

Modelagem espacial dos casos de tuberculose dos municípios do estado da Paraíba

Mateus S. Peixoto^{1†}, Alexandrino Gomes¹, Anderson M. V. Nascimento², Anna S. C. Pachá³, Wylliam E. A. Silva¹

¹Universidade Estadual da Paraíba, Campus Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia.

²Universidade Estadual da Paraíba, Campus Campina Grande, Programa de pós graduação em saúde coletiva. E-mail: andersonmarcos_611@hotmail.com.

³Núcleo de Doenças Endêmicas- NDE/SES-PB. E-mail: anna.vigsaude@gmail.com.

Resumo: *O principal objetivo que motivou o estudo da modelagem espacial dos casos notificados por Tuberculose no estado da Paraíba, baseia-se na hipótese de que pode haver áreas favoráveis à propagação dessa doença com fatores socioeconômicos. A dependência espacial pode ser um forte indicador de que as ações de controle não estejam produzindo o resultado desejado de minimizar as chances de transmissão em regiões nas quais são detectados focos do problema. O software utilizado para a análise e elaboração dos mapas foi o software estatístico R. Diante do exposto, o estudo da variabilidade espacial da propagação da Tuberculose, em pequena e grande escala, por meio de modelos para dados de área, torna-se de suma importância para os órgãos competentes, na gestão adequada de riscos minimizando as chances de transmissão da doença e para a sociedade em geral, pois como pode ser observado por meio dos mapas, houve municípios que foram significativos, influenciando seus vizinhos positivamente, de modo que se possa avaliar o quanto esses fenômenos surtem impactos na Saúde Coletiva no Estado da Paraíba.*

Palavras-chave: Tuberculose; Análise; Espacial.

Abstract: *The main issue that motivated the study of spatial modeling of cases reported for tuberculosis in the state of Paraíba, is based on the hypothesis that there may be areas favorable to the spread of this disease with socioeconomic factors. Spatial dependence can be a strong indicator that control actions are not producing the desired result of minimizing the chances of transmission in regions where foci of the problem are detected. The software used for the analysis and elaboration of the maps was the R statistical software. In view of the above, the study of the spatial variability of the small and large scale propagation of Tuberculosis, using models for area data, becomes extremely important. importance for the appropriate agencies, in the proper risk management, minimizing the chances of transmission of the disease and for society in general, as can be seen from the maps, there were municipalities that were significant, influencing their neighbors positively, so that assess how much these phenomena have impacts on public health in the state of Paraíba.*

Keywords: Tuberculosis; Analyze; Spatial

[†]Autor correspondente: mateus_peixoto12@hotmail.com.

Introdução

A tuberculose segue como um grave problema de saúde pública no mundo, causando problemas de saúde para cerca de 10 milhões de pessoas a cada ano, e é uma das dez principais causas de morte em todo o mundo. As questões sociais e econômicas têm-se mostrado como variáveis a ser consideradas na efetividade do tratamento. Segundo a Organização Mundial da Saúde (WHO, 2017), estima-se que 10,4 milhões de pessoas foram diagnosticadas com TB (Tuberculose) em 2016 e tratadas com sucesso a cada ano evitando milhões de mortes (53 milhões de 2000 a 2016), e cerca de 1,3 milhão de pessoas morreram em decorrência da doença, mas ainda há grandes lacunas na detecção e no tratamento.

A tuberculose é uma doença infecciosa causada por um micróbio chamado “*Mycobacterium Tuberculosis*” a maioria das pessoas infectadas não apresenta sintomas, e quando apresentam geralmente incluem tosse (às vezes, com sangue), perda de peso e febre, atingindo principalmente os pulmões podendo ser grave. A maioria das mortes pela doença pode ser evitada com diagnóstico precoce e tratamento adequado. Dois bilhões de pessoas, correspondendo a um terço da população mundial, estão infectadas pelo bacilo que causa a tuberculose (WHO, 2017).

É muito importante a análise estatística espacial dos dados, que levam em consideração a dependência espacial, pois é um conjunto de um ou mais modelos probabilístico cuja finalidade é a modelagem do sistemas de interesse em termos de suas características, uma vez que a variável de interesse possui uma dependência no espaço, servindo para a delimitação de áreas homogêneas, e consequente definição de estratégias de intervenção, estabelecimento de prioridades para planejamento e alocação de recursos (XAVIER-DASILVA, 2000).

Dado espacial é qualquer tipo de dado que descreve fenômenos aos quais esteja associada alguma dimensão espacial. Dados geográficos ou georreferenciados são dados espaciais em que a dimensão espacial está associada à sua localização na superfície da terra, num determinado instante ou período de tempo (BORGES, 2002).

Em 2017, 10 milhões de pessoas adoeceram com tuberculose e 1,6 milhões morreram da doença (incluindo 0,3 milhões entre pessoas com HIV(vírus da imunodeficiência humana adquirida)). Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), é a doença infecciosa de agente único que mais mata, superando o HIV (WHO, 2017).

Apesar dos avanços obtidos, representados pela melhoria dos indicadores epidemiológicos e operacionais da tuberculose, esses resultados não são homogêneos entre as unidades federativas e capitais, e insuficientes para se alcançarem as metas ousadas do Plano Nacional. Esforços adicionais, com a articulação das três esferas de gestão do Sistema Único de Saúde (SUS), serão necessários para acabar com a tuberculose como problema de saúde pública no Brasil.

O objetivo deste trabalho é quantificar, através de mapas, os casos notificados de tuberculose mostrando onde pode haver áreas favoráveis para a propagação e também verificando quais municípios podem estar influenciando o seus vizinhos tanto positivamente como negativamente, verificando através de teste estatísticos se há uma dependência espacial significativa local e global.

Material e Métodos

Nos métodos será abordado os principais aspectos da estatística espacial, sendo eles a autocorrelação espacial, gráfico do espalhamento de Moran e Mapas sendo eles Box Map e Lisa Map, e é de grande importância ressaltar que essa mesma metodologia foi utilizada nos trabalhos de Olinda (2008) e Costa (2017).

Autocorrelação Espacial

Fundamentalmente, a associação de observações na vizinhança definido para cada localização pode ser expressa por meio de uma contiguidade ou pesos espacial numa matriz W de ordem n , ou seja,

$$\begin{pmatrix} W_{11} & W_{12} & W_{13} & \dots & W_{1n} \\ W_{21} & W_{22} & W_{23} & \dots & W_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ W_{n1} & W_{n2} & W_{n3} & \dots & W_{nn} \end{pmatrix}$$

Matriz de Vizinhança W

onde n representa o número de locais (observações). A entrada na i -ésima linha e j -ésima coluna, denotado como W_{ij} , corresponde ao par (i, j) de localizações. Os elementos da matriz W_{ij} assume um valor diferente de zero quando as áreas (observações) i e j são considerados vizinhas, e zero caso contrário (DUNCAN, 2014).

As medidas e testes de autocorrelação espacial podem ser diferenciadas pelo alcance ou escala de análise. Geralmente distingue-se entre as medidas globais e locais. Global implica que todos os elementos na matriz W estão incluídas no cálculo da correlação espacial, produzindo um valor de autocorrelação espacial para qualquer matriz de pesos espaciais. E as medidas locais estão concentradas ou seja, avaliam a autocorrelação espacial associada com uma ou mais unidades de áreas particulares. Ambas indicam o grau de associação espacial do conjunto de dados.

O índice *I de Moran* calcula a autocorrelação espacial como uma covariância a partir do produto dos desvios em relação à média. Esse índice indica a magnitude da associação espacial presente no conjunto de dados com n localizações, tendo como hipótese nula a independência espacial, e a estatística *c de Geary* utiliza o quadrado dessas diferenças (FISCHER, 2011).

As duas medidas que tem estaremos utilizando para dados de área e variáveis em escala intervalar são o índice *I de Moran* e a Estatística *c de Geary*.

O Índice *I de Moran* varia em um intervalo de $(-1,1)$, onde -1 significa dispersão perfeita, 0 representa um comportamento aleatório e 1 significa associação perfeita. E na Estatística *c de Geary* varia em um intervalo de $(0,2)$ onde 0 significa associação perfeita, 1 representa um comportamento aleatório e 2 significa dispersão perfeita.

Ainda que essas medidas globais sejam muito úteis para fornecer uma indicação de agrupamento global dos dados, esta medida precisa ser complementada por estatísticas locais.

A estatística pode ser interpretada da seguinte forma: valores positivos de I_i significam que existe grupos espaciais com valores similares (alto ou baixo) da variável em estudo,

valores negativos significam que existem grupos espaciais com valores dissimilares da variável entre as áreas e seus vizinhos.

Média Móvel

Uma forma simples de explorar a variação da tendência espacial dos dados é calcular a média dos valores dos vizinhos. Isto reduz a variabilidade espacial, pois a operação tende a produzir uma superfície com menor flutuação que os dados originais. A média móvel $\hat{\mu}_i$ associada ao atributo z_i , relativo à i -ésima área, pode ser calculada a partir dos elementos W_{ij} da matriz normalizada de proximidade espacial de primeira ordem, isso é a soma dos pesos de cada linha seja igual a 1. Isto simplifica muitos cálculos de índices de autocorrelação espacial.

$$\hat{\mu}_i = \sum_{j=1}^n w_{ij}(y_j - \bar{y}) \quad (1)$$

Mapa de Espalhamento

Segundo Monteiro (2004) o diagrama de espalhamento de Moran é uma maneira adicional de visualizar a dependência espacial. Construído com base nos valores normalizados (valores de atributos subtraídos de sua média e divididos pelo desvio padrão), permite analisar comportamento da variabilidade espacial. Compara-se os valores normalizados do atributo numa área com a média dos seus vizinhos construindo um gráfico de Z (valores normalizados) por WZ (média dos vizinhos), que é dividido em quatro quadrantes. Os quadrantes podem ser interpretados como:

1. Q1: Primeiro quadrante (valores positivos, médias positivas) classificado como alto-alto (AA, + +).
2. Q2: Segundo quadrante (valores negativos, médias negativas) classificado como baixo-baixo (BB, - -).
3. Q3: Terceiro quadrante (valores positivos, médias negativas) classificado como alto-baixo (AB, + -).
4. Q4: Quarto quadrante (valores negativos, médias positivas) classificado como baixo-alto (BA, - +).

Os municípios localizados nos quadrantes Q1 e Q2 indicam pontos de associação espacial positiva, no sentido que um município possui vizinhos com valores semelhantes. E municípios localizados nos quadrantes Q3 e Q4 indicam pontos de associação espacial negativa, no sentido que um município possui vizinhos com valores distintos.

Box Map, Lisa Map e Moran Map

Os três tipos de gráficos são baseadas nos resultados obtidos para os indicadores locais e do gráfico de espalhamento de Moran. No box map, em nosso estudo cada município é classificado conforme sua posição em relação aos quadrantes do gráfico de espalhamento,

recebendo uma cor correspondente no mapa gerado. Na geração do LISA map, é avaliada a significância dos valores do índice de Moran Local obtido para cada município, em relação à hipótese de não existência de autocorrelação espacial (hipótese nula). Os objetos são classificados em quatro grupos: não significantes, com significância há 0,05, 0,01 e 0,001. No Moran map, de forma semelhante ao LISA map, somente os municípios para os quais os valores de LISA foram considerados significantes ($p > 0,05$), são destacados, porém, aparecem classificados em quatro grupos, conforme sua localização no quadrante do gráfico de espalhamento. Os demais municípios, ficam classificados como sem significância (NEVES et al., 2000).

Material

A Paraíba é uma das 27 unidades federativas do Brasil. Está situada a leste da região Nordeste e tem como limites o estado do Rio Grande do Norte ao norte, o oceano Atlântico, a leste, Pernambuco ao sul e o Ceará a oeste. Ocupa uma área de 56.467,239 km² e seu IDH em 2010 foi de 0,658. A população do Estado nas estimativas do IBGE (2018) foi de 3.996.496 milhões de habitantes.

Os Dados foram disponibilizados pela Anna Stella Cysneiros Pacha que é Chefe do Núcleo de Doenças Endêmicas- NDE/SES-PB, sendo que os dados disponíveis são do estado da Paraíba onde todos os indivíduos possuem tuberculose, foram utilizados apenas os anos 2015, 2016, 2017 e 2018, pois o mesmo é muito extenso para organizar para análise, por esse motivo foi selecionado apenas os 4 anos, em seguida foi organizado os dados por município e realizado o somatório dos anos os quais foram analisados.

Resultados e Discussões

Inicialmente elaborou-se quatro tabelas com os dados dos municípios com maior número de casos notificados por tuberculose, e em seguida foi realizado o somatório dos casos entre os anos 2015 à 2018, sendo assim, de acordo com a Tabela 1, 2, 3 e 4, pode-se observar que a Capital João Pessoa foi o município com mais casos notificados por tuberculose, e na tabela 5 temos os dados com o qual foi trabalhado, onde foi realizado o somatório dos anos.

O fato de que a transmissão é através do ar, do espirro, da tosse e da fala qualquer pessoa sadia pode ser contaminada por outra portadora da doença, e a capital tendo uma alta quantidade populacional é um dos motivos para a propagação. É importante ressaltar que as análises foram realizadas no software estatístico R (R CORE TEAM, 2019) e com todos os 223 municípios do estado da Paraíba.

Em seguida visualizou-se através do mapa dos quartis as frequências observadas dos casos notificados por tuberculose em todos os municípios do Estado da Paraíba. E observou-se na Figura 1 que em grande parte dos municípios houve casos notificados de tuberculose. Vale ressaltar que a mesorregião com maior casos notificados de tuberculose foi a Mata Paraibana e o Agreste Paraibano, considerando o mapa das mesorregiões do Estado da Paraíba, disponibilizado pela AESA (Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba)ⁱ.

ⁱAESA. 2016. Disponível em: <http://www,aesa,pb.gov.br/aesa-website/>.

Tabela 1: Casos de tuberculose em 2015

Municípios	Casos Notificados
João Pessoa	484
Campina Grande	134
Santa Rita	76
Bayeux	66
Guarabira	33
Cabedelo	32
Sousa	30
Cajazeiras	26
Patos	26
⋮	⋮

Tabela 2: Casos de tuberculose em 2016

Municípios	Casos Notificados
João Pessoa	498
Campina Grande	165
Bayeux	72
Santa Rita	72
Cajazeiras	45
Guarabira	36
Cabedelo	33
Patos	27
Sape	24
⋮	⋮

Tabela 3: Casos de tuberculose em 2017

Municípios	Casos Notificados
João Pessoa	481
Campina Grande	159
Santa Rita	83
Bayeux	68
Guarabira	35
Cabedelo	33
Patos	32
Sape	30
Sousa	26
⋮	⋮

Tabela 4: Casos de tuberculose em 2018

Municípios	Casos Notificados
João Pessoa	583
Campina Grande	197
Santa Rita	121
Bayeux	81
Patos	48
Sape	42
Guarabira	38
Cajazeiras	37
Cabedelo	28
⋮	⋮

Tabela 5: Municípios com maior número de casos notificados por tuberculose no Estado da Paraíba nos anos de 2015 à 2018.

Municípios	Casos Notificados
João Pessoa	2046
Campina Grande	655
Santa Rita	352
Bayeux	287
Guarabira	142
Cajazeiras	133
Patos	133
Cabedelo	126
Sapé	118
⋮	⋮

E podemos concluir também que a mediana dos casos notificados obteve o valor 6, ou seja a mediana é o valor que divide os dados ao meio sendo que 50% dos dados estão a baixo da mediana e 50% acima.

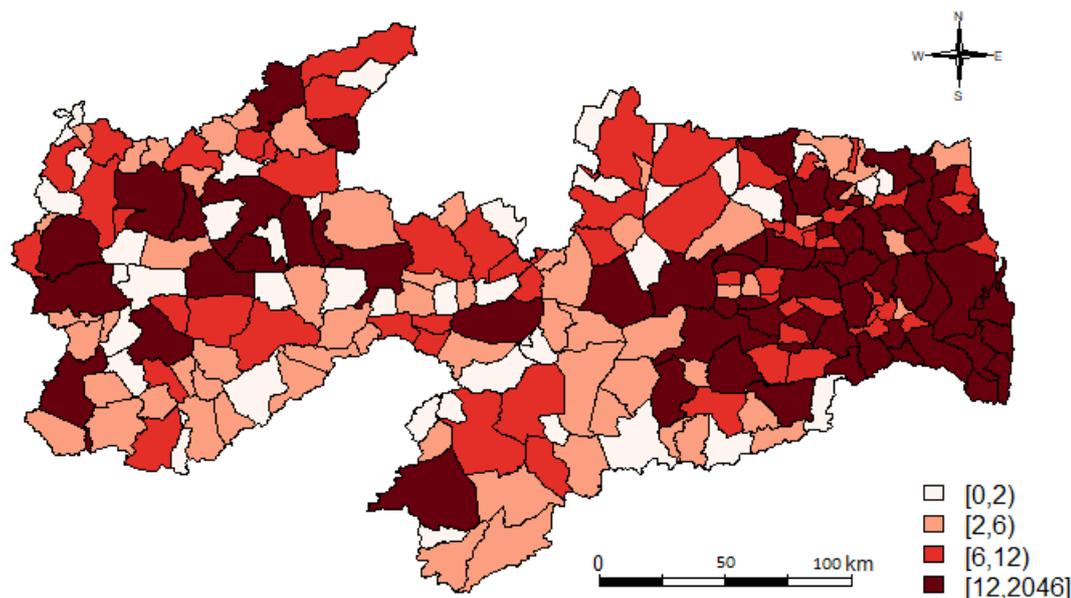


Figura 1: Mapa de quartis dos casos notificados nos municípios do Estado da Paraíba.

Em um estudo realizado no Estado do Rio de Janeiro para verificar as variáveis socioeconômicas relevantes para a ocorrência da tuberculose, utilizando a metodologia de dados de área. Foi constatada a autocorrelação espacial com Índice de Moran e LISA (MAGALHAES; MEDRONHO, 2017).

Em nosso estudo obtivemos o Índice de Moran significativo ao nível de 5%, revelando assim há existência de dependência espacial nos casos notificados por tuberculose nos municípios do Estado da Paraíba. Pode-se observar por meio da Tabela 6, a existência de autocorrelação espacial positiva ($p < 0,05$), esse fato corrobora para uma dependência na propagação da tuberculose entre os municípios do Estado da Paraíba.

Tabela 6: Tabela das estimativas do Índice de Moran e Estatística de Geary.

Estatísticas	Estimativa	Valor - p
Moran	0,1676	6,717e-15

Conforme apresentado na Tabela 6, sabe-se que existe uma autocorrelação espacial, mas como temos muitas áreas em estudo é preciso verificar o quanto essas áreas vizinhas são similares, para isso foi gerado o mapa do índice de Moran local (Figura 2). Os valores positivos de I_i representados pela tonalidade mais escura significa que existe *clusters* espaciais com valores similares, e valores negativos de I_i representados pela tonalidade mais clara significa que existe *clusters* espaciais dissimilares entre os municípios vizinhos. Observa-se que no mapa encontra-se as mesorregiões sendo a ordem da esquerda para a direita (Sertão Paraibano, Borborema, Agreste Paraibano, Mata Paraibana) há mais

tonalidades escuras nas seguintes mesorregiões paraibanas (Sertão e Borborema) do estado indicando valores similares de casos de tuberculose.

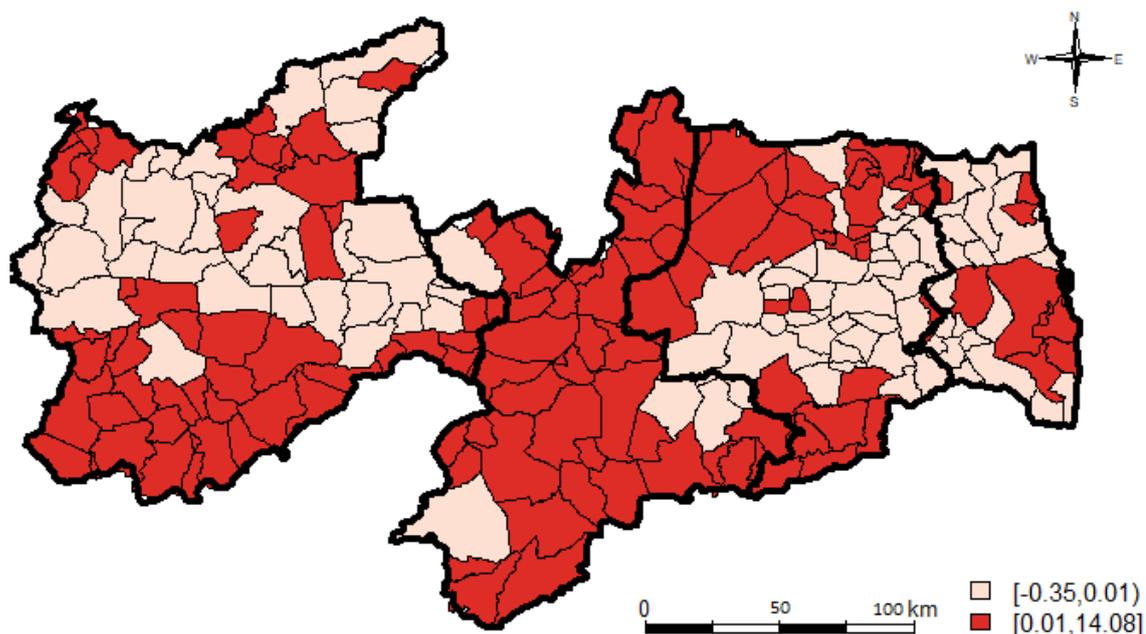


Figura 2: Índice de Moran Local da proporção de casos notificados por tuberculose no Estado da Paraíba.

Dando sequência as análises, observou-se por meio do gráfico de espalhamento de Moran (Figura 3) que municípios localizados no primeiro quadrante (Q1, parte superior a direita) e no segundo quadrante (Q2, parte inferior esquerda) apresentam autocorrelação espacial local positiva, ou seja esses municípios (João Pessoa, Cabedelo, Bayeux, Conde, Alhandra) formam cluster de valores similares, e são preocupantes pois tem alta proporção de casos notificados por tuberculose. A reta que corta o primeiro e segundo quadrante corresponde ao coeficiente angular da regressão simples, esse valor é igual ao Índice de Moran global.

Na geração do LISA map (Figura 4), a avaliação da significância é realizada comparando os valores de LISA obtido, com uma série de valores, obtidos por meio de permutações dos valores dos atributos dos vizinhos (número de permutações definida pelo usuário). Uma vez determinada a significância estatística do índice local de Moran, é muito útil gerar um mapa indicando as regiões que apresentam correlação local significativamente diferente do resto dos dados. Estas regiões podem ser vistas como bolsões de não estacionariedade, pois são áreas com dinâmica espacial própria e que merecem análise detalhada. Este mapa é chamado por Anselin (1995) de LISA Map (INPE, 2000), e os municípios que apresentam correlação local significativa ao nível de 0.1% estão representados na cor vermelha (MONTEIRO, 2004).

Um estudo realizado por Fusco et al. (2015) em um município no interior de São Paulo localizado na região Centro-Leste do Estado, tinha como objetivo caracterizar o perfil clínico epidemiológico da tuberculose (TB) e analisar a distribuição espacial dos casos em município paulista. O estudo evidenciou perfil epidemiológico dos casos de tuberculose semelhante ao da literatura, no entanto, a distribuição dos mesmos não ocorre de forma

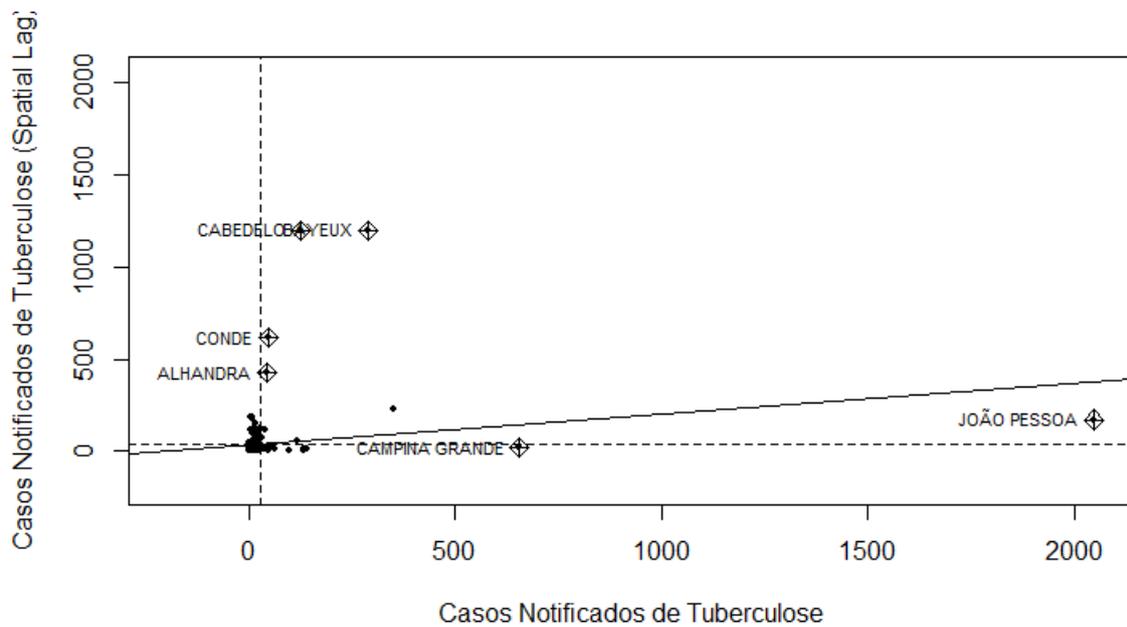


Figura 3: Espalhamento de Moran

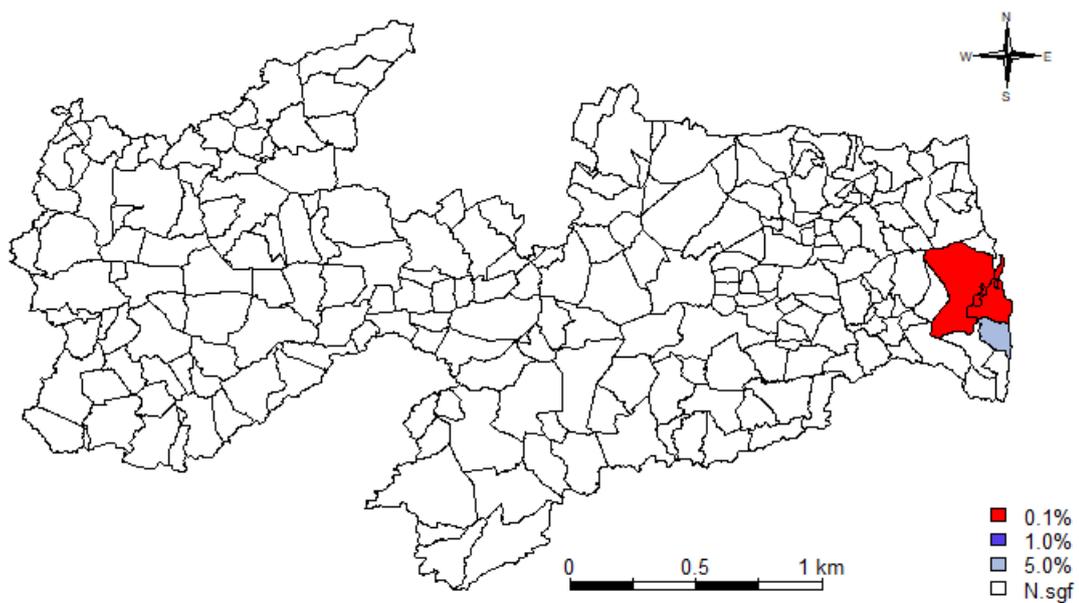


Figura 4: Lisa Map

aleatória, apontando grupos específicos da população que necessitam de maior gestão e planejamento dos serviços de saúde para o controle da tuberculose. O mesmo acontece nesse estudo, houve regiões que também necessitam de uma atenção um pouco maior para controle da tuberculose, em que pode-se observar nas Figuras 4 e 5 esse comportamento nos municípios João Pessoa, Bayeux, Conde, Santa Rita e Cabedelo (FIGURA 5).

Similar ao Lisa Map, o Moran Map (Figura 10) apresenta p-valores de cada município do índice de Moran local, diferenciando-se por apresentar os municípios que não foram significativos ao nível de 10%.

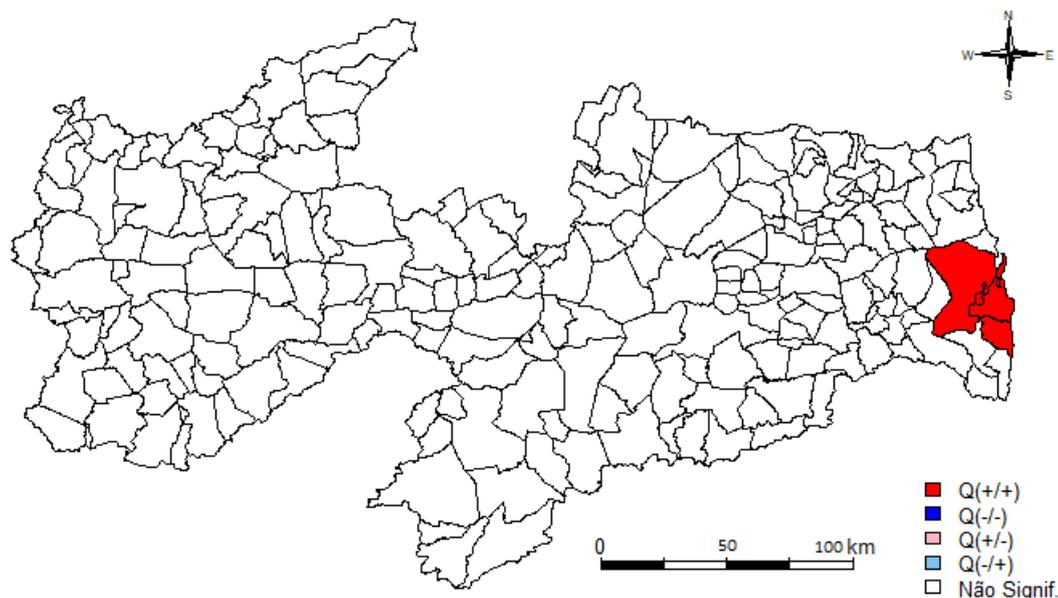


Figura 5: Moran Map

Conclusão

A análise espacial pode ampliar consideravelmente a capacidade de compreender os padrões espaciais associados a dados de área e diante do que foi proposto nos objetivos, foi encontrada uma autocorrelação espacial, indicando a dependência no acontecimento dos casos de Tuberculose nos municípios do Estado da Paraíba, e através dos mapas que foram gerados pode-se perceber que alguns municípios como (João Pessoa, Bayeux, Conde, Santa Rita e Cabedelo) são preocupantes pois tem alta proporção de casos notificados por tuberculose. Sendo de grande importância para os órgãos responsáveis do Estado da Paraíba, assim minimizando as chances de transmissão da doença para a população. Outro método estatístico importante são os modelos de regressão que serão aplicados em trabalhos futuros.

Referências Bibliográficas

BORGES, K. A. *Modelagem de dados geográficos*. Curso de Especialização em Geoprocessamento. Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, 2002.

COSTA, A. O. *Modelagem espacial no mapeamento de doenças transmitidas pelo aedes aegypti no estado da Paraíba*. 2017.

DUNCAN, D. T.; KAWACHI, I.; MELLY, S. J.; BLOSSOM, J.; SORENSEN, G.; WILLIAMS, D. R. Demographic disparities in the tobacco retail environment in boston: A citywide spatial analysis. *Public Health Reports*, Association of Schools of Public Health, v. 129, n. 2, p. 209, 2014.

FISCHER, M. M.; WANG, J. *Spatial data analysis: models, methods and techniques*. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2011. 91 p.

FUSCO, A. P. B. et al. *Distribuição espacial da tuberculose em um município do interior do estado de São Paulo entre 2008-2013*. Universidade Federal de São Carlos, 2015.

IBGE. 2018. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>.

MAGALHAES, M. A. F. M.; MEDRONHO, R. A. Análise espacial da Tuberculose no Rio de Janeiro no período de 2005 a 2008 e fatores socioeconômicos associados utilizando microdado e modelos de regressão espaciais globais. *Ciênc. saúde coletiva*, Rio de Janeiro , v. 22, n. 3, p. 831-840, Mar. 2017 . Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1413-81232017223.24132015>. Acesso em: 13 Apr. 2020.

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

NEVES, M. C.; RAMOS, F. R.; CAMARGO, E. C. G.; CAMARA, G.; MONTEIRO, A. M. *Análise exploratória espacial de dados sócio-econômicos de São Paulo*. 2000.

OLINDA, R. A. *Métodos para análise de independência entre marcas e pontos em processos pontuais marcados*. 2008. 76 p. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

WHO. Global hepatitis report 2017. [S.l.]: World Health Organization, 2017.

R CORE TEAM. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria, 2019. Disponível em: <http://www.R-project.org/>.

XAVIER-DA-SILVA, J. et al. *Curso de especialização em geoprocessamento*. 2000.