável de óbitos acumulados confirmados no período de análise, assim como demonstram os mapas da figura 7.

De acordo com a análise do LISA cluster map, na região leste da cidade todos os bairros com significância apresentam baixos valores do Índice Local de Moran e são rodeados de territórios com as mesmas características. Já em uma pequena parte do litoral norte e adentrando ao centro de Fortaleza tem-se a concentração de bairros com altos valores do Índice Local envolvidos por vizinhos com valores altos. Um ponto importante nesse trecho da cidade, são os

bairros Jardim América e Parquelândia que se apresentam como áreas de transição de baixos valores para o Moran Local em meio ao padrão Alto-Alto.

Os bairros com maior significância ( $p = 0,001$ ) são Centro, Jacarecanga e Montese, caracterizados pela classificação Alto-Alto; e Edson Queiroz, Engenheiro Luciano Cavalcante e Parque Manibura, identificados pelo padrão Baixo-Baixo. Os bairros que apresentaram significância foram separados por regional e descritos no quadro 1 seguindo suas classificações de autocorrelação espacial.

Quadro 1 - Bairros com significância estatística para a análise Univariada por regional

Regionais	Bairros	Classificação	Regionais	Bairros	Classificação	
<b>Regional 1</b>	Jacarecanga	Alto-Alto	<b>Regional 6</b>	Cidade dos Funcionários	Baixo-Baixo	
	Floresta	Baixo-Baixo		Jardim das Oliveiras		
<b>Regional 2</b>	Meireles	Alto-Alto		Parque Manibura		
	De Lourdes	Baixo-Baixo		Cambeba		
	Vicente Pinzon			Coaçu		
<b>Regional 3</b>	Farias Brito	Alto-Alto		José de Alencar		Baixo-Baixo
	Monte Castelo			Parque Iracema		
	Parque Araxá			Paupina		
	Rodolfo Teófilo			Guararapes		
	São Gerardo	Edson Queiroz				
	Olavo Oliveira	Baixo-Baixo	Eng. Luciano Cavalcante			
	Parquelândia	Baixo-Alto	Manuel Dias Branco			
<b>Regional 4</b>	Benfica	Alto-Alto	Praia do Futuro I e II	Baixo-Baixo		
	Damas		Sabiaguaba			
	Montese		Salinas			
	Parangaba		Sapiranga			
	Jardim América	Baixo-Alto	<b>Regional 9</b>		Cajazeiras	Baixo-Baixo
<b>Regional 12</b>	Centro	Alto-Alto	<b>Regional 10</b>	Canindezinho	Baixo-Baixo	
	Moura Brasil		<b>Regional 11</b>	Bela Vista	Alto-Alto	
	Praia de Iracema			Demócrito Rocha		

Fonte: elaboração própria.

As regionais 5 e 8 não apresentaram nenhum bairro com significância estatística para a análise Univariada, por isso, não são representadas no quadro acima. A regional 3 apresentou o maior quantitativo de bairros classificados como Alto-Alto, seguida das regionais 4, 12 e 11

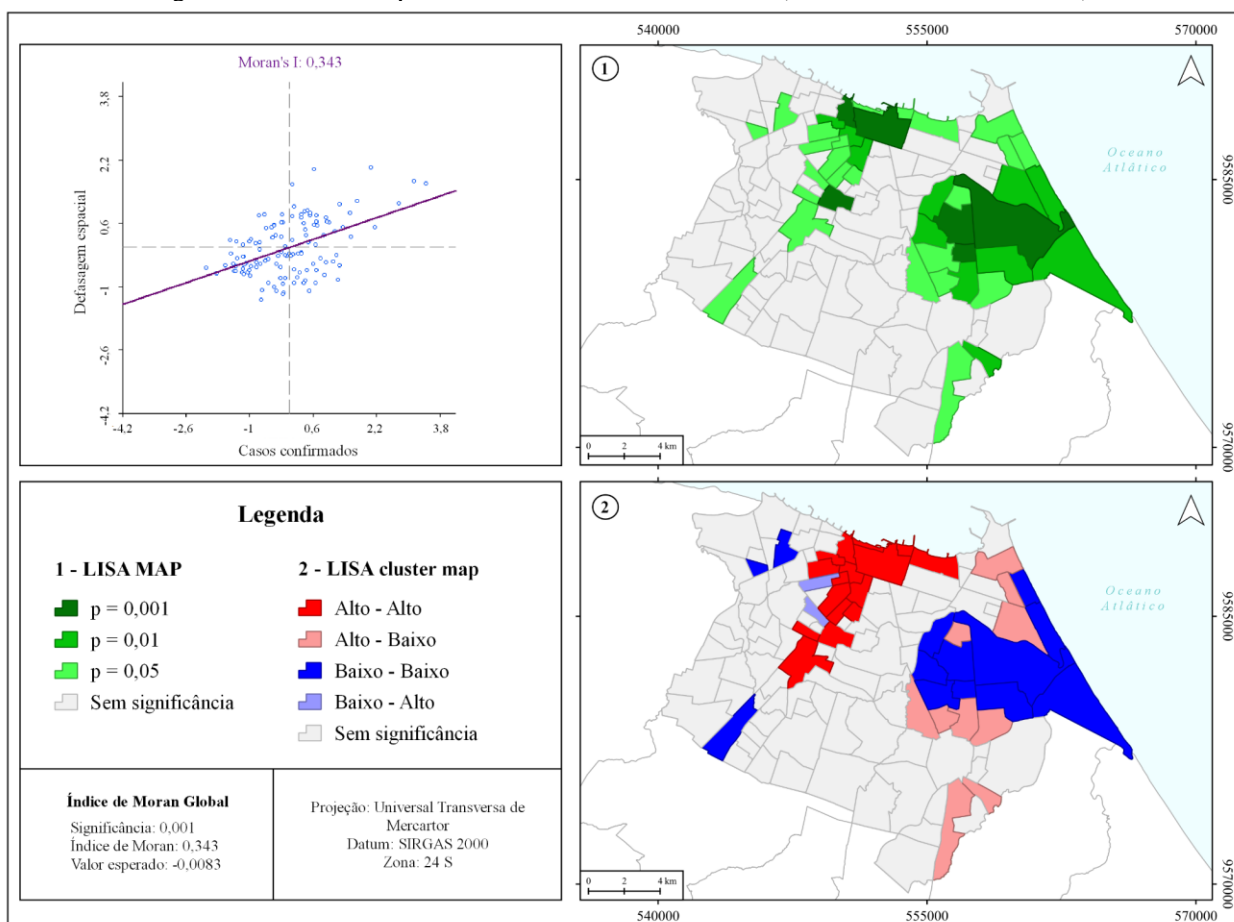


respectivamente. No que diz respeito à maior concentração do padrão Baixo-Baixo, as regionais 6 e 7 apresentaram o mesmo quantitativo de territórios, com 8 bairros cada.

#### 4.2 Índice Local de Moran Bivariado

A construção do Moran Local para as variáveis de casos e óbitos confirmados por COVID-19 (Figura 8) demonstra um padrão bastante semelhante ao observado na análise univariada de óbitos confirmados. Entretanto, no índice bivariado, percebe-se, através do diagrama de espalhamento de Moran, uma distribuição menos concentrada dos dados, onde as maiores ocorrências de bairros estão nos quadrantes Alto-Alto, Baixo-Baixo e Alto-Baixo.

Figura 8 - Produtos do processamento bivariado de Moran (Casos e óbitos confirmados)



Fonte: elaboração própria.

As maiores significâncias estatísticas estão representadas nas classificações Alto-Alto e Baixo-Baixo. Diferentemente da análise univariada, o Moran Bivariado mostrou a formação de clusters significativos do tipo Alto-Baixo, demonstrando áreas de transição onde têm-se bairros com altos valores de casos, rodeados de vizinhos com baixos valores de óbitos. O padrão Baixo-Alto também é representativo no mapa.

De acordo com a análise do LISA cluster map, na região leste da cidade dos 19 bairros com significância, 9 estão classificados como Baixo-Baixo e 10 como Alto-Baixo. Nesse contexto, têm-se a formação de muitas áreas de transição que não foram classificadas como significativas na análise univariada de órbitos confirmados, evidenciando bairros que tiveram altos números de casos em relação aos órbitos confirmados. Assim como na análise univariada, a região do litoral norte e em direção ao centro da cidade apresenta valores altos do Índice Local de Moran rodeado de outros bairros com valores altos. No processamento bivariado dos dados, os bairros Bela Vista e Parquelândia foram classificados como Baixo-Alto, podendo ser lidos como áreas de transição.

Todos os quadrantes apresentaram significância estatística, porém os bairros que apresentaram  $p = 0,001$  foram Centro, Jacarecanga e Montese, definidos pelo padrão Alto-Alto; e Edson Queiroz, Engenheiro Luciano Cavalcante e Parque Manibura, caracterizados pelo padrão Baixo-Baixo. Essa mesma situação foi encontrada na análise univariada de órbitos, o que demonstra forte influência dos dados de órbitos na distribuição da autocorrelação espacial. O quadro 2 mostra os bairros, por regional, que apresentaram significância estatística de acordo com sua classificação.

Quadro 2 - Bairros com significância estatística para a análise Bivariada por Regional

Regionais	Bairros	Classificação	Regionais	Bairros	Classificação
<b>Regional 1</b>	Jacarecanga	Alto-Alto	<b>Regional 6</b>	Cidade dos Funcionários	Baixo-Baixo
	Floresta	Baixo-Baixo		Jardim das Oliveiras	
<b>Regional 2</b>	Meireles	Alto-Alto		Parque Manibura	
	De Lourdes	Alto-Baixo		Cambeba	Alto-Baixo
	Vicente Pinzon			Coaçu	
<b>Regional 3</b>	Farias Brito	Alto-Alto		José de Alencar	
	Monte Castelo		Parque Iracema		
	Parque Araxá		Paupina		
	Rodolfo Teófilo		Baixo-Baixo	Edson Queiroz	
	São Gerardo	Eng. Luciano Cavalcante			
	Olavo Oliveira	Praia do Futuro I e II			
<b>Regional 4</b>	Parquelândia	Baixo-Alto	Sabiaguaba	Baixo-Baixo	
	Benfica	Alto-Alto	Salinas		
	Damas		Sapiranga		
	Montese		Guararapes	Alto-Baixo	
Parangaba	Manuel Dias Branco				

	Jardim América		<b>Regional 9</b>	Cajazeiras	Alto-Baixo
<b>Regional 12</b>	Centro	Alto-Alto	<b>Regional 10</b>	Canindezinho	Baixo-Baixo
	Moura Brasil		<b>Regional 11</b>	Demócrito Rocha	Alto-Alto
	Praia de Iracema			Bela Vista	Baixo-Alto

Fonte: elaboração própria.

Assim como na análise Univariada, o processamento Bivariado de Moran Local não apresentou bairros com significância nas regionais 5 e 8. Além disso, a configuração dos padrões das regionais foi bem semelhante. A maior diferença está no aparecimento da clusterização Alto-Baixo. No que diz respeito à classificação Alto-Alto, a regional 3 continua com a maior concentração de áreas, seguida das regionais 4 e 12, respectivamente.

Na análise Bivariada de casos e óbitos confirmados, as regionais 6 e 7 demonstraram um padrão um pouco diferente. A primeira apresentou maior parte do seu território com significância estatística classificado como Alto-Baixo e a regional 7, como Baixo-Baixo, porém, com aparecimento da clusterização Alto-Baixo.

#### 4.3 Relações espaciais da COVID-19 em Fortaleza

De acordo com De Paula et. al. (2020), no início da contaminação pela COVID-19 em Fortaleza, a distribuição espacial dos casos da doença apresentava-se de forma heterogênea, porém, com concentrações nos bairros ao centro da cidade e de boa condição econômica. Esse contexto é observado tanto na análise univariada local de Moran, quanto na bivariada desenvolvida no presente estudo. As estatísticas de Moran demonstraram que, em especial, os territórios centrais da cidade, concentram os bairros que apresentam autocorrelação de classificação Alto-Alto.

Na análise bivariada de casos e óbitos, os bairros Jacarecanga, Meireles, Vicente Pinzon, Parangaba e Centro apresentaram classificação Alto-Alto; e os bairros Cambéba, José de Alencar e Parque Iracema, padrão Alto-Baixo. A partir dos resultados, percebe-se que tais territórios tem em sua configuração altos valores de casos confirmados de COVID-19, estando concentrados no centro da cidade e em algumas porções da zona leste. Tal contexto pode ser reforçado pelo estudo apresentado no relatório técnico EPIFOR-COVID-19 que, ao analisar a propensão dos bairros de Fortaleza à disseminação dos casos do novo coronavírus e a mobilidade populacional, caracterizou os bairros mencionados com escores elevados de propensão à epidemia (FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ, PREFEITURA MUNICIPAL DE SAÚDE DE

FORTALEZA, UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO E UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ, 2020).

De acordo com estudos, o contágio em Fortaleza começou com maior força na região do centro da cidade, com os bairros de maiores renda e Índice de Desenvolvimento Humano, corroborando com Dantas et. al. (2020), e foi se espalhando para as áreas periféricas da cidade. Em decorrência das baixas condições e acesso aos serviços de saúde, os grupos em precárias condições socioeconômicas são os mais impactados pela COVID-19 (DANTAS et. al., 2020; DE PAULA et. al., 2020).

Entretanto, no que diz respeito a autocorrelação espacial de Moran, referidos grupos não apresentaram significância estatística no estudo. Tal configuração pode decorrer da alta concentração demográfica dos bairros de maior vulnerabilidade social, a qual suaviza o número de casos e óbitos, em relação aos bairros com menor população. Aliado a isso, têm-se também a precariedade dos registros nas regiões que apresentam grandes concentrações de assentamentos precários, podendo mascarar o número de pessoas infectadas pela doença (BITOUN et. al., 2020), tendo em vista que nem toda a população acometida pela COVID-19 é diagnosticada.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A estatística espacial é uma importante ferramenta para modelagem e entendimento da realidade do espaço, principalmente para estudos que estejam relacionados ao tratamento de dados espaciais, como nos temas de interesse a geografia e saúde pública. A partir de análises visuais não é possível ter uma confirmação sobre a existência ou não de autocorrelação espacial entre variáveis em um determinado território, por isso os modelos estatísticos apresentam-se como muito relevantes.

O objetivo principal da pesquisa foi analisar a correlação espacial dos casos e óbitos de COVID-19 em Fortaleza, buscando compreender o padrão de distribuição e autocorrelação espacial do número de infecções e óbitos no município. Para sua realização, utilizaram-se dados populacionais da cidade e de casos e óbitos confirmados de COVID-19 suavizados pela Taxa Espacial. A partir disso, foi possível gerar um mapa de representação da doença no território, sendo também trabalhada a estatística de Moran Global e os Indicadores Locais de Associação Espacial (LISA) no município.

No que diz respeito à autocorrelação espacial, com a análise da estatística univariada de óbitos, percebeu-se um padrão onde as classificações Alto-Alto e Baixo-Alto da variável são observadas na região ao centro da cidade; e o padrão Baixo-Baixo na região leste. Não havendo regiões de transição da classificação Alto-Baixo. Na estatística bivariada de casos e óbitos

confirmados, o contexto mostrou-se bem semelhante, onde se tem um padrão Alto-Alto e Baixo-Alto de casos e óbitos no centro da cidade e Baixo-Baixo na porção leste. Entretanto, essa última apresentou territórios de transição, classificados como Alto-Baixo, o que demonstra a influência da variável casos confirmados para a análise.

Os resultados da autocorrelação espacial mostram que a região central da cidade apresenta os valores mais altos das variáveis casos e óbitos confirmados. Entretanto, na área leste, um pouco mais afastado do centro, também é possível perceber a espacialização de territórios com altos valores de casos confirmados. Tais resultados corroboram com estudos que trazem a análise de como a COVID-19 começou a ser disseminada na cidade de Fortaleza, tendo sua concentração no centro com o posterior espalhamento em direção às demais áreas (DANTAS et. al., 2020; DE PAULA et. al., 2020; FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ, PREFEITURA MUNICIPAL DE SAÚDE DE FORTALEZA, UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO E UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ, 2020)

Entretanto, também é importante levar em consideração o contexto de urbanização de Fortaleza, onde têm-se que as áreas periféricas são as mais vulneráveis e com menor poder de resposta frente a uma situação de crise (SANTOS, 2015), a exemplo da pandemia do novo coronavírus. Nesse contexto, através da análise da espacialização dos dados brutos de casos e óbitos confirmados, percebe-se uma grande expressão das variáveis nas regiões periféricas e com grandes concentrações de assentamentos precários. Essas concentrações podem ser ainda maiores, porém, assim como aponta Bitoun et. al. (2020), as áreas periféricas sofrem com a precariedade nos diagnósticos e também de acesso aos demais serviços de saúde.

Dessa forma, tem-se que tanto a análise da autocorrelação espacial, quanto da espacialização dos dados brutos de casos e óbitos na cidade de Fortaleza possibilitam entender como a COVID-19 atua no espaço e se dissemina no tecido urbano.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Eduardo Simões de. **Curso de Econometria Espacial Aplicada**. Piracicaba-SP. 2004.
- ALMEIDA, E. **Econometria espacial aplicada**. Campinas–SP. Alínea, 2012.
- ANDRADE, Ana Lúcia et al. **Introdução à estatística espacial para a saúde pública**. Brasília: Ministério da Saúde, 2007.
- ANSELIN, L; BAO, S. Exploratory Spatial Data Analysis Linking SpaceStat and ArcView. In: Fischer, M. M. & Getis, A. **Recent developments in spatial analysis**. New York: Springer, 1997, p. 35-59.
- ANSELIN, L. Local indicators of spatial association—LISA. **Geographical analysis**, v. 27, n. 2, p. 93-115, 1995.
- Anselin, L. **SpaceStat tutorial: a workbook for using SpaceStat in the analysis of spatial data**. Mimeo., University of Illinois, 1992.
- ANSELIN, L. **Spatial Econometrics: Methods and Models**. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands, 1988.
- AQUINO, Estela ML et al. Medidas de distanciamento social no controle da pandemia de COVID-19: potenciais impactos e desafios no Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 25, p. 2423-2446, 2020.
- ARJONA, Felipe Bagatoli Silveira et al. **Sistemas de informações geográficas: usos e aplicações na área da saúde**. EPSJV, 2017.
- BARCELLOS, Christovam et al. Distribuição espacial da leptospirose no Rio Grande do Sul, Brasil: recuperando a ecologia dos estudos ecológicos. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 19, p. 1283-1292, 2003.
- BARCELLOS, Christovam; RAMALHO, Walter. **Situação atual do geoprocessamento e da análise de dados espaciais em saúde no Brasil**. 2002.
- BAUMONT, C. Spatial effects in housing price models: do house prices capitalize urban development policies in the agglomeration Dijon (1999). In: **Regional Group Seminar of the Federal Reserve Bank of Chicago**, 2004.
- BITOUN, Jan et. al. Nota Técnica. **Distribuição desigual dos casos, óbitos e letalidade por SRAG decorrentes da COVID-19 na Cidade do Recife**. Observatório UFPE Covid-19. 2020
- BRITO, F.; SOUZA, J. de. **Expansão urbana nas grandes metrópoles: o significado das migrações intrametropolitanas e da mobilidade pendular na reprodução da pobreza**. São Paulo em perspectiva, v. 19, n. 4, p. 48-63, 2005.

CÂMARA, G; CARVALHO, M. S; CRUZ, O.G; CORREIA, V. **Análise espacial de áreas.** *Análise Espacial de Dados Geográficos.* São Paulo: INPE, 2002. p. 1-32.

CANDIDO, Darlan S. et al. Evolution and epidemic spread of SARS-CoV-2 in Brazil. **Science**, v. 369, n. 6508, p. 1255-1260, 2020.

CARVALHO, M. S.; SANTOS, R. S. **Análise de dados espaciais em saúde pública: métodos, problemas, perspectivas.** *Caderno de Saúde Pública*, Rio de Janeiro, v. 21, n. 2, p. 361-378, 2005.

COELHO, M. C. Nunes. Impactos Ambientais em Áreas Urbanas: teorias, conceitos e métodos de pesquisa. In GUERRA, Antonio J. T. e CUNHA, Sandra B. da (org.). **Impactos Ambientais Urbanos no Brasil.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. p. 19-45.

COSTA, MARIA CLÉLIA LUSTOSA. Fortaleza, capital do Ceará: transformações no espaço urbano ao longo do século XIX. **Revista do Instituto do Ceará**, v. 128, p. 81-111, 2014.

DANTAS, E. W. C. et al. Fortaleza, de uma contaminação derivada dos lugares turísticos à transformação dos espaços de moradia em territórios de adoecimento e de morte. **Confins. Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasileira de geografia**, n. 45, 2020.

DE PAULA, D. P. et al. Diffusion of Covid-19 in the Northern Metropolis in Northeast Brazil: territorial dynamics and risks associated with Social Vulnerability. **Sociedade & Natureza**, v. 32, p. 639-656, 2020.

DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. V. M. **Análise espacial de dados geográficos.** Brasília: EMBRAPA, 2004.

ESTEVÃO, Amélia. COVID-19. *Acta Radiológica Portuguesa*, v. 32, n. 1, p. 5-6, 2020.

FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ, PREFEITURA MUNICIPAL DE SAÚDE DE FORTALEZA, UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO E UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. **Relatório Técnico. Propensão à epidemia grave de COVID-19 da população residente em bairros do Município de Fortaleza.** 2020

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ. Secretaria da Saúde. **IntegraSUS: Transparência da Saúde do Ceará.** 2020. Disponível em: <<https://integrasus.saude.ce.gov.br/>>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Base de informações do 87 Censo Demográfico 2010: Resultados do Universo por setor censitário.** Rio de Janeiro: IBGE, 2011.

LEITE, Marcos Esdras. Análise da correlação entre dengue e indicadores sociais a partir do SIG. **HYGEIA, Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde**, [S. l.], 2010.

LIMA, João Sérgio Queiroz de. **Desastres ambientais nos assentamentos precários da cidade de Fortaleza-Ceará-Brasil: riscos derivados da integração entre vulnerabilidade social e ameaças naturais.** 2018.

LIMA, João Sérgio Queiroz de.; DE OLIVEIRA SANTOS, Jader; ZANELLA, Maria Elisa. Impactos das chuvas na cidade de Fortaleza no triênio 2013, 2014 e 2015. **Territorium**, n. 25, p. 5-22, 2018.

LIMA E SILVA, P. P; GUERRA, A. J. T; DUTRA, L. E. D. Subsídios para avaliação econômica de Impactos Ambientais. In. GUERRA, Antonio J. T. e CUNHA, Sandra B. da (org.). **Avaliação e Perícia Ambiental**. 2ª Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000. p. 217-260.

MARICATO, Ermínia. O impasse da política urbana no Brasil. **Petrópolis: Vozes**, 2011.

MÉNDEZ, Ricardo. Sitiados por la pandemia - del colapso a la reconstrucción: apuntes geográficos. **Madrid: Revives**, 2020.

MORETTINI, Maria Teresa Coelho. **Segmentação do mercado habitacional do município de São Paulo**. 2009. 141 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

OLIVEAU, S.; GUILMOTO, C. Z. Spatial autocorrelation and demography, Exploring India's demographic patterns. In: **XXVe International Population Conference**, Tours, France, 2005.

PEDROSA, Nathália Lima; ALBUQUERQUE, Nila Larisse Silva de. Análise Espacial dos Casos de COVID-19 e leitos de terapia intensiva no estado do Ceará, Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 25, p. 2461-2468, 2020.

PEREIRA JÚNIOR, Edilson Alves; SAMPAIO, José Eudázio Honório; GOMES, Rafael Brito. A Covid-19 e sua dinâmica de propagação na rede urbana do Ceará, Brasil. **Ateliê Geográfico**, v. 14, n. 3, p. 35-56, 2020.

PRADO, F. d A. et al. Aplicação e análise de modelos de regressão clássica e espacial para os distritos da cidade de São Paulo. **III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**, p. 27-30, 2010.

RODRIGUEZ-MORALES, Alfonso J. et al. COVID-19 in Latin America: The implications of the first confirmed case in Brazil. **Travel medicine and infectious disease**, v. 35, p. 101613, 2020.

SÁ, E. B. **A saúde pública e o enfrentamento da crise causada pelo coronavírus**. Brasília: Ipea, 2020. (Nota Técnica, n. 68).

SANTOS, Jader de Oliveira. **Fragilidade e riscos socioambientais em Fortaleza-CE**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2016.

SANTOS, Jader de Oliveira. Relações entre Fragilidade Ambiental e Vulnerabilidade Social na Susceptibilidade aos Riscos. **Revista Mercator**, p.75-90, 2015. Doi: <http://10.4215/RM2015.1402.0005>

SANTOS, Jader de Oliveira; SOUZA, Marcos José Nogueira de. Abordagem geoambiental aplicada à análise da vulnerabilidade e dos riscos em ambientes urbanos. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 34, n. 2, p. 215-232, 2014.



SANTOS, Milton. **A Urbanização Brasileira**. 5ª ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2008. 176p.

SANTOS, S.M.; BARCELOS, C. (Orgs.). Ministério da Saúde. Fundação Oswaldo Cruz. **Introdução à Estatística Espacial para a Saúde Pública**. Brasília: Ministério da Saúde, 2007. v.3. (Série B -Textos Básicos de Saúde)

SANTOS, Milton. **A Urbanização Brasileira**. 5ª ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2008. 176p.

SCHWARTZ, Sharon. The fallacy of the ecological fallacy: the potential misuse of a concept and the consequences. **American journal of public health**, v. 84, n. 5, p. 819-824, 1994.

SILVA, S. L.C.; FACHEL, J.M.G.; KATO, S.K.; BASSANESI, S.L. **Visualização dos padrões de variação da taxa de mortalidade infantil no Rio Grande do Sul, Brasil: comparação entre as abordagens Bayesiana Empírica e Totalmente Bayesiana**. Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro, v. 27, n. 7, 2011.

SOARES, P. A.; NASCIMENTO, L. F. C. **Análise espacial das internações por doenças do coração no Vale do Paraíba**. Arquivos Brasileiros de Cardiologia, São Paulo - SP, v. 94, n. 6, 2010.

SOUZA, M. L. **Mudar a Cidade: Uma Introdução Crítica ao Planejamento e a Gestão Urbana**. 4ª. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006. 560p.

SUSSER, Menryn. The logic in ecological: II. The logic of design. **American Journal of Public Health**, 84:830-835, 1994.

TACHIBANA, V. M.; IMAI, N. N.; ENNES, R.; VICENTIN, D. M. Aplicação de técnicas utilizando regressão clássica e espacial na cidade de Presidente Prudente – SP. **In: II Simpósio Brasileiro de Geomática e V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas**, 2007, Presidente Prudente. Anais. Presidente Prudente: UNESP, 2007.

Tobler, WR, 1979. Cellular geography. **Philosophy in geography**, pp. 379-386.

VELAVAN, Thirumalaisamy P.; MEYER, Christian G. The COVID-19 epidemic. **Tropical medicine & international health**, v. 25, n. 3, p. 278, 2020.