

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

PÉTERSON OLIVEIRA SILVEIRA

**EPIDEMIOLOGIA DA LEPTOSPIROSE HUMANA,
A PARTIR DE MODELOS DE ANÁLISE ESPACIAL, PORTO ALEGRE-RS**

PORTO ALEGRE

2022

CIP - Catalogação na Publicação

Oliveira Silveira, Péterson
EPIDEMIOLOGIA DA LEPTOSPIROSE HUMANA, A PARTIR DE
MODELOS DE ANÁLISE ESPACIAL, PORTO ALEGRE-RS /
Péterson Oliveira Silveira. -- 2022.
79 f.
Orientador: Laurindo Antonio Guasselli.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa
de Pós-Graduação em Geografia, Porto Alegre, BR-RS,
2022.

1. Leptospirose. 2. Análise Espacial. 3. AHP. 4.
Índice HDBSCAN. 5. Índice de Moran. I. Antonio
Guasselli, Laurindo, orient. II. Título.

PÉTERSON OLIVEIRA SILVEIRA

**EPIDEMIOLOGIA DA LEPTOSPIROSE HUMANA,
A PARTIR DE MODELOS DE ANÁLISE ESPACIAL, PORTO ALEGRE-RS**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Geografia pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. Laurindo Antonio Guasselli

PORTO ALEGRE

2022

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**EPIDEMIOLOGIA DA LEPTOSPIROSE HUMANA, A PARTIR DO USO DE
MODELOS DE ANÁLISE ESPACIAL, PORTO ALEGRE-RS.**

Péterson Oliveira Silveira

Aprovado em: ___/___/_____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Roger dos Santos Rosa
PPGCOL/UFRGS

Prof. Dr. Roberto Verdum
POSGEA/IGEO/UFRGS

Prof. Dr. Maurício Polidoro
IFRS

Dedico esse trabalho para minha vó, dona Maria Therezinha, e para minha mãe, dona Maria Rosane, sem vocês eu nunca teria conseguido nada desse sonho. Tudo isso só foi possível por causa de vocês !

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha vó, Maria Terezinha, e a minha mãe, Maria Rosane, que me deram todo suporte necessário para ingressar em uma universidade pública de excelência e de me manter nela durante todos esses anos de estudo. Vocês acreditaram em mim e nas minhas capacidades quando nem eu acreditava, irei lembrar disso para sempre. Sou uma pessoa muito privilegiada por ter o apoio de vocês.

Agradeço ao meu professor/orientador/chefe/psicólogo Dr. Laurindo Antonio Guasselli por esses anos de pesquisa e trabalho juntos. Nunca irei me esquecer daquele mês de janeiro, quando você deu para um aluno, até então perdido em seu curso, um *norte* e a oportunidade de correr atrás dos seus sonhos. Se sou hoje feliz com meu trabalho e pesquisa, isso se deve muito ao seu apoio.

Agradeço a Universidade Federal do Rio Grande do Sul, ao Instituto de Geociências e ao Departamento de Geografia, por toda a infraestrutura, auxílios financeiros e incentivos proporcionados, sem os quais não seriam possíveis a minha formação e a realização deste trabalho. Também ao Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia e todos seus funcionários e aos meus colegas de laboratório. O apoio de vocês foi fundamental para a minha formação acadêmica.

Vale lembrar também que não só a elaboração desse estudo como a excelente formação acadêmica do aluno que vos fala, foi somente possível graças ao apoio da CAPES, CNPq e PRAE-UFRGS, a partir das bolsas de incentivo à pesquisa e de permanência de aluno de baixa renda na universidade pública de QUALIDADE. A educação pública e de qualidade é um direito de todos, principalmente dos menos favorecidos. Eu como filho da UFRGS irei sempre defender a educação de excelência que as universidades públicas representam para nossa sociedade.

E por último, e longe de ser o menos importante, agradeço ao apoio das minhas gatinhas de estimação, Ravina e Dirce, pelas noites em claro juntos e por todo o conforto e aconchego nos momentos difíceis (e foram vários).

*“La primera condición para modificar la realidad
consiste en conocerla.”*

(Eduardo Galeano)

RESUMO

A leptospirose é uma doença do tipo infecciosa febril, transmitida por roedores através do contato direto/indireto com a urina. A principal forma de propagação ocorre a partir do acúmulo de lixo em aglomerados urbanos, inundações e alagamentos, e infraestruturas de saneamento precárias. A análise espacial da leptospirose ainda é restrita, poucos trabalhos abordam a relação espacial entre a doença e as populações mais vulneráveis. É uma doença negligenciada, de difícil detecção e com elevado número de subnotificações, e uma problemática de pesquisa desafiadora. Esse trabalho propõe caracterizar a dinâmica espacial da leptospirose humana, a partir de modelos de análise espacial, e correlacionar com a epidemiologia da doença em populações vulneráveis, no município de Porto Alegre, entre os anos de 2007 e 2019. Foram aplicados os métodos de análise espacial Análise de Agrupamentos (Índice HDBSCAN e Local Moran's I) e Análise Hierárquica de Processo (AHP). Foram utilizados dados do SINAN, entre 2007 e 2019. Para a álgebra de mapas foi utilizado o software ArcGIS Pro 2.9.1; e as ferramentas Density-based Clustering (para o Índice HDBSCAN), Cluster and Outlier Analysis (para o índice Local Moran's I) e WeightedOverlay (para o AHP). Os resultados mostram que o método HDBSCAN foi mais eficaz para identificar núcleos de diferentes tamanhos de contágio da doença, e o método Local Moran's I mais eficaz na análise em escala regional dos casos, em grandes áreas. O método AHP identificou que a classe predominante de vulnerabilidade a leptospirose no município de Porto Alegre é a "Média", seguida pela classe "Baixa" e "Alta". A classe alta foi identificada em regiões com ocorrência de registros de alagamentos e locais classificados como de aglomerados subnormais. A classe baixa foi identificada na região central da cidade, no eixo oeste-leste, local com maior densidade demográfica do município. Já a média atua em zonas de transição entre as demais classes. A modelagem espacial da epidemiologia da leptospirose permitiu identificar a concentração dos casos registrados, e identificar locais suscetíveis e populações vulneráveis ao contágio de leptospirose em Porto Alegre.

Palavras-chave: Leptospirose; Análise Espacial; AHP; Índice HDBSCAN; Índice de Moran.

ABSTRACT

Leptospirosis is a febrile infectious disease, transmitted by rodents through direct/indirect contact with urine. The main form of propagation occurs from the accumulation of garbage in urban agglomerations, floods and inundations, and precarious sanitation infrastructures. The spatial analysis of leptospirosis is still restricted, few studies address the spatial relationship between the disease and the most vulnerable populations. It is a neglected disease, difficult to detect and with a high number of underreporting, and a challenging research problem. This work proposes to characterize the spatial dynamics of human leptospirosis, based on spatial analysis models, and to correlate it with the epidemiology of the disease in vulnerable populations, in the city of Porto Alegre. The spatial analysis methods Cluster Analysis (HDBSCAN Index and Local Moran's I) and Hierarchical Process Analysis (AHP) were applied. Data from SINAN were used, between 2007 and 2019. ArcGIS Pro 2.9.1 software was used for map algebra; and the tools Density-based Clustering (for the HDBSCAN Index), Cluster and Outlier Analysis (for the Local Moran's I index) and WeightedOverlay (for the AHP). The results show that the HDBSCAN method was more effective in identifying nuclei of different sizes of contagion of the disease, and the Local Moran's I method was more effective in analyzing cases on a regional scale, in large areas. The AHP method identified that the predominant class of vulnerability to leptospirosis in the city of Porto Alegre is "Medium", followed by the "Low" and "High" classes. The upper class was identified in regions with records of flooding and places classified as subnormal agglomerates. The lower class was identified in the central region of the city, on the west-east axis, the place with the highest population density in the municipality. The average acts in transition zones between the other classes. Spatial modeling of the epidemiology of leptospirosis made it possible to identify the concentration of registered cases, and to identify susceptible locations and populations vulnerable to the transmission of leptospirosis in Porto Alegre.

Keywords: Leptospirosis; Spatial Analysis; AHP; HDBSCAN Index; Moran index.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Limite dos bairros de Porto Alegre.	19
Figura 2 - Formas de contágio da leptospirose.	21
Figura 3 - Médias mensais de internações por leptospirose e da precipitação pluviométrica, entre janeiro de 1993 e dezembro de 1996, cidade de Salvador – BA.....	23
Figura 4 - Distribuição espacial dos casos de leptospirose nos meses de outubro, novembro e dezembro de 2008 nos municípios estudados. Com destaque para o mês de dezembro.....	24
Figura 5 - Fluxograma de execução do AHP.	27
Figura 6 - Representação da hierarquia do AHP.....	28
Figura 7 - Mapa do nível de conservação da bacia do Rio Melchior - DF	29
Figura 8 - Resultado do agrupamento do tipo Moran para IDH.	30
Figura 9 - Agrupamentos microrregionais.	31
Figura 10 - Zonas de concentrações de municípios com similaridades para consórcios.	32
Figura 11 - Agrupamento dos casos de leptospirose na Tailândia entre os anos de 2013 e 2015.	32
Figura 12 - Fluxograma metodológico.....	33
Figura 13 - Fluxo metodológico.....	41
Figura 14 - Complemento Hqgis configurado para realizar a geocodificação dos casos de leptospirose.....	42
Figura 15 - Resultados do agrupamento do tipo HDBSCAN.	43
Figura 16 - Resultados do agrupamento do tipo Local Anselin Moran's I.....	43
Figura 17 - Espacialização dos casos de leptospirose, entre 2007 e 2012, Porto Alegre.....	45

Figura 18 - Espacialização dos casos de leptospirose, entre 2013 e 2018, Porto Alegre.....	46
Figura 19 - Espacialização dos casos de leptospirose, para 2019, Porto Alegre.....	47
Figura 20 - Gráfico de total de casos confirmados de leptospirose, entre 2007e 2019, Porto Alegre.	48
Figura 21 - Agrupamento de casos de leptospirose, método Local Moran's I, entre 2007e 2019, Porto Alegre.	49
Figura 22 - Agrupamento de casos de leptospirose, método HDBSCAN, entre 2007e 2019, Porto Alegre.	51
Figura 24 - Vulnerabilidade a leptospirose, a partir da Sobreposição ponderada pelo método AHP, município de Porto Alegre.	62
Figura 25 - Concentração de casos de leptospirose, entre 2007 e 2019, município de Porto Alegre.	64
Figura 26 - Gráfico com o total de casos registrados de leptospirose por bairro.	65
Figura 27 - Arco de contágio de leptospirose, município de Porto Alegre.	66

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1 - Matriz de comparação aos pares do AHP.	26
Tabela 2 - Ranque dos melhores locais para instalação de uma UPA, obtidos através do método AHP.	28
Tabela 3 - Total de casos registrados e corrigidos na geocodificação.	44
Quadro 4 - Bases de dados utilizadas no método AHP.	58
Tabela 5 – Ranking das variáveis utilizadas na matriz de comparação do AHP.	60

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.2 PROBLEMA DE PESQUISA	15
1.3 JUSTIFICATIVA	16
1.4 OBJETIVOS	17
<i>Objetivo Geral.....</i>	<i>17</i>
<i>Objetivos Específicos</i>	<i>17</i>
1.5 HIPÓTESE.....	17
1.6 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	18
2 REFERENCIAL TEÓRICO-METODOLÓGICO	20
2.1 EPIDEMIOLOGIA DA LEPTOSPIROSE	20
2.2 SIG APLICADO A SAÚDE	26
3 METODOLOGIA	33
3.1 ORGANIZAÇÃO DO BANCO DE DADOS	33
3.2 PROCESSAMENTO DOS DADOS.....	35
3.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS	35
4 RESULTADOS	37
4.1 ARTIGO 1	38
RESUMO	38
4.1.1 INTRODUÇÃO.....	40
4.1.2 METODOLOGIA	41
4.1.3 RESULTADOS	44
4.1.4 DISCUSSÃO.....	52
4.1.5 CONCLUSÕES.....	54
4.2 ARTIGO 2	55
RESUMO	55
4.2.1 INTRODUÇÃO.....	57
4.2.2 METODOLOGIA	58
4.2.3 RESULTADOS	62
4.2.4 DISCUSSÃO.....	67
4.2.5 CONCLUSÕES.....	69
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	70
REFERÊNCIAS.....	71

1 INTRODUÇÃO

Segundo o Guia de Vigilância em Saúde (BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. SECRETARIA DE VIGILÂNCIA EM SAÚDE, 2014), a leptospirose é uma doença do tipo infecciosa febril, de início abrupto em alguns casos, podendo o aspecto clínico da pessoa infectada variar de inaparente até sintomas mais graves no evoluir da doença. É, principalmente, transmitida por roedores através do contato direto/indireto com a urina. O modo de propagação da doença ocorre a partir do acúmulo de lixo em aglomerados urbanos (FIGUEIREDO *et al.*, 2005), inundações e alagamentos (GUTIÉRREZ *et al.*, 2019; OLIVEIRA; ARSKY; CALDAS, 2013; VANASCO *et al.*, 2008), e redes de saneamento precárias (SOARES *et al.*, 2010).

Mundialmente, a leptospirose causa cerca de 59 mil mortes por ano (COSTA *et al.*, 2015). No Brasil, a média anual foi de 3.846 casos confirmados entre os anos de 2007 e 2017, em sua maioria nas regiões sul e sudeste (MARTELI *et al.*, 2020). Segundo Costa *et al.* (2015), os dados oficiais de leptospirose são subestimados em boa parte do mundo, e não correspondendo a dinâmica real da doença na maior parte dos países afetados. Os estudos epidemiológicos sobre leptospirose (COSTA *et al.*, 2005; SOARES *et al.*, 2014) descrevem-na como uma doença de países em desenvolvimento, devido a suas características de transmissão e contágio.

No Brasil o quadro não é diferente, a doença incide principalmente em populações vulneráveis (COSTA *et al.*, 2001). Grupos sociais de baixa renda, com poucos anos de escolaridade, empregos insalubres, em situação de informalidade, residentes nas margens de cursos d'água em áreas inundáveis, ou alagáveis onde o sistema de drenagem pluvial é precário e/ou insuficiente nos meses de maior volume concentrado de precipitação, em áreas com acúmulo de lixo onde a coleta seletiva é ineficiente e a própria população tem o hábito de jogar lixo em terrenos abandonados, estruturas de moradia precárias onde facilmente roedores e a água podem entrar.

Devido a essa dinâmica e as características da população afetada, estudos evidenciam a constante negligência em relação a essa doença (MANUEL, 2017), que não é somente por parte do estado e dos agentes de saúde pública, como também da indústria farmacêutica que não viabiliza novos remédios e formas de diagnosticar a doença.

As inundações (BARCELLOS *et al.*, 2003; SILVA, 2013; SOARES *et al.*, 2010; TUCCI; BERTONI, 2003), estão entre as variáveis ambientais de maior destaque no Brasil, principalmente nas regiões sul e sudeste. Esses eventos atingem diretamente as populações mais vulneráveis, e são as principais formas de propagação da doença no espaço. Espacializar o alcance e determinar a frequência desses eventos, junto da análise da exposição das populações residentes nas áreas suscetíveis, pode servir para melhorar a gestão e a compreensão do espaço, dando suporte a tomada de decisões que envolvem a saúde coletiva.

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), podem se destacar na área da saúde como uma importante ferramenta na inferência espacial de doenças infecciosas (DOZSA; DEL MONEGO; KUMMER, 2016; FIGUEIREDO *et al.*, 2001; GUTIÉRREZ *et al.*, 2019; LONDE *et al.*, 2016; SANTOS, Leonardo Bacelar Lima *et al.*, 2012). O mapeamento das áreas suscetíveis e das populações em exposição ao contágio de leptospirose, pode ser realizado a partir de treinamento de modelos estatísticos, que analisem o comportamento e a distribuição espacial das variáveis relacionadas ao processo de contágio da doença, como a temporal. E podem servir como ferramentas para a organização e gestão do espaço, a partir de programas de estratégia em saúde pública, prevenção e planejamento (CÂMARA *et al.*, 1996).

Diferentes variáveis analisadas no processo epidemiológico da leptospirose por diversos autores (BARCELLOS *et al.*, 2003; GONÇALVES *et al.*, 2016; KINGSCOTE, 1970; OLIVEIRA *et al.*, 2014; OLIVEIRA; ARSKY; CALDAS, 2013), possibilitam investigar essas relações entre as variáveis e a exposição ao contágio, a partir do uso de modelos de análise espacial.

Assim, esse trabalho se propõe a investigar a dinâmica espacial da leptospirose humana a partir do uso de modelos de análise espacial, da correlação com a epidemiologia dos casos registrados da doença em populações vulneráveis, no município de Porto Alegre. Parte do pressuposto que, a partir da relação entre a modelagem espacial da epidemiologia da doença e a análise da concentração pontual dos casos registrados, é possível determinar áreas mais suscetíveis e populações mais expostas ao contágio de leptospirose.

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

A problemática envolvendo os estudos sobre a leptospirose pode ser dividida em 3 (três) momentos, conforme bibliografia consultada, são eles: o elevado número de subnotificações (DA SILVA; BOING, 2007); a dificuldade em estabelecer relações diretas de causa e efeito da doença a partir dos fatores associados ao processo de contágio (OLIVEIRA, 2013); e a negligência do poder público e privado com a doença (MANUEL, 2017).

Da Silva e Boing (2007), analisaram os registros do sistema de amostras para leptospirose no ano de 2007, e relacionaram com o registro de notificações da doença no SINAN para o mesmo ano, constataram 24,38% de subnotificações. Ou seja, os casos confirmados no laboratório de análise para leptospirose não eram notificados no sistema do SINAN pelas unidades de saúde. O estudo verificou que essas subnotificações em sua maioria vieram das redes privadas de saúde.

Mesmo a leptospirose ter letalidade de até 40% nos casos mais graves (BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. SECRETARIA DE VIGILÂNCIA EM SAÚDE, 2014), municípios com poucos casos tendem a não notificar, e os que tem muitos casos notificam parcialmente (DA SILVA; BOING, 2007). Isso vai de encontro com Manuel (2017), que analisou a negligência da saúde com a leptospirose no Brasil, e destacou que mesmo sendo a zoonose de maior incidência global, ainda é caracterizada pela falta de dados fidedignos e subestimados no país.

Oliveira (2013) analisou os fatores relacionados ao contágio da leptospirose, e constatou que o saneamento é a variável que mais contribuiu para o aumento dos casos. Levando em consideração que são as populações de baixa renda e marginalizadas que não dispõem de condições básicas de saneamento e água tratada, se tornam os grupos mais vulneráveis ao contágio da doença.

Tratando-se de uma doença de difícil detecção, com elevado número de subnotificações e, também negligenciada; se torna uma problemática de pesquisa desafiadora elaborar estudos que possam avaliar diferentes formas de mapear áreas de possível exposição à doença de populações vulneráveis ao contágio.

1.3 JUSTIFICATIVA

Uma forma de mapear doenças com elevado número de subnotificações como a leptospirose, é delimitar as áreas de exposição ao contágio a partir do cruzamento de variáveis relacionadas a sua dispersão no espaço. Segundo CEPED (2016), o termo exposição está relacionado ao quanto uma cidade ou população, em uma área suscetível, está exposta a sofrer com um determinado evento quando este ocorrer. A partir da compreensão do comportamento das variáveis relacionadas ao processo de contágio da leptospirose é possível gerar mapas de exposição com destaque para as populações mais expostas ao contágio durante a ocorrência de eventos de inundação e/ou alagamento.

São necessários estudos que não só analisem a doença do ponto de vista clínico, mas que também busquem aprofundar os conhecimentos epidemiológicos sobre sua forma de propagação no espaço. A modelagem espacial pode contribuir para esse conhecimento, a partir da geração de modelos que utilizem as variáveis relacionadas ao processo de contágio. Como resultado, é possível gerar mapas em escala de detalhe de áreas onde o potencial de propagação da doença é maior. Então, assim é possível estimar os locais de possíveis novos surtos e auxiliar na elaboração de estratégias em saúde coletiva para atuação de agentes de saúde tanto locais, nos postos de saúde, quanto regionais que atuam nas secretarias de vigilância em saúde.

Entretanto, a análise da leptospirose do ponto de vista espacial ainda é restrita (GUTIÉRREZ *et al.*, 2019; OLIVEIRA *et al.*, 2017), poucos estudos abordam a sua relação espacial com as populações mais vulneráveis. Os estudos abordam, em sua grande maioria, a análise de dados clínicos (SARKAR *et al.*, 2012; SOARES *et al.*, 2017), onde são avaliados pequenos grupos de infectados em uma unidade de saúde, em um curto período de tempo. De forma geral, partem da análise de prontuários e da evolução da doença, como variáveis condicionantes ao processo de contágio do paciente.

Métodos de análise estatística, como como a *Analytic Hierarchy Process* - AHP (SAATY, 1977) e a análise de agrupamentos (ANSELIN, 1995; ESRI, 2021), podem ser utilizados para mapear áreas de exposição a leptospirose e na tomada de decisões em diversas áreas de pesquisa (COSTA *et al.*, 2015; MACIEL *et al.*, 2015; MADRUGA DE BRITO *et al.*, 2018; MEDEIROS *et al.*, 2014).

1.4 OBJETIVOS

Objetivo Geral

Caracterizar a dinâmica espacial da leptospirose humana, a partir de modelos de análise espacial, e correlacionar com a epidemiologia da doença em populações vulneráveis, no município de Porto Alegre - RS.

Objetivos Específicos

- Analisar a concentração pontual de casos confirmados de leptospirose, a partir dos métodos de agrupamento HDBSCAN e Moran's I;
- Determinar as áreas de exposição a leptospirose a partir da ocorrência da epidemiologia da doença em populações vulneráveis a partir do método AHP;
- Relacionar a modelagem das áreas de exposição a leptospirose com o resultado dos métodos de agrupamento dos casos confirmados da doença.

1.5 HIPÓTESE

A hipótese do trabalho é de que a partir da relação entre a modelagem espacial da epidemiologia da doença e a análise da concentração pontual de casos registrados, é possível determinar áreas mais suscetíveis e populações mais expostas e vulneráveis ao contágio de leptospirose.

1.6 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Como estudo de caso foi adotado o município de Porto Alegre, no estado do Rio Grande do Sul. Segundo dados do IBGE Cidades (IBGE, 2020), Porto Alegre tem uma população estimada de 1.483.771 pessoas, com uma densidade de 2.837,53 hab/km². Possui em torno de 201 estabelecimentos de saúde conveniados ao SUS, sendo 31 deles hospitais.

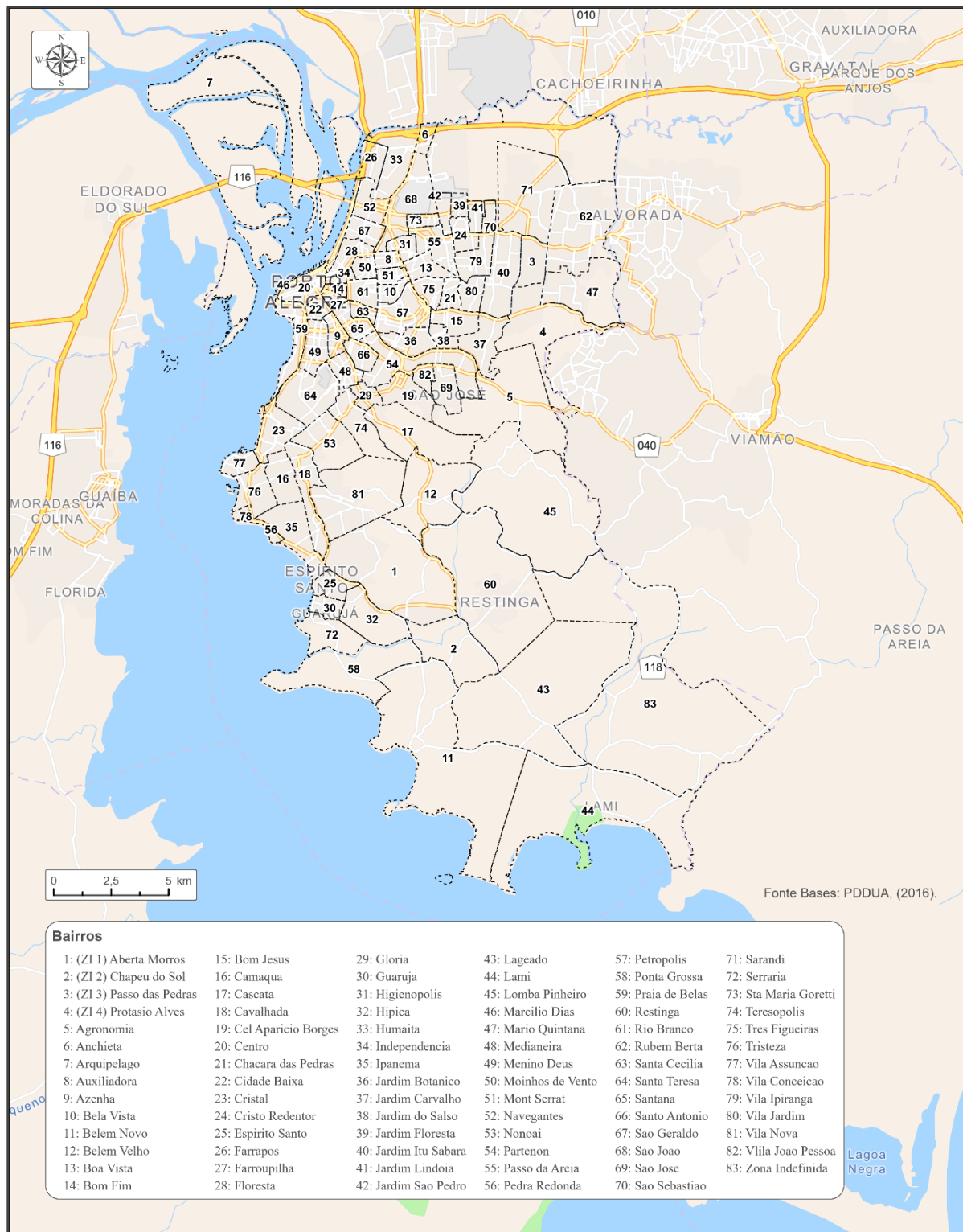
A renda média mensal dos trabalhadores formais gira em torno de 4,1 salários-mínimos, de um total de aproximadamente 795.011 pessoas ocupadas (53,5%). Possui uma população com rendimento nominal mensal per capita de até ½ salários-mínimos de 25,6%. Segundo dados do Observa POA (2015), o município tem cinco regiões do orçamento participativo com IDH abaixo da média nacional, sendo elas: Nordeste, Ilhas, Lomba do Pinheiro, Restinga e Extremo Sul.

Segundo Basso; Righi (2015), a taxa de leptospirose para Porto Alegre entre os anos de 2007 e 2011 foi de: 3,9/ 3,5/ 3,1/ 3,3/ e 2,5 respectivamente. Os bairros mais afetados pela doença são os que possuem o menor IDH, com destaque para as Ilhas (noroeste da Figura 1), Nordeste e Lomba do Pinheiro. Graosque (2015), identificou manchas de alagamento na região norte do município a partir do uso de manchas faladas, metodologia elaborada a partir do relato de moradores e cruzamento com informações divulgadas por meio digital. Essas áreas alagadiças coincidem com as regiões de menor IDH e com maior concentração de casos de leptospirose.

Os boletins epidemiológicos divulgados pela Coordenadoria Geral de Vigilância em Saúde de Porto Alegre (outubro/1996; agosto/2000; fevereiro/2001; maio/2001-2002; maio/2004 e agosto/2008), tratam das formas de combate e identificação da doença, e relacionam os surtos de leptospirose no município a ocorrência de inundações e alagamentos. Esses documentos citam a dificuldade dos agentes de saúde em suspeitar dos casos de leptospirose, ainda mais nos casos em que são fracos os sintomas da doença.

A Figura 1 mostra a localização do município de Porto Alegre e a divisão de bairros.

Figura 1 - Limite dos bairros de Porto Alegre.



Fonte: Elaborado pelo autor.

2 REFERENCIAL TEÓRICO-METODOLÓGICO

O referencial teórico está estruturado em dois momentos, que tratam de conceitos-chave para a compreensão da temática de pesquisa. O primeiro é sobre a epidemiologia da leptospirose, considerada uma das principais doenças de veiculação hídrica no mundo. Nesse momento são abordados estudos que discorrem sobre as formas de transmissão da doença e as variáveis relacionadas ao processo de contágio, com foco em uma abordagem espacial da doença. O segundo aborda não somente as potencialidades do uso do SIG, mas também a aplicação na área da saúde como ferramentas de gestão e análise dos processos de saúde-doença das populações vulneráveis com o uso da modelagem espacial para gestão em saúde.

2.1 EPIDEMIOLOGIA DA LEPTOSPIROSE

A leptospirose é uma doença aguda e endêmica em grande parte do mundo, transmitida por bactérias do gênero *Leptospira*, e apresenta duas espécies: *L. interrogans*, patogênica, e *L. biflexa*, de vida livre. Os principais reservatórios são os roedores sinantrópicos (domésticos), das espécies *Rattus norvegicus*, *Rattus rattus* e *Mus musculus*, que ao se infectarem, não desenvolvem a doença, são apenas portadores. A *leptospira* se fixa nos rins desses animais e é eliminada viva no ambiente por meio da urina, contaminando água, solo e alimentos. O *Rattus norvegicus* (rato de esgoto) é o principal portador da *Leptospira icterohaemorrhagiae*, uma das mais patogênicas para o homem no meio urbano (BARCELLOS *et al.*, 2003; SILVA, 2013).

O agente etiológico é a bactéria helicoidal (espiroqueta) aeróbica do gênero *Leptospira*, onde existem cerca de 14 espécies conhecidas atualmente, sendo a *L.interrogans* a de maior destaque. A unidade taxonômica básica é o sorovar (sorotipo¹), havendo mais de 200 sorovares já identificados, que embora cada um deles possua uma espécie animal de sua preferência, um mesmo animal pode hospedar um ou mais sorovares (BARCELLOS *et al.*, 2003).

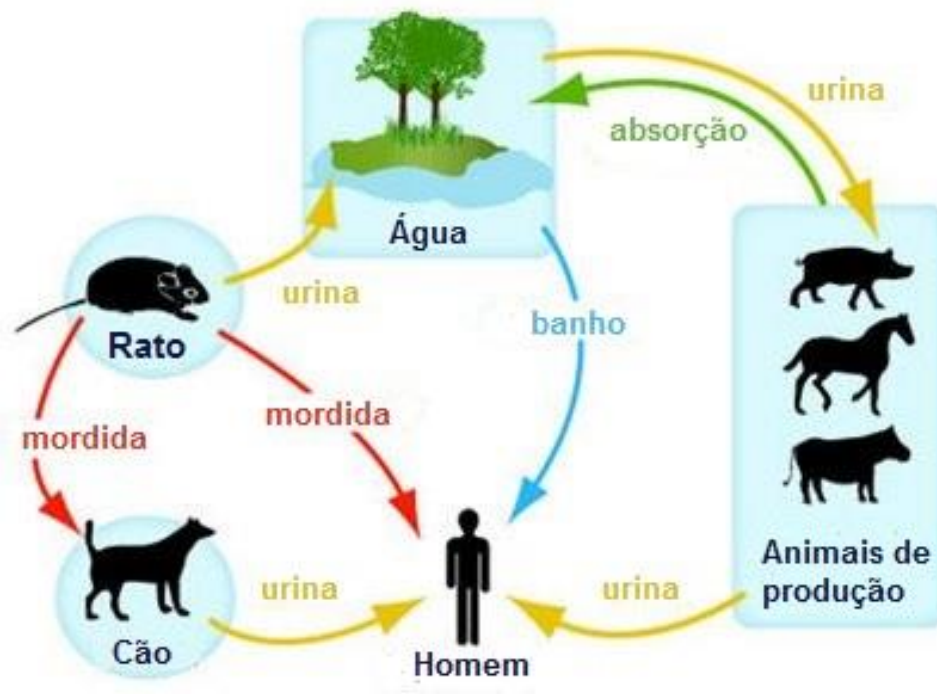
Em animais, cães e gado são os principais reservatórios de *L. canicola* e *L. hardjo*, dominantes no meio rural. Os animais portadores da leptospirose podem ser divididos em 3

¹ Em microbiologia, um sorotipo diz respeito a um grupo de micro-organismos relacionados, que se distinguem por terem respostas diferentes quando em contato com determinados anticorpos. Ou seja, no caso da leptospirose, uma doença bacteriana, ela possui mais de 200 variações (sorovares) identificados.

categorias: portadores em incubação, que num período de 2 a 19 dias não eliminam o agente infeccioso; portadores convalescentes, que eliminam o agente ao longo de semanas ou meses; portadores saudáveis, que apresentam leptospirose sem nenhum sinal clínico da doença (BROD; FEHLBERG, 1992).

Dentre os grupos de animais abarcados pelas pesquisas disponíveis, majoritariamente são investigados bovinos, ovinos e suínos, e visam determinar a porcentagem de contágio a leptospirose e verificar quais sorovares são encontrados em amostras de sangue (BROD; FEHLBERG, 1992; HASHIMOTO *et al.*, 2010; MIASHIRO *et al.*, 2018). O monitoramento em animais é feito rigorosamente pelos criadores de animais de produção, pois o contágio da doença afeta a reprodução em alguns animais. O ciclo de transmissão da leptospirose pode ser observado na Figura 2:

Figura 2 - Formas de contágio da leptospirose.



Fonte: Saúde Business 365 (2020).

Bezerra et al. (1993), ao estudarem os casos de 77 pacientes diagnosticados com leptospirose confirmada laboratorialmente, constataram que os sintomas súbitos em 89,61% dos pacientes foram: febre, cefaleia², calafrios e mialgias³. Destacando o exame neurológico realizado em todos os pacientes, com o resultado anormal em 90,91%. Os autores concluem que o exame neurológico se mostrou de grande ajuda como determinante do comportamento do sistema neurológico na evolução da doença no paciente. Também ressaltam que o exame de leptospirose deverá ser sempre lembrado quando os seguintes sintomas forem constatados: sintomas neurológicos, principalmente cefaleia intensa e alteração dos níveis de consciência ou comportamentais que ocorram de forma súbita, em pacientes com quadro febril e mialgias.

Cruz; Andrade; Pereira (1994), revisaram 18 exames sorológicos realizados em pacientes com idade entre 0 e 12 anos no Laboratório de Referência Nacional para Leptospirose (FIOCRUZ-RJ) entre 1983 e 1991. Os seguintes sintomas foram identificados nos pacientes: febre (100%); mialgias (69,5%); cefaleia (52,1%); icterícia⁴ (47,8%); vômitos (34,8%); dores abdominais, manifestações hemorrágicas e disfunção renal (17,4%); conjuntivite (13%); hepatomegalia⁵ (4,3%). Os autores ressaltam como diferencial cinco pacientes que mostraram sintomas diferentes dos casos de contágio da doença que ocorrem com adultos, diferente da literatura que considerava os mesmos sintomas para os dois grupos. Essas crianças apresentaram lesões biopsiadas resultantes de vasculite acometendo a circulação arterial e venosa.

Costa *et al.* (2001), estudaram as formas graves de manifestação dos sintomas da leptospirose em 1.016 pacientes internados, no período entre 1993 e 1997. A primeira análise realizada pelos autores relacionou o auge das internações com períodos de maior precipitação pluviométrica, conforme Figura 3.

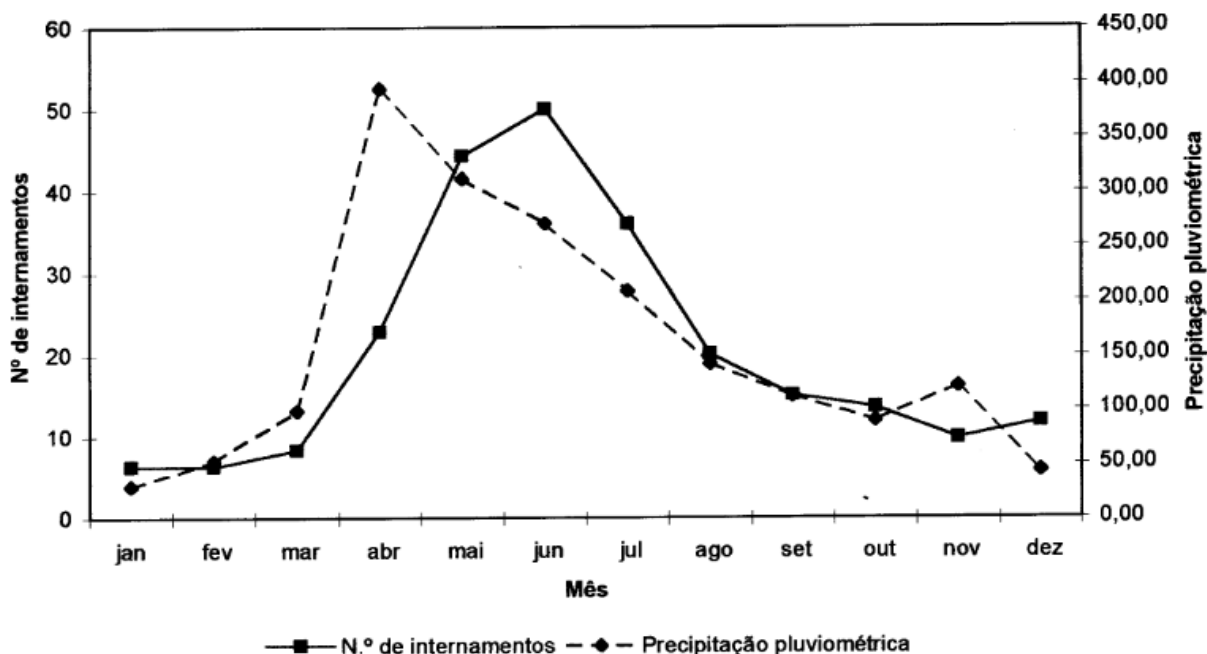
² Dor excessiva na cabeça.

³ Dor muscular, normalmente causada por tensão ou traumatismo.

⁴ Presença de uma cor amarela na pele, nas membranas mucosas ou nos olhos.

⁵ Aumento do volume do fígado.

Figura 3 - Médias mensais de internações por leptospirose e da precipitação pluviométrica, entre janeiro de 1993 e dezembro de 1996, cidade de Salvador – BA.



Fonte: Adaptado de Costa et al. (2001).

A Figura 3 condiz com o declarado na literatura sobre o período de incubação da doença variar entre 20 e 40 dias na maior parte dos casos (COSTA *et al.*, 2001). Sobre os sintomas hemorrágicos que se manifestaram nos pacientes mais graves, destacam: no sistema digestivo 38/1.016 (3,7%); respiratória 84/1.016 (8,3%); digestiva e respiratória associadas: 10/1.016 (1,0%); outras formas 10/1.016 (1,0%); digestiva mais outras 2/1.016 (0,2%); respiratória mais outras formas 1/1.016 (0,1%). Dispneia⁶ foi constatada em 86/1.016 (8,5%) dos casos. Como esperado, o aumento da temperatura corporal foi observado em 360/802 (44,9%) dos casos no momento da internação hospitalar, com média igual a 37,2° e desvio de 0,9°. A principal causa de óbitos entre os participantes do estudo foi de hemorragia digestiva 14/143 (9,8%). A partir disso, os autores ressaltam que a hemorragia é frequente em diagnósticos de leptospirose, e é relacionada como a principal causa de morte pela doença.

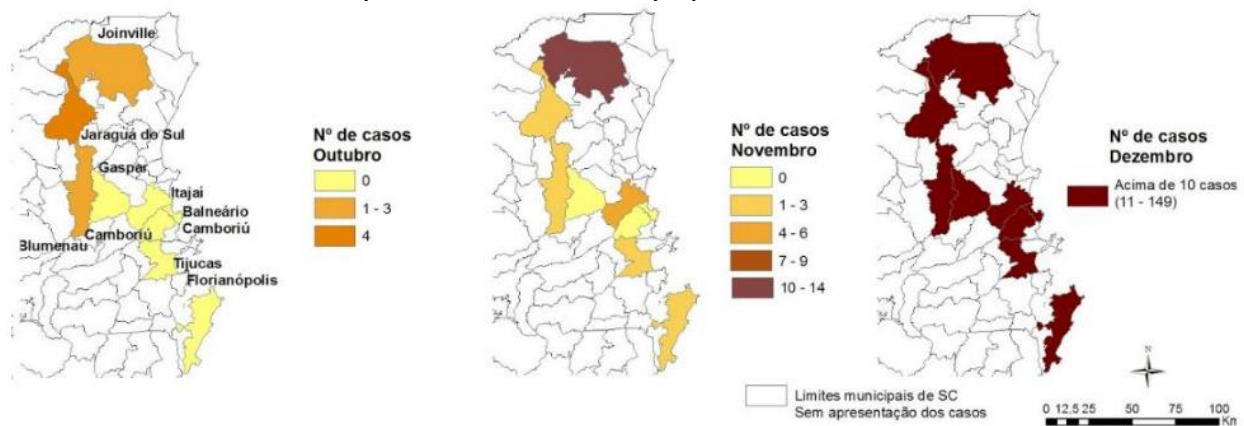
⁶ Sintoma que se manifesta pela dificuldade ou desconforto em respirar.

Souza et al. (2007) ao descreverem os aspectos clínicos de 18 pacientes atendidos entre 2002 e 2007, no Centro de Referência da Dengue-Diagnóstico e Tratamento (CRD/DT), constataram os seguintes sintomas mais comumente encontrados: febre 18/18 (100%), mialgia 17/18 (94,4%) e cefaleia 16/18 (88,8%). Os pesquisadores destacam que tanto a dengue quanto a leptospirose possuem sintomas muito parecidos, ainda mais no estágio inicial. Por isso os autores concluem que, o profissional da saúde deve estar bem-preparado para saber realizar e separar o diagnóstico dessas duas patologias.

A consulta a literatura que descreve as variáveis relacionadas ao processo de contágio a leptospirose, evidencia as seguintes relações: Inundações (SANTOS, L. *et al.*, 2012; SOARES *et al.*, 2010), saneamento (MANUEL, 2017; MESQUITA *et al.*, 2016) e uso e ocupação do solo (BALASSIANO *et al.*, 2011; PELISSARI *et al.*, 2011; SOARES *et al.*, 2014).

Segundo Santos et al. (2012), ao monitorar áreas de risco hidrológico, agregado ao conhecimento da ameaça e da vulnerabilidade a leptospirose, é possível acompanhar e reconhecer áreas suscetíveis a ocorrência de surtos da doença. Os fatores levados em consideração pelos autores para o monitoramento foram: abastecimento de água; esgotamento sanitário; coleta de resíduos sólidos; precipitação; e eventos de inundação e alagamento. A partir disso, conseguiram identificar um surto da doença relacionado a um evento de forte precipitação e inundação, conforme Figura 4.

Figura 4 - Distribuição espacial dos casos de leptospirose nos meses de outubro, novembro e dezembro de 2008 nos municípios estudados. Com destaque para o mês de dezembro.



Fonte: Santos et al. (2012).

Soares *et al.* (2010), analisaram a distribuição espacial e sazonal da leptospirose e de componentes ecológicos e sociais para a sua transmissão, a partir da análise de agrupamento do tipo Índice de Moran. Os resultados confirmaram o observado na literatura, ou seja, que o contágio a leptospirose está relacionado diretamente a fatores socioeconômicos e ambientais da população, no caso investigado pelos autores, a concentração de casos ocorria nas áreas periféricas da cidade.

Manuel (2017) analisou os fatores relacionados a negligência das notificações da leptospirose no Brasil e as dificuldades do diagnóstico preciso. Entre os fatores considerados, como exames adequados e o uso de novas tecnologias, caracteriza a leptospirose em áreas urbanas como uma doença relacionada a falta de condições de saneamento e urbanização desenfreada sem planejamento adequado. Sendo uma doença que atinge a parte da população mais vulnerável.

Mesquita *et al.* (2016), realizaram análises sanguíneas para soropositividade a leptospirose canina em uma comunidade reassentada, e constataram que o principal problema relacionado ao contágio dos animais naquela comunidade era a falta de saneamento básico. Esse estudo foi elaborado a partir da aplicação de um questionário na comunidade, com um material ilustrativo sobre as formas de contaminação da doença e como os animais domésticos podem passar a leptospirose aos seus responsáveis.

Balassiano *et al.* (2011), analisaram o elevado número de casos registrados em agricultores, e comprovaram o desfecho da doença a partir da relação de todos os pacientes ao cultivo de arroz e a presença de ratos nessas lavouras. Dependendo das características territoriais, o modo de uso e ocupação urbana pode vir a provocar situações que podem ser destrutivas ao colocar populações, construções e o próprio ambiente em risco.

2.2 SIG APLICADO A SAÚDE

Para responder aos objetivos e testar a hipótese proposta, serão aplicados 2 principais métodos de análise espacial, são eles: AHP (BRIOZO; MUNETTI, 2015; GOMES; BIAS, 2018; SAATY, 1977; SAATY; NIEMIRA, 2006), e Análise por agrupamento (ANSELIN, 1995; CHAEBO *et al.*, [s. d.]; ESRI, 2021; LOPES; TOYOSHIMA; GOMES, 2008; LUENAM; PUTTANAPONG, 2019; MACEDO, 2019; MCINNES; HEALY; ASTELS, 2017; MELVIN *et al.*, 2018).

Saaty; Niemira (2006), ao debaterem a metodologia do AHP, avaliam que um dos problemas na abordagem do método, por outros autores, é a determinação de uma estrutura coerente para escolher as variáveis a serem utilizadas. É necessário saber estabelecer uma estrutura que viabilize a escolha das variáveis de entrada do modelo, a partir das importâncias relativas atribuídas a essas variáveis. Conforme Tabela 1, o método calcula os pesos conforme o valor de importância atribuído a cada variável.

Tabela 1 - Matriz de comparação aos pares do AHP.

Variáveis	Idade	Renda	Perfil de Consumo	Pesos
Idade	1/1	1/2	3/1	0,320
Renda	2/1	1/1	4/1	0,558
Perfil de Consumo	1/3	1/4	1/1	0,122

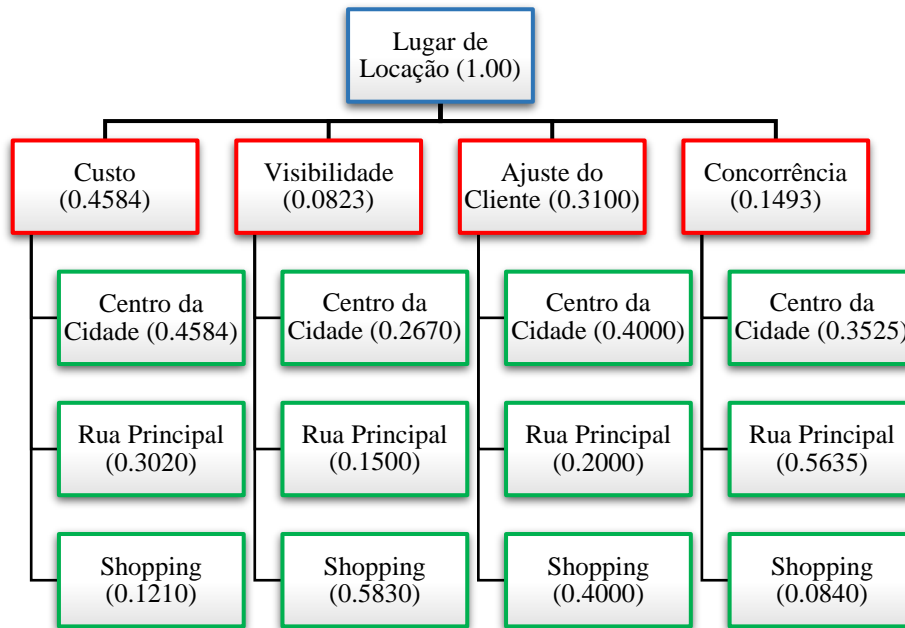
Importância: 1 (Igual), 3 (Moderada), 5 (Forte), 7 (Muito Forte) e 9 (Extrema)

Fonte: Adaptado de Saaty; Niemira (2006).

Saaty; Niemira (2006), ainda argumentam que após a decisão de quais as variáveis a serem utilizadas, o AHP deve ser estruturado como uma hierarquia, em que o processo de priorização irá determinar a importância de cada variável em relação a tomada de decisão final. Ou seja, deve se provocar julgamentos em resposta a perguntas sobre domínio de uma variável sobre a outra, comparando-as com um critério ou propriedade específica.

Após o julgamento, na execução do AHP são distribuídos pesos relativos à influência (Figura 5) de cada variável (em vermelho) para alcançar o resultado pretendido (em azul). Para cada uma dessas variáveis, também serão atribuídos pesos as suas classes (em verde), separadas conforme o comportamento da variável como, por exemplo, o fluxograma a seguir elaborado para a tomada de decisão do melhor local para instalação de um varejista.

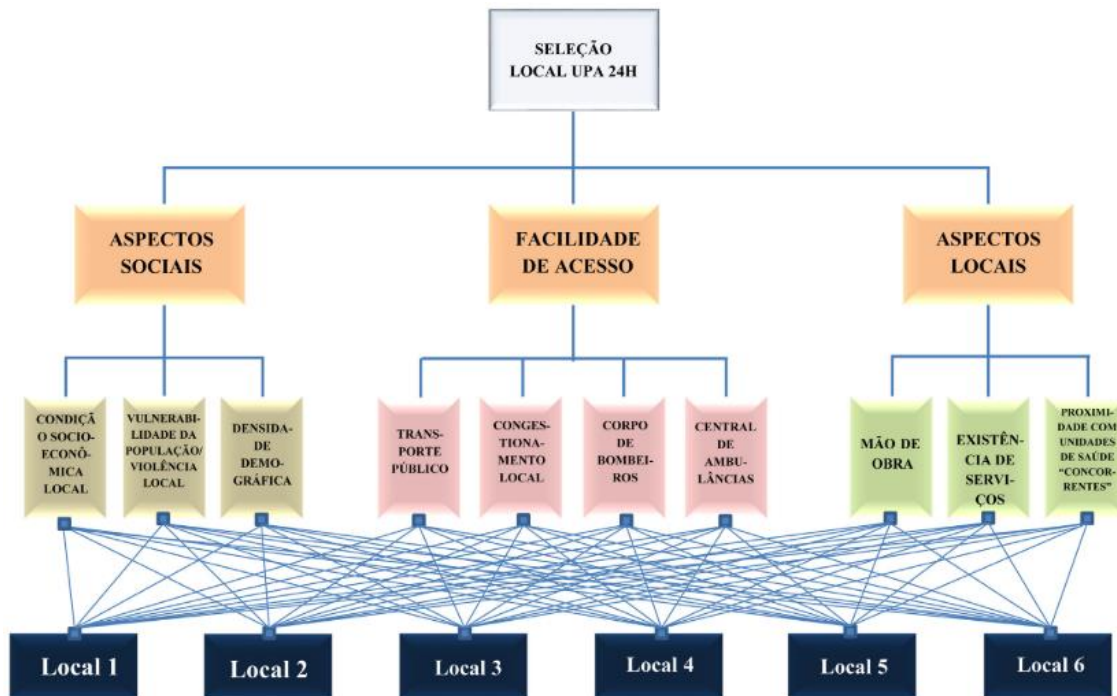
Figura 5 - Fluxograma de execução do AHP.



Fonte: Adaptado de Saaty; Niemira (2006).

Briozo; Musetti (2015), utilizaram o método AHP para definir o melhor local para instalação de uma Unidade de Pronto Atendimento (UPA). Optaram pela consulta a profissionais da área da saúde que atuam na gestão de uma UPA, como forma de validação do método. Isso vai de encontro com o que Saaty; Niemira (2006) tratam sobre a busca de estruturas consistentes para a escolha das variáveis no método AHP. A partir da consulta a profissionais da saúde, por meio de questionários, os autores conseguiram determinar quais variáveis eram mais relevantes para serem utilizadas no modelo, FFigura 6.

Figura 6 - Representação da hierarquia do AHP.



Fonte: Briozo; Musetti (2015).

Ao analisarem os resultados obtidos, Briozo; Musetti concluíram que o modelo atingiu o objetivo proposto, ranqueando os melhores locais para localização de uma UPA, Tabela 2.

Tabela 2 - Ranque dos melhores locais para instalação de uma UPA, obtidos através do método AHP.

CLASSIFICAÇÃO	LOCAL	PONTUAÇÃO
1º	Local 1	0,262
2º	Local 2	0,196
3º	Local 3	0,148
4º	Local 4	0,143
5º	Local 5	0,131
6º	Local 6	0,121

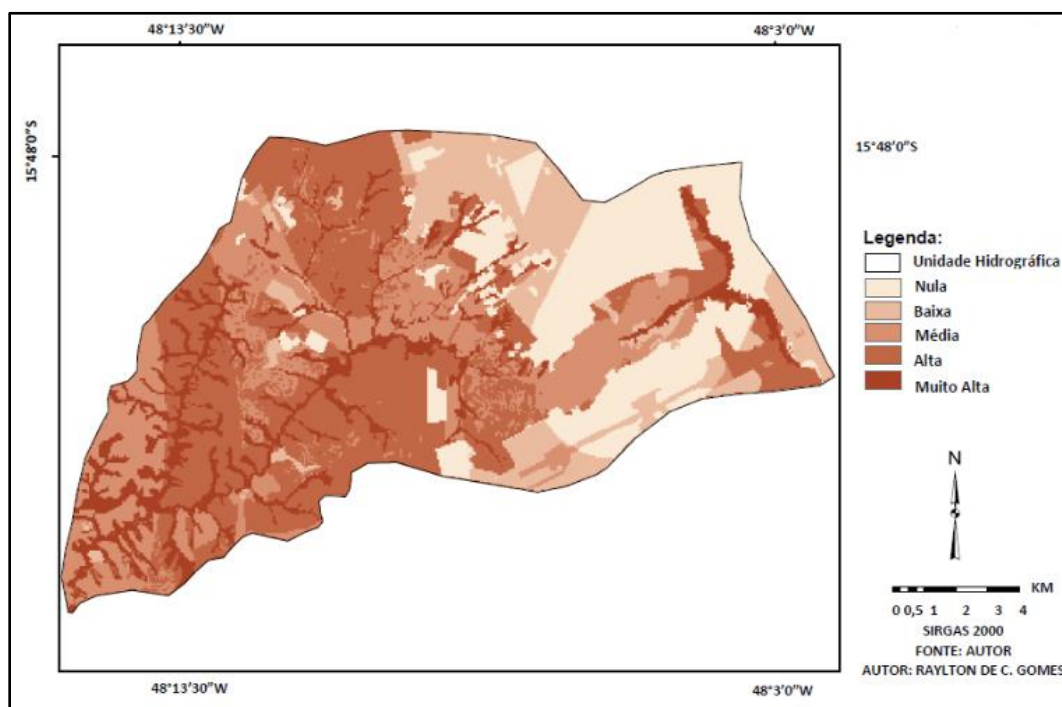
Fonte: Adaptado de Briozo; Musetti (2015).

No entanto, os autores ressaltam a inexistência de formas de validação dos resultados obtidos pelo modelo, e sua precisão comparado com outros parâmetros. A análise dos resultados fica restrita ao indicado pelo modelo. Visando aprimorar os resultados para estudos posteriores, recomendam que trabalhos que utilizem o método busquem mesclar o resultado do AHP com

outros métodos de tomada de decisão, trazendo desta forma resultados mais refinados na tomada de decisão.

Gomes; Bias (2018) analisaram a fragilidade ambiental de uma bacia hidrográfica, a partir de variáveis físicas e sociais, e utilizaram referenciais teóricos relacionados as variáveis selecionadas para definição das influências e pesos. Ressaltam que a definição do conjunto das influências e dos pesos consiste no principal desafio do uso do método AHP para o alcançar melhor acurácia nos resultados. A Figura 7 apresenta a espacialização dos resultados obtidos com a aplicação do AHP.

Figura 7 - Mapa do nível de conservação da bacia do Rio Melchior - DF



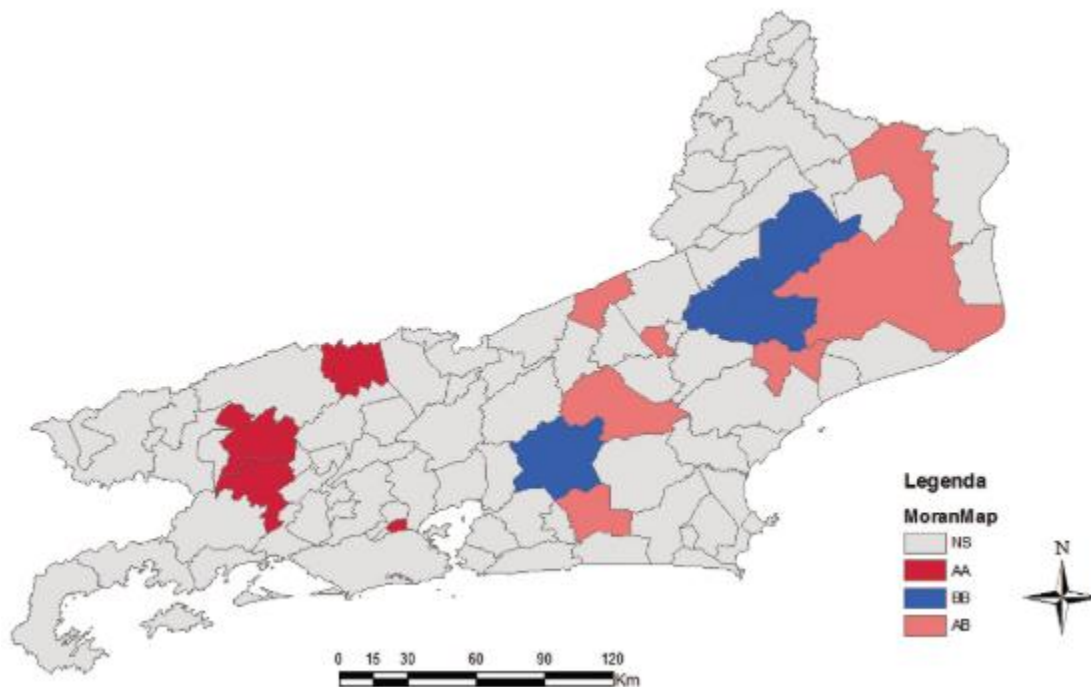
Fonte: Gomes; Bias (2018).

Na atribuição dos pesos, as variáveis do meio físico receberam 75% de influência, enquanto do meio social 25%. Os autores ressaltam que, em se tratando de conservação de bacia hidrografia, as variáveis do meio físico exercem maior influência do que as variáveis do meio social. No entanto, citam apenas um autor que justifica a importância da variável “uso do solo” como mais importante para a análise de fragilidade. O referencial não determina uma porcentagem de influência do uso, apenas cita a importância.

É difícil encontrar estudos que determinem de forma quantitativa o quanto uma variável influencia no alcance do resultado, na tomada de uma decisão. A grande maioria dos trabalhos opta por realizar testes com diferentes valores de influência e comparar os resultados do modelo com o de outros métodos ou com dados coletados em campo.

Um método possível para fazer a comparação de resultados é o método de agrupamento, também conhecido como autocorrelação espacial. Que é a correlação de uma variável “z” em uma área “i”, com valores dessa mesma variável em áreas vizinhas. Existem diversos tipos de agrupamentos espaciais. Um dos mais comumente utilizados, em trabalhos que realizam agrupamentos, é o Moran, que mede a relação do desvio de uma variável “z” numa área “i” com o desvio padronizado das áreas vizinhas para a mesma variável “z” (ANSELIN, 1995), gerando um resultados de agrupamentos, conforme Figura 8.

Figura 8 - Resultado do agrupamento do tipo Moran para IDH.



Fonte: Parakh *et al.*(2004).

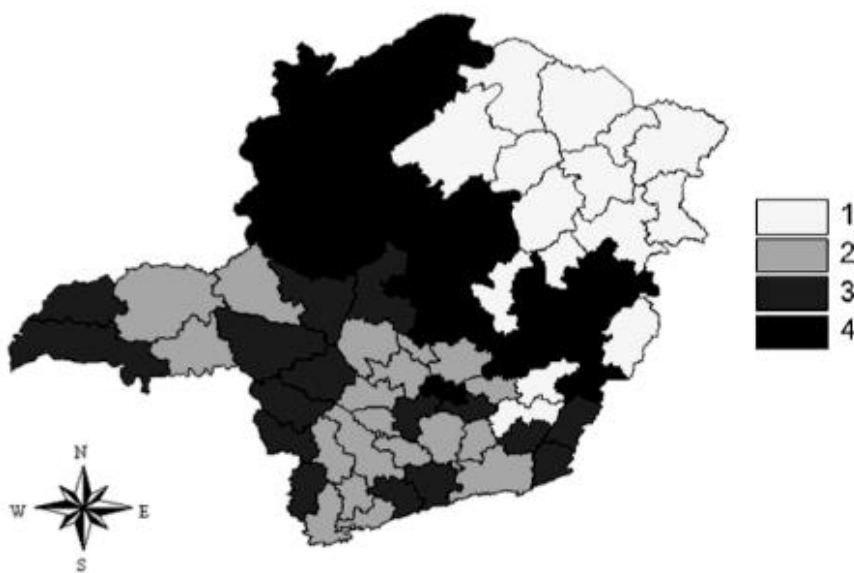
O índice Local Moran's I (ANSELIN, 1995) é uma ferramenta estatística que testa a autocorrelação local para detectar objetos espaciais com influência no indicador Moran Global. A interpretação mais direta desse índice é aquela onde valores significativamente altos e positivos apontam a presença de um “cluster” tanto de valores iguais altos como baixos. Valores

significativamente baixos indicam um regime espacial de desigualdade na região, uma espécie de padrão “anti-*cluster*”, ou zonas de transição entre um regime e outro.

No caso da leptospirose, a partir da geocodificação dos casos registrados da doença e da sua distribuição espacial, é possível elaborar agrupamentos espaciais desses registros, indicando as áreas onde se concentram casos (*cluster*) e onde ocorre o processo inverso (anti-*cluster*). Com o resultado desses agrupamentos, é possível comparar com os resultados dos modelos elaborados pela AHP, refinando os resultados onde as áreas se sobrepõem (áreas de *cluster*'s e de exposição) e onde ocorrem casos de subnotificações, que seriam os locais onde o modelo indica exposição a doença, mas o método de agrupamento indica neutralidade ou anti-*cluster*.

Lopes; Toyoshima; Gomes (2008) relacionaram as condições de saúde, e elaboraram agrupamentos utilizando variáveis sociais relacionadas à saúde e à quantidade de internações, a partir da consulta a referenciais da área. Conseguiram agrupar microrregiões a partir do nível de saúde que cada uma apresenta, sendo dos tons mais claros até os mais escuros a seguinte classificação: 1 – Baixo, 2 – Médio, 3 – Alto e 4 – Muito Alto. Concluíram que a técnica de agrupamento se mostrou eficaz para representar a dualidade que reflete o desenvolvimento da área em análise, separando, eficazmente, as regiões mais saudáveis das menos saudáveis. O mapa resultante aparece na Figura 9.

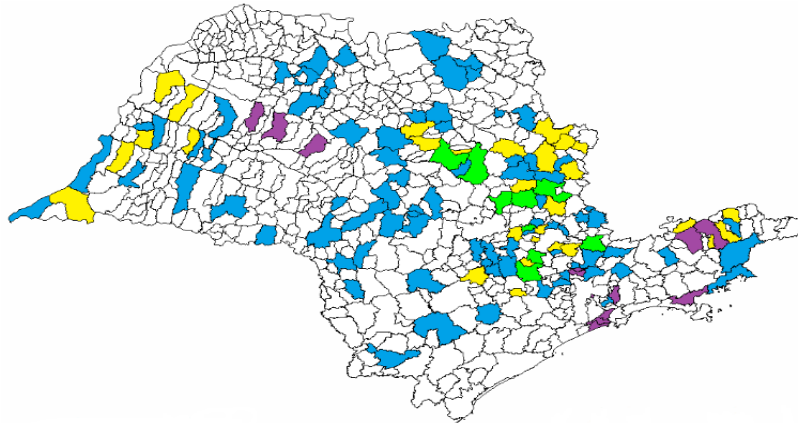
Figura 9 - Agrupamentos microrregionais.



Fonte: Adaptado de Lopes; Toyoshima; Gomes (2008).

Chaebo *et al.* (2015) utilizam agrupamento para diminuir a arbitrariedade na constituição de consórcios intermunicipais na área da saúde. O método foi aplicado a partir do número de internações hospitalares de 645 municípios. Agruparam os municípios com características similares, com potencial para formação de consórcios intermunicipais. A Figura 10 mostra os municípios com as mesmas cores possuem essa similaridade.

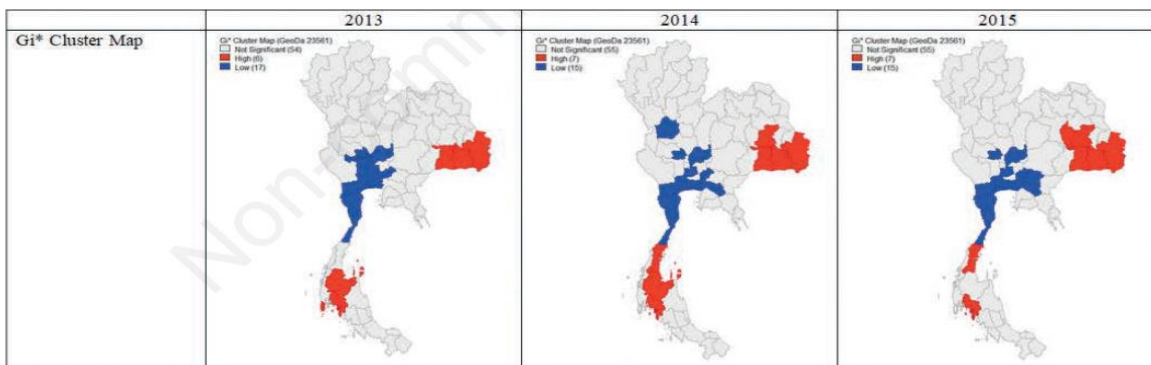
Figura 10 - Zonas de concentrações de municípios com similaridades para consórcios.



Fonte: Chaebo *et al.* (2015).

Luenam; Puttanapong (2019) analisaram padrões temporais e espaciais da leptospirose utilizando agrupamentos de estatística local Getis-Ord Gi. Utilizaram dados de entrada dos anos entre 2013 e 2015 dos casos registrados da doença. Como resultado, mapearam as áreas onde os recursos de assistência à saúde devem ser locados a partir dos altos agrupamentos dos padrões de leptospirose que foram identificados, Figura 11.

Figura 11 - Agrupamento dos casos de leptospirose na Tailândia entre os anos de 2013 e 2015.

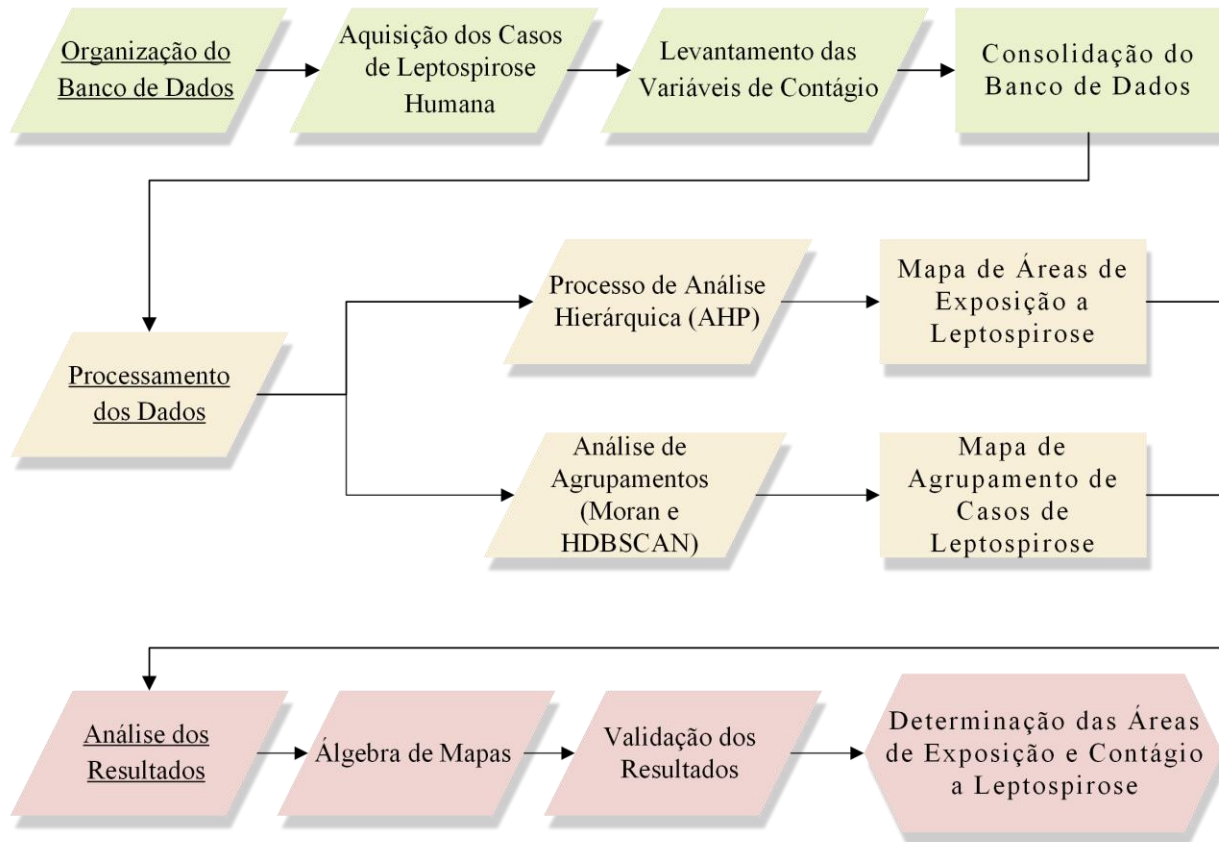


Fonte: Luenam; Puttanapong (2019).

3 METODOLOGIA

Para atingir os objetivos propostos, foram executadas as seguintes etapas sintetizadas no fluxograma metodológico, Figura 12.

Figura 12 - Fluxograma metodológico.



Fonte: elaborado pelo autor.

3.1 ORGANIZAÇÃO DO BANCO DE DADOS

Essa etapa compreende a aquisição e organização dos dados utilizados na execução dos objetivos propostos. Dados que contém informações sobre localização e identificação do paciente terão suas informações resguardadas.

Para a Aquisição dos Casos de Leptospiriose Humana, serão utilizados dados do Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN), entre os anos de 2007 e 2019, devido a melhor concretude dos dados disponíveis entre essas datas. Embora o SINAN possua uma base de acesso

público, essa base não apresenta uma informação importante para a modelagem espacial em escala municipal, a localização de residência do paciente. A maior escala de detalhe disponível em acesso público é do município de residência do paciente.

Dados em escala municipal são adequados para estudos em nível nacional, estadual e regional. Em modelos espaciais de escala local podem mascarar os resultados, relativos às diferenças socioeconômicas e ambientais que determinam diferentes formas de contágio da doença. Essa informação detalhada é perdida quando utilizado o total de casos por município e não a localização dos casos.

A ficha de notificação do SINAN contém o endereço de residência do paciente como um dos campos de preenchimento, essa informação é tabulada e é de acesso restrito. Se a localização espacial for liberada, mesmo que a identificação do paciente seja resguardada, é possível usar na modelagem espacial uma escala de maior detalhe.

Para o Levantamento das Variáveis de Contágio, foram utilizadas as seguintes variáveis para uso na modelagem: registro de inundações/alagamentos; dados sobre saneamento; informações socioeconômicas; mapeamento de uso e cobertura do solo que envolvam exposição ao vetor de contágio (áreas de cultivo de arroz, fumo e demais atividades); geomorfologia (planícies de inundação); banhados e demais áreas úmidas. Essas variáveis foram selecionadas a partir da consulta de referenciais nessa temática (ANDRE-FONTAINE; AVIAT; THORIN, 2015; BALASSIANO *et al.*, 2011; DE BRITO; EVERS; HÖLLERMANN, 2017; GONÇALVES *et al.*, 2016; KINGSCOTE, 1970; MESQUITA *et al.*, 2016; NAVA *et al.*, 2017; OLIVEIRA *et al.*, 2014; PELISSARI *et al.*, 2011; RODRIGUES, 2015).

Para a Consolidação do Banco de Dados, as informações em escala local (do município) foram filtradas e recortadas por setor censitário. Todos os dados foram classificados em 5 classes a partir do método de classificação de *Jenks natural breaks optimization* (JENKS; CASPALL, 1971), e armazenados em um banco de dados no formato de tabelas e em formato espacial do tipo *feature class* em um *geodatabase*.

3.2 PROCESSAMENTO DOS DADOS

O processamento dos dados corresponde a modelagem espacial dos dados organizados no banco de dados. Foram utilizados os métodos AHP e Agrupamento. Todas as variáveis passaram por análise da influência individual em relação ao contágio a leptospirose. Essa etapa compreende a tomada de decisão, a partir do referencial consultado, de como as variáveis serão inseridas nos modelos. Variáveis sem influência significativa foram descartadas ou resumidas, em caso de sobreposição entre uma ou mais.

Para o Processo de Análise Hierárquica (AHP), as variáveis selecionadas foram utilizadas como dados de entrada no modelo AHP; a atribuição dos pesos para cada uma das 5 classes de cada variável, definidas na etapa 1; e aplicada a ferramenta *Weighted Overlay*, para criação de um raster com as áreas de suscetibilidade ao contágio de leptospirose a partir dos valores de influência e pesos definidos. Como resultado foi gerado um mapa de áreas de exposição a leptospirose a partir do método AHP.

Para a Análise de Agrupamentos, foi utilizada a localização dos casos confirmados de leptospirose no município de Porto Alegre, como dado de entrada para agrupamento das informações. Assim, é possível analisar os locais de maior incidência da doença, como os locais com possíveis subnotificações. Ou seja, zonas em que a doença pode atuar de forma silenciosa, por não ser devidamente notificada ou não haver unidades de saúde que cubram a área. As ferramentas utilizadas para essa análise são as de estatística espacial por agrupamento de dados atípicos (Moran e HDBSCAN), do ArcGIS Pro. Como resultado, foram gerados mapas de agrupamento de casos de leptospirose.

3.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Compreende a álgebra de mapas utilizando os resultados obtidos pelos métodos de modelagem aplicados, validação dos resultados e a determinação das áreas de exposição a leptospirose no município.

Na Álgebra de Mapas, com os resultados obtidos do método AHP e de Agrupamento, foram sobrepostos os mapas obtidos, a partir da ferramenta *raster calculator*. Essa ferramenta soma as áreas onde há sobreposição dos modelos e destaca as áreas onde os modelos não se sobrepõe. Com a conversão do arquivo matricial, do tipo raster, para vetorial, do tipo shapefile, foram quantificadas

as áreas de sobreposição. A partir das áreas sobrepostas, foi extraído um modelo ajustado dos resultados. As áreas onde não houve sobreposição, foram analisadas separadamente na etapa de Validação dos Resultados.

Em Validação dos Resultados, o resultado da álgebra de mapas passou por uma análise de autocorrelação estatística (Coeficiente de Correlação de Person), tendo como base comparativa o mapa gerado a partir do agrupamento dos casos de leptospirose, a partir do método de agrupamento na Análise de Agrupamentos. Com o resultado dessa correlação, foi possível identificar se as áreas em que a modelagem indicou como de exposição ao contágio de leptospirose possuem o registro de casos notificados correspondentes a previsão do modelo. No inverso da correlação, também foi possível identificar áreas onde o modelo errou em indicar exposição a doença ou que os casos podem não estar sendo corretamente notificados.

4 RESULTADOS

O capítulo Resultados apresenta dois artigos acadêmicos a serem submetidos a revistas científicas, são esses: Artigo 1: Método de Agrupamento para a Análise de Casos Confirmados de Leptospirose, Município de Porto Alegre - RS; e Artigo 2: Método de Análise Hierárquica de Processo para a Análise de Casos Confirmados de Leptospirose, Município de Porto Alegre - RS. Esses trabalhos representam os principais resultados atingidos ao executar as metodologias científicas propostas no capítulo 3, visando executar os objetivos propostos e responder hipótese proposta.

O Artigo 1 aplica metodologia de agrupamentos de informações espaciais, em que o foco foi utilizar os métodos de agrupamento HDBSCAN e Local Moran's I. Esse tipo de método processa a relação de informações espaciais através do local de incidência dessa informação no espaço, nesse caso foram utilizados os casos confirmados de leptospirose.

O Artigo 2 aplica o método AHP com a finalidade de determinar regiões com populações vulneráveis ao contágio de leptospirose, utilizando variáveis relacionadas a doenças descritas na literatura. Esse método funciona a partir da atribuição de pesos e influências de cada variável, realizando uma sobreposição desses valores e gerando um mapa com categorias que determinam os locais onde essa sobreposição é maior ou menor, ou seja, onde os valores mais altos de influência e peso se sobrepõem e onde ocorrem “vazios”.

4.1 ARTIGO 1

MÉTODOS DE AGRUPAMENTO PARA ANÁLISE DE CASOS CONFIRMADOS DE LEPTOSPIROSE, MUNICÍPIO DE PORTO ALEGRE - RS

RESUMO

Os métodos de estatística espacial por agrupamentos são ferramentas utilizadas na análise espacial de diversos tipos de dados, e podem ser utilizados na área da saúde para a análise espacial de doenças, como a leptospirose. A leptospirose pertence ao grupo das doenças de veiculação hídrica, e é caracterizada por atingir populações de baixa renda e que se encontram em áreas suscetíveis a eventos de alagamento/inundação e com estrutura precária de saneamento. Esse trabalho analisa o comportamento espacial da leptospirose no município de Porto Alegre - RS, entre os anos de 2007 e 2019. Utiliza os métodos de agrupamento HDBSCAN e Local Moran's I como ferramentas para analisar os casos confirmados da doença, geocodificados a partir do local de moradia do paciente. Foram utilizados dados do SINAN Net de casos confirmados da doença, geocodificados no software Qgis e seu complemento Hqgis; e aplicação dos métodos de agrupamento no software ArcGIS Pro 2.9.1. Os resultados mostram a região norte de Porto Alegre como local de maior concentração e ocorrência de casos. Nessa região, ocorrem núcleos de contágio da doença com diferentes médias de distância entre os locais de contágio. Essa distribuição indica que a doença é influenciada principalmente pela estrutura urbana precária, nas regiões com maior ocorrência de alagamentos/inundações, e com menor infraestrutura urbana de qualidade.

Palavras-Chave: Leptospirose, Agrupamento, HDBSCAN, Local Moran's I, Doenças de Veiculação Hídrica.

CLUSTER METHODS FOR THE ANALYSIS OF CONFIRMED CASES OF LEPTOSPIROSIS, MUNICIPALITY OF PORTO ALEGRE - RS

ABSTRACT

The methods of spatial statistics by clusters are tools used in the spatial analysis of different types of data, and can be used in the health area for the spatial analysis of diseases, such as leptospirosis. Leptospirosis belongs to the group of waterborne diseases, and is characterized by reaching low-income populations living in areas susceptible to flooding events and with poor sanitation. This work analyzes the spatial behavior of leptospirosis in the city of Porto Alegre - RS, between 2007 and 2019. It uses the HDBSCAN and Local Moran's I clustering methods as tools to analyze confirmed cases of the disease, geocoded from the place of origin. patient's home. Data from Sinan Net of confirmed cases of the disease were used, geocoded in the Qgis software and its Hqgis complement; and application of clustering methods in ArcGIS Pro 2.9.1 software. The results show the northern region of Porto Alegre as the place with the highest concentration and occurrence of cases. In this region, there are nuclei of contagion of the disease with different means of distance between the places of contagion. This distribution indicates that the disease is mainly influenced by the precarious urban structure, in regions with the highest occurrence of flooding, and with lower quality urban infrastructure.

Keywords: Leptospirosis, Cluster, HDBSCAN, Local Moran's I, Waterborne Diseases.

4.1.1 INTRODUÇÃO

A leptospirose pode se manifestar a partir de sintomas com diferentes intensidades ao atingir a população humana. Podem ocorrer casos em que determinado sintoma sofre agravos, ou até ocasiões assintomáticas, quando o paciente contrai a doença e não manifesta o conjunto esperado de sintomas. Os sintomas mais comuns da doença são abordados na literatura em Bezerra *et al.* (1993); Cruz; Andrade e Pereira (1994); Costa *et al.* (2001); Souza *et al.* (2007), onde são descritas as diferentes formas de manifestação dos sintomas da leptospirose em diferentes grupos de pacientes durante seu período de internação. São mais comumente listados: febre, dores em geral pelo corpo, vômitos, tosse e dor de cabeça. Devido a esses sintomas, a doença muitas vezes é confundida com gripe ou dengue, sendo que em casos mais graves é possível levar ao óbito.

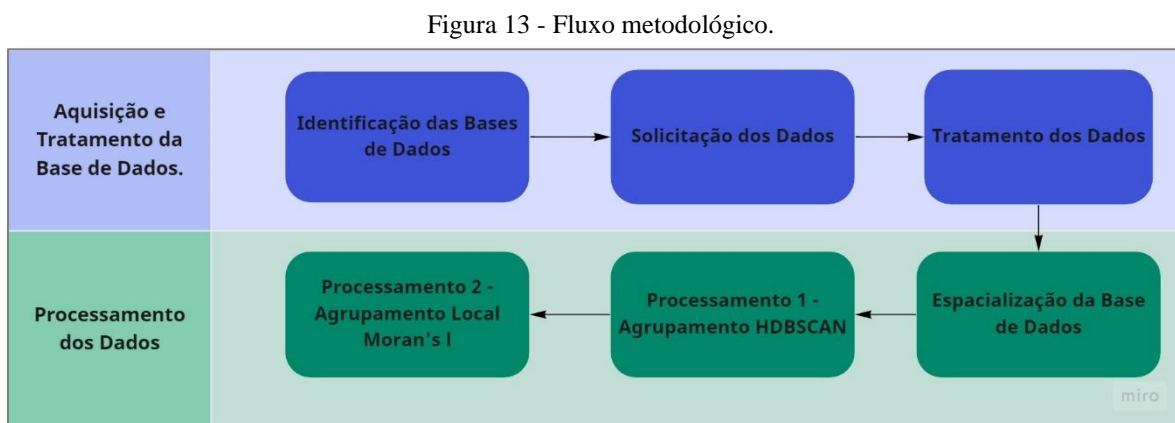
No Brasil, está entre um dos mais graves problemas da saúde pública (LONDE *et al.*, 2016). Essa situação pode ser ainda mais grave, já que estudos indicam que a leptospirose possui um elevado número de subnotificação e alta defasagem de informações nos países que mais sofrem com a doença (DA SILVA; BOING, 2007; MANUEL, 2017; RODRIGUES, 2017). Isso se deve em parte aos sintomas serem parecidos com o de outras doenças, mas também pela dificuldade da espacialização dos dados registrados, que muitas vezes não possuem um registro espacial refinado, dificultando a localização precisa do caso, e a definição de causa e efeito da ocorrência da doença.

Métodos de agrupamento de dados podem ser utilizados como ferramentas para espacialização dos casos de leptospirose, e para a identificação de possíveis grupos de contágio. Esses métodos utilizam a correlação de uma variável “z” em uma área “i”, com valores dessa mesma variável em áreas vizinhas. Existem diversos métodos de agrupamentos espaciais, entre eles o HDBSCAN (MCINNES; HEALY; ASTELS, 2017; MELVIN *et al.*, 2018) e o Local Moran’s I (ANSELIN, 1995; BENÍTEZ, 2015; ESRI, 2021; SOARES *et al.*, 2010a).

Este artigo tem como objetivo analisar a distribuição dos casos de leptospirose no município de Porto Alegre, entre os anos de 2007 e 2019, utilizando métodos de agrupamento espacial. Visa identificar agrupamentos de casos que possam destacar áreas de maior atenção devido ao comportamento espacial dos casos registrados no município.

4.1.2 METODOLOGIA

Para análise da distribuição espacial da leptospirose, foi executado o seguinte fluxo metodológico, Figura 13.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Aquisição e Tratamento da Base de Dados

1) *Identificação das Bases de Dados*. Foi realizada a consulta ao referencial teórico para definição das variáveis utilizadas na aplicação dos métodos de agrupamento. Foram definidos inicialmente duas variáveis: (a) local de moradia das pessoas com confirmação de contágio por leptospirose; e (b) local de trabalho da população contaminada também seria de grande relevância para o estudo. No entanto, posteriormente, ao analisar a base de dados, observamos grande defasagem da variável (b) referente ao local de trabalho. Assim, o uso dessa variável foi descartado no trabalho.

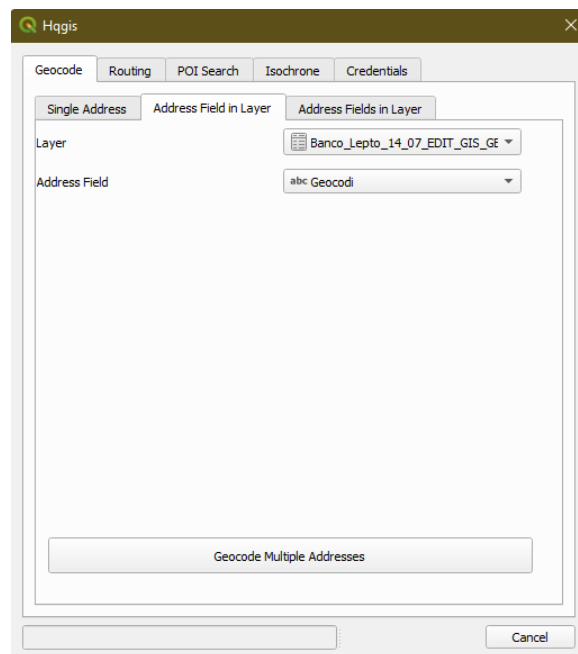
2) *Obtenção dos Dados*. Esta etapa se justifica frente a dificuldade de aquisição da base de dados na escala adequada para a execução do trabalho. Como o dado selecionado, local de moradia de uma pessoa diagnosticada com leptospirose, é uma informação sensível, ela não é de acesso público. Dados de acesso público são somente na escala municipal. Para a aquisição dos dados foi necessário contactar os órgãos de saúde no âmbito federal, estadual e municipal para solicitação dos dados. Os dados foram obtidos a partir da Secretaria Municipal de Saúde do município de Porto Alegre, para os anos entre 2007 e 2019.

3) *Tratamento do Dados*. Os dados foram obtidos no formato de planilhas, com a informação do endereço de residência, necessário para a realização da geocodificação, mas sem identificação de dados pessoais dos pacientes. Foi necessário filtrar os dados de endereço incompletos e casos não confirmados. Após a triagem, os casos foram agrupados por ano em planilhas distintas e ajustados para a etapa seguinte de processamento dos dados.

Processamento dos Dados

1) *Espacialização da Base de Dados Geocodificados*. A geocodificação utiliza uma ferramenta de geoprocessamento que, a partir de um conjunto de informações que compõem o endereço do paciente (município, bairro, rua etc.) busca, em um serviço de localização (Google Maps), o endereço solicitado e cria uma feição espacial do tipo ponto desse endereço. Esses *softwares* exigem organização das informações tabeladas, e tem um grande custo operacional no tratamento dos dados para serem inseridos na ferramenta. Em contrapartida, são muito eficazes quando é necessário aplicar a geocodificação em um grande conjunto de dados. O *software* utilizado foi o QGIS 3.16.15, e a ferramenta para a geocodificação foi o complemento Hqgis. Essa ferramenta permite até 250 mil geocodificações por mês gratuitamente, Figura 14.

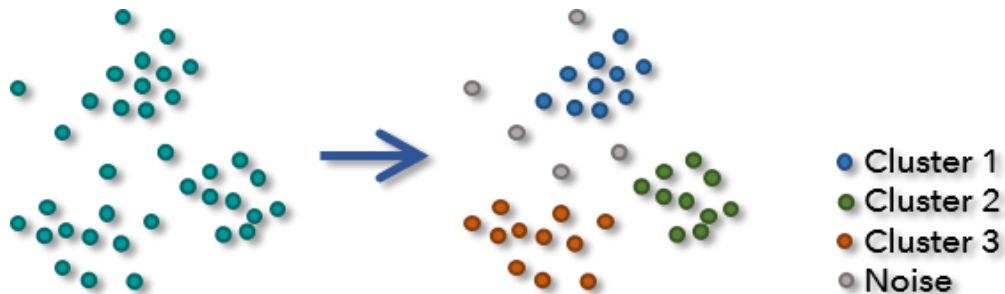
Figura 14 - Complemento Hqgis configurado para realizar a geocodificação dos casos de leptospirose.



Fonte: Elaborado pelo autor.

2) *Processamento 1 – Agrupamento HDBSCAN*. Essa etapa faz uso do conjunto de ferramentas de estatística espacial do software ArcGIS Pro 2.9.1. O agrupamento do tipo HDBSCAN encontra agrupamentos de pontos a partir de distâncias variadas, permitindo destacar agrupamentos com densidades variadas com base na probabilidade de o ponto pertencer ao grupo como, por exemplo, a Figura 15.

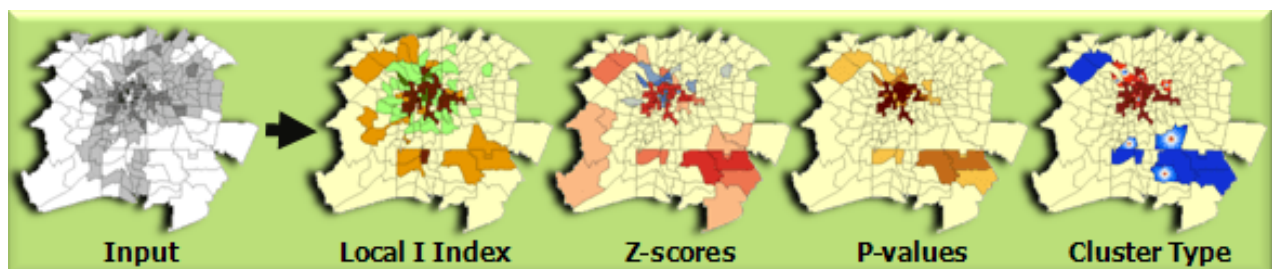
Figura 15 - Resultados do agrupamento do tipo HDBSCAN.



Fonte: Adaptado de ESRI 2021.

3) *Processamento 2 – Agrupamento Local Moran's I*. Com os mesmos dados utilizados para o agrupamento Local, foi realizado um segundo geoprocessamento utilizando a ferramenta de análise de agrupamentos e dados atípicos (local Moran's I), que faz parte do conjunto de ferramentas de análise espacial do ArcGIS Pro 2.9.1. Essa ferramenta faz uma análise de maior complexidade da estatística zonal dos dados espaciais, além de identificar os agrupamentos, pondera esses agrupamentos entre pontos quentes, que são estatisticamente significativos, pontos frios e discrepâncias espaciais dos dados, permitindo destacar vazios na malha de informações que é inserida, Figura 16.

Figura 16 - Resultados do agrupamento do tipo Local Anselin Moran's I



Fonte: Adaptado de ESRI 2021a.

4.1.3 RESULTADOS

A apresentação dos resultados está organizada em 3 partes: a geocodificação dos casos de leptospirose no município de Porto Alegre, entre 2007 e 2019; o agrupamento de todos os casos de leptospirose registrados a partir do método HDBSCAN; e o agrupamento dos casos pelo método Local Anselin Moran's I.

O total de casos geocodificados, os casos localizados fora do município e o total corretamente geocodificado, e levado em consideração nos métodos de agrupamento, são apresentados na Tabela 3. Alguns endereços registrados eram de localidades fora do município, o que pode ser um erro no registro ou da ferramenta de geocodificação. O erro na ferramenta se deve por logradouros com o mesmo nome, que mesmo identificando o município de Porto Alegre no registro, acaba adicionando pontos fora do limite municipal. Para diminuir a margem de erro das ferramentas estatísticas utilizadas, foi gerada uma segunda geocodificação com os registros fora do limite municipal. Após a confirmação dos registros estarem fora do limite do município, esses foram descartados.

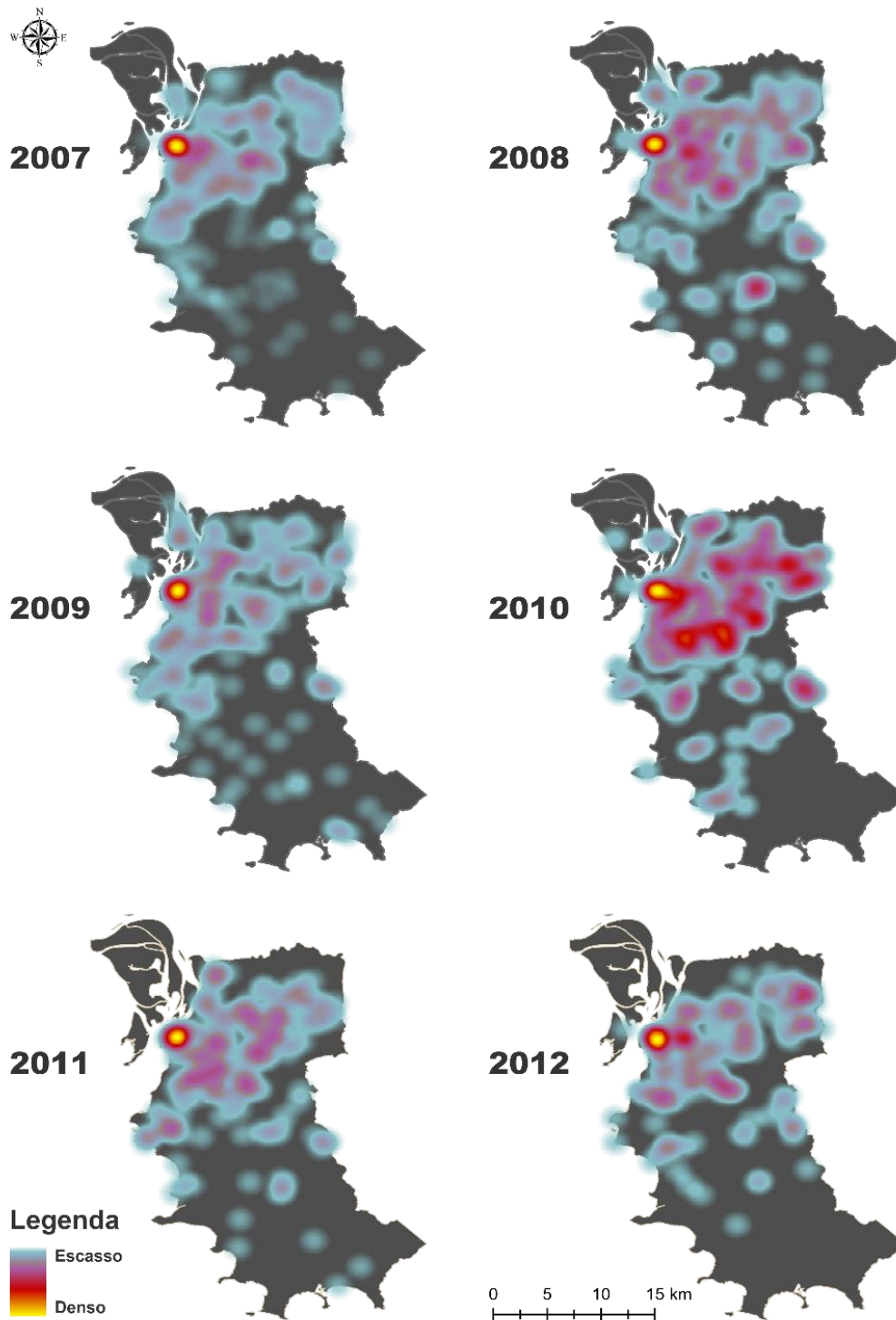
Tabela 3 - Total de casos registrados e corrigidos na geocodificação.

Ano	Total de Casos	Casos fora do Município	Total Corretamente Geocodificado
2007	337	19	318
2008	290	21	269
2009	241	27	214
2010	254	36	218
2011	226	38	188
2012	186	26	160
2013	245	25	220
2014	215	43	172
2015	306	41	265
2016	237	42	195
2017	235	36	199
2018	152	34	118
2019	227	39	188

Fonte: Elaborado pelo autor.

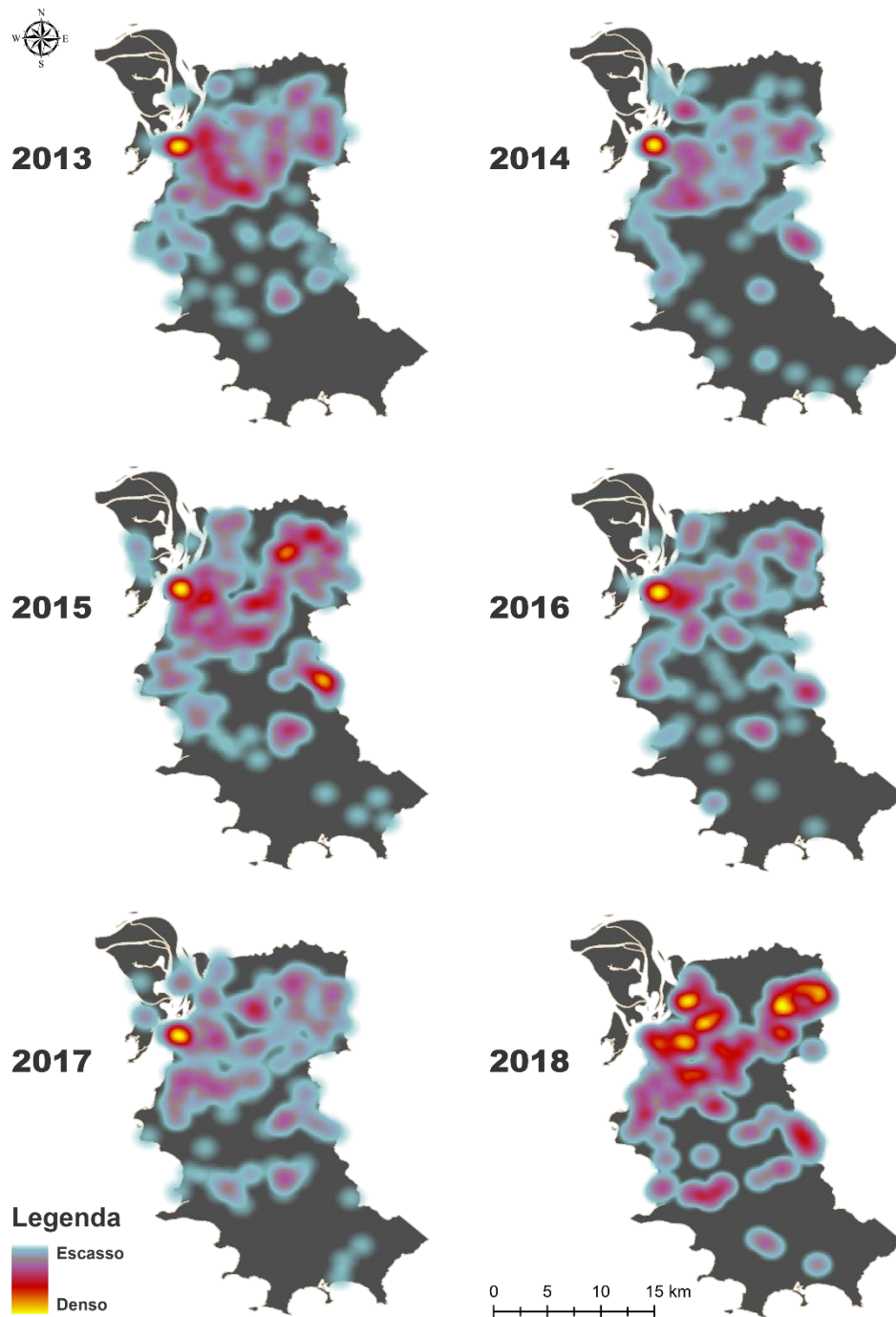
O resultado da geocodificação dos casos de leptospirose e sua espacialização no município de Porto Alegre, entre os anos de 2007 e 2019, são apresentados nas Figura 17, 18 e 19.

Figura 17 - Espacialização dos casos de leptospirose, entre 2007 e 2012, Porto Alegre.



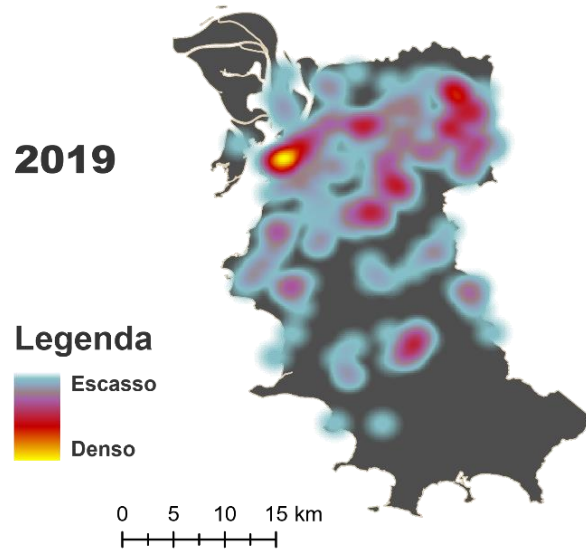
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 18 - Espacialização dos casos de leptospirose, entre 2013 e 2018, Porto Alegre.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 19 - Espacialização dos casos de leptospirose, para 2019, Porto Alegre.



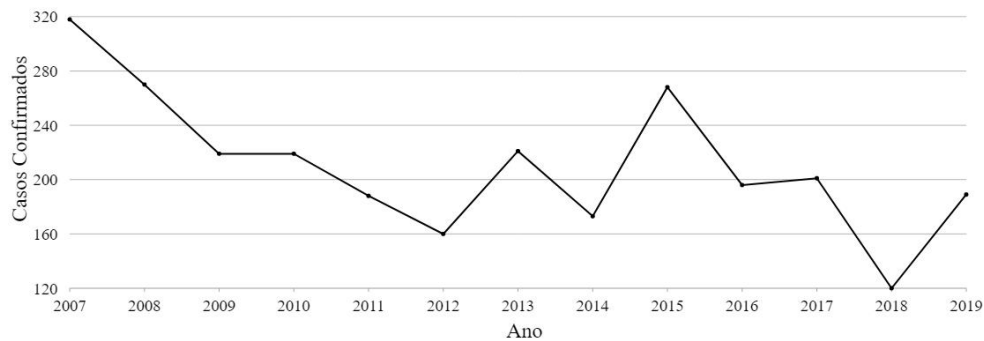
Fonte: Elaborado pelo autor.

A espacialização dos casos de leptospirose (Figuras 17, 18 e 19), complementa a interpretação dos casos confirmados (Tabela 3). É possível identificar um comportamento espacial semelhante nos anos de 2007, 2009, 2011, 2014 e 2017; com concentração de casos no oeste do município, principalmente na região do bairro Centro.

A análise dos anos de 2010, 2015, 2018 e 2019 mostra um comportamento distinto do registro de casos da doença. A concentração dos casos, agora se distribui em outros “núcleos”, onde se localizam pontos de concentração de ocorrência dos casos. Esses pontos são distribuídos pelo eixo principal da cidade, que corta a região norte no sentido oeste-leste.

A série temporal de casos confirmados, entre 2007 e 2019, Figura 20, inicia com número alto de registro de 320 casos entre 2007 e 2008. A partir de 2009 ocorre uma diminuição do número de casos, com média em torno de 200 casos. Apenas em 2015 ocorre outro pico do número de casos (272).

Figura 20 - Gráfico de total de casos confirmados de leptospirose, entre 2007 e 2019, Porto Alegre.



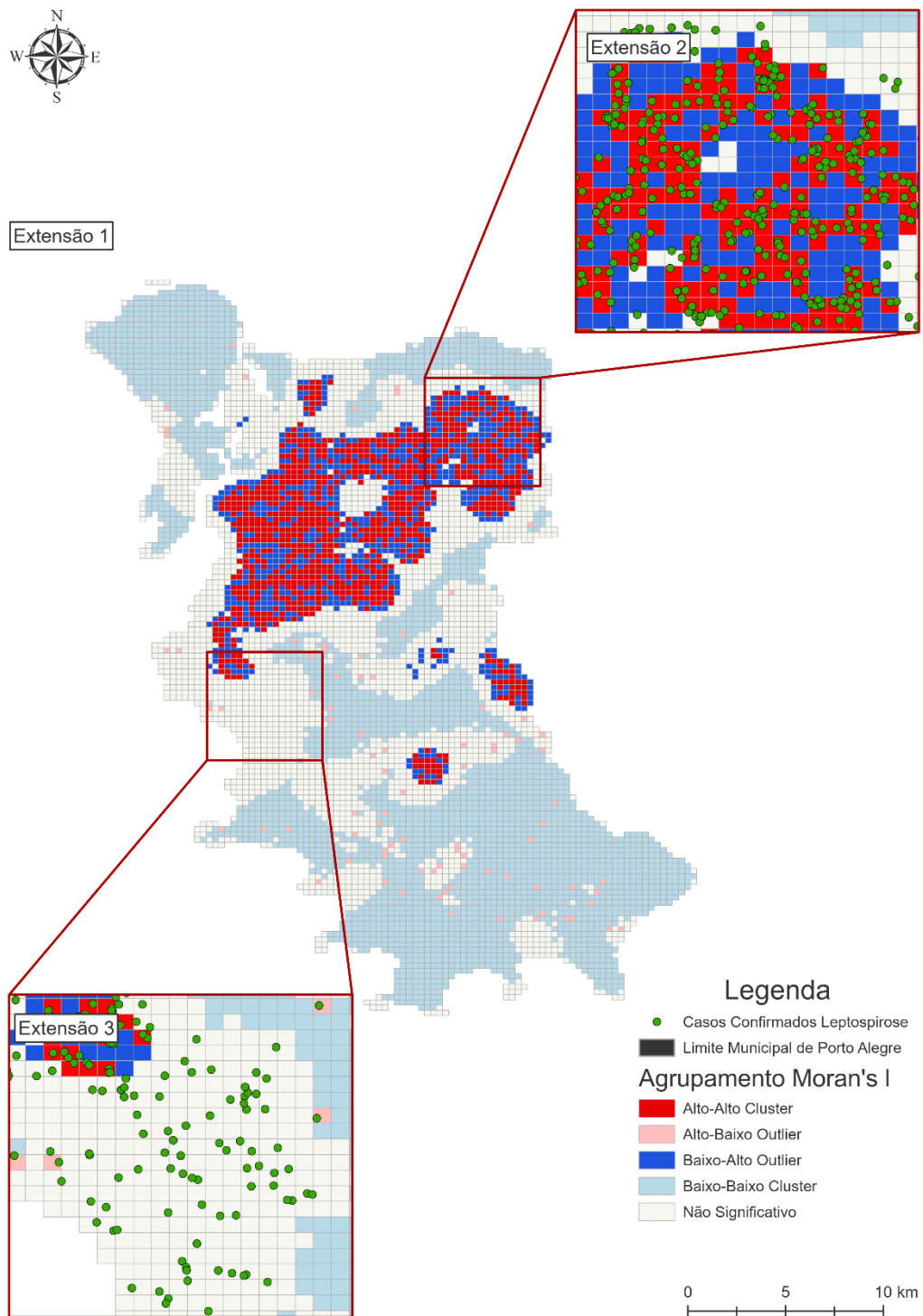
Fonte: Elaborado pelo autor.

O agrupamento Local Moran's I, do total de casos de leptospirose confirmados no município do registro de leptospirose, Figura 21, mostra onde são formados esses núcleos do agrupamento do total de casos entre os anos de 2007 e 2019. Esse método leva em consideração a incidência individual de cada caso para realizar o processo de estatística espacial, e gera 5 tipos de agrupamentos distintos no mapa resultante: Alto-Alto, Alto-Baixo, Baixo-Alto, Baixo-Baixo e Não Significante (ANSELIN, 1995; ESRI, 2021).

Na região norte do município, no eixo oeste-leste, estão concentrados os agrupamentos mais altos identificados pelo método de Moran, sendo os agrupamentos do tipo Alto-Alto, intercalados com agrupamentos do tipo Baixo-Alto. Os agrupamentos do tipo Alto-Alto caracterizam a região como sendo um local de alta concentração de casos. Esse resultado condiz com o identificado Puttanapong (2019), utilizando um método de agrupamento local Getis-Ord Gi para identificação de municípios com alta incidência de leptospirose.

Os agrupamentos do tipo Alto-Alto possuem pequenas zonas com classes do tipo Baixo-Alto, caracterizados por uma zona de baixa incidência de casos de leptospirose, mas que são cercados por locais com altos registros de casos (Alto-Alto). Podemos considerar como “vazios” que o método identifica entre as concentrações de casos, os núcleos citados anteriormente.

Figura 21 - Agrupamento de casos de leptospirose, método Local Moran's I, entre 2007e 2019, Porto Alegre.



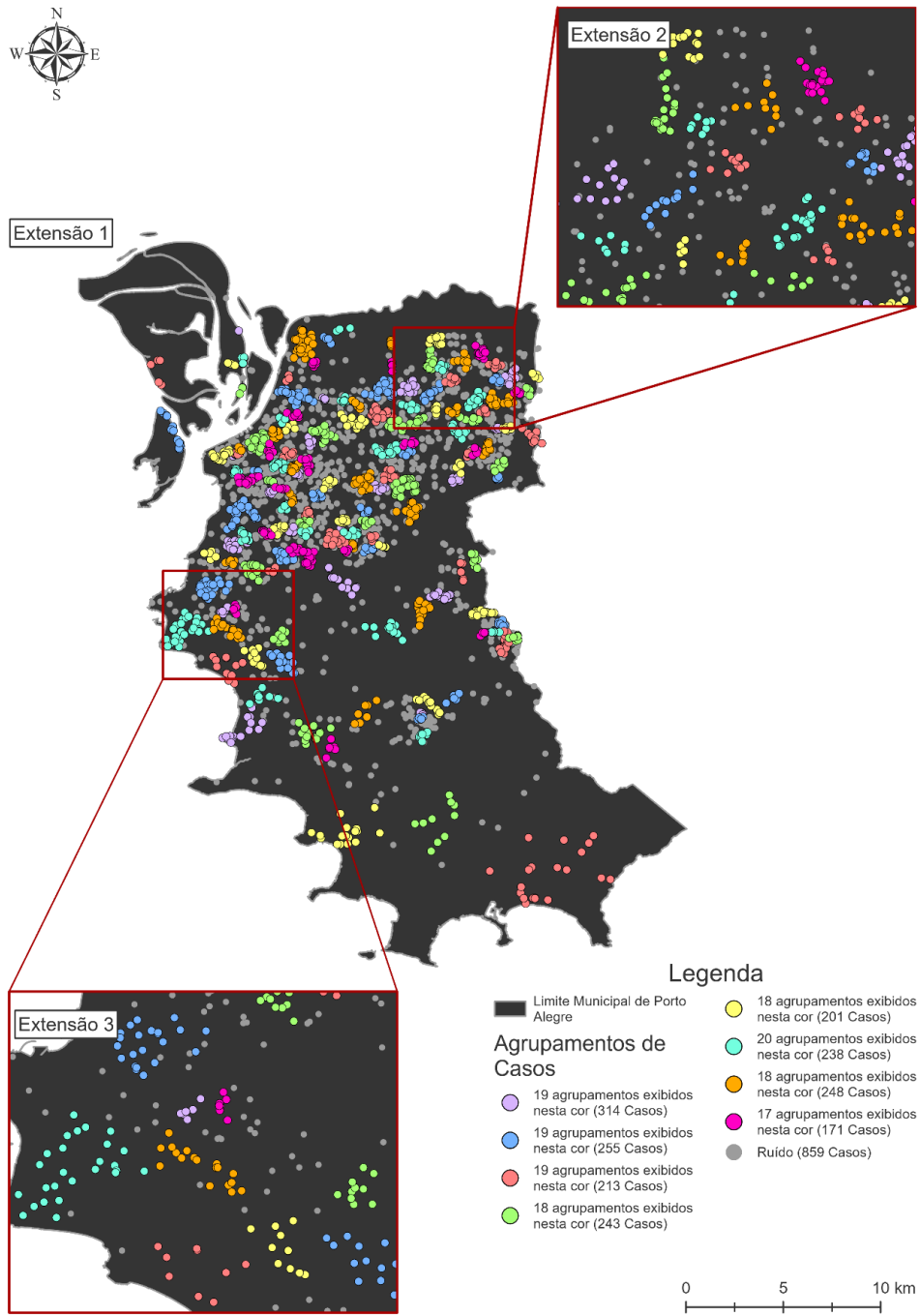
Fonte: Elaborado pelo autor.

As regiões noroeste e sul são em sua maioria caracterizadas por agrupamentos do tipo Baixo-Baixo e Não Significativo, com exceção de pequenos núcleos urbanos nessa região do município de Porto Alegre, que concentram alguns registros de casos que formam núcleos de contágio isolados. Esses agrupamentos do tipo Baixo-Baixo são caracterizados majoritariamente por pequenos registros de casos que são isolados por grandes vazios de registros, o oposto dos agrupamentos do tipo Alto-Baixo vistos anteriormente. Os Não Significativos são casos registrados que não possuem proximidade espacial suficiente para que o método Moran identifique como um agrupamento do tipo Alto-Alto ou Alto-Baixo. Isso não significa que são localidades necessariamente com poucos registros de casos, conforme extensão 1 em destaque na Figura 21, onde é possível identificar uma quantidade significativa de casos dispersos.

O resultado obtido pelo método de agrupamento HDBSCAN, para o total de casos de leptospirose confirmados no município, *é apresentado na* Figura 22. Mostra pequenos agrupamentos diferenciados por dentro do conjunto de casos destacados pelo Moran no eixo oeste-leste na região norte do município. Esse método se diferencia pelo de Moran por utilizar uma distância média variável entre os casos registrados, diferente do Moran que usa uma distância média mais geral para todo o universo de dados. Sendo assim, o método HDBSCAN consegue analisar agrupamentos com diferentes médias de distâncias dentro de uma amostra de dados. No entanto, esse método não identifica outras classes de agrupamentos como o Moran consegue fazer, detalhando melhor o comportamento geral da amostra de dados.

É possível identificar esses agrupamentos pelo HDBSCAN na região nordeste, extensão 2 da Figura 22, sendo agrupamentos mais próximos, com uma distância média menor entre o registro de casos. Na extensão 3, na região central ao oeste, esses agrupamentos possuem uma distância média maior entre os casos registrados. Essa região anteriormente não foi considerada a partir de Moran, sendo uma região com classe Não Significativa pelo método.

Figura 22 - Agrupamento de casos de leptospirose, método HDBSCAN, entre 2007 e 2019, Porto Alegre.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.4 DISCUSSÃO

A ocorrência de casos confirmados de leptospirose no município de Porto Alegre, mostra um comportamento constante de incidência entre os anos de 2007 e 2019. Os anos de maior e menor incidência de casos, respectivamente, 2007 (318) e 2018 (118), com uma média de 209,54 casos por ano. Valor abaixo da média nacional de registro de casos com 375 (BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. SECRETARIA DE VIGILÂNCIA EM SAÚDE, 2014). No entanto, mesmo com média abaixo da média nacional, a análise da incidência da leptospirose deve levar em consideração o fator espacial, para obter resultados mais refinados (BALASSIANO *et al.*, 2011; MANUEL, 2017; SANTOS, L. *et al.*, 2012).

A concentração da espacialização dos casos de leptospirose na região do bairro Centro não mostra necessariamente o local de ocorrência do maior número de casos, mas sim onde estão mais próximos. Conforme Santos *et al.* (2012), Soares *et al.* (2010b) e Balassiano *et al.* (2011) essa aproximação da ocorrência dos casos pode servir como indicativo de um surto da doença dependendo da escala temporal de registro.

A dispersão da concentração dos casos em núcleos pode indicar a ocorrência de eventos ambientais em larga escala, como inundações e/ou alagamentos, que podem gerar um aumento das ocorrências em regiões mais suscetíveis. Essa relação, entre aumento de casos em regiões onde ocorreram eventos hidrológicos foi relatada em Santos *et al.* (2012) e Costa *et al.* (2001).

Ao abordar o método local Getis-Ord G_i^* , Puttanapong (2019) identificou locais para alocação de recursos da saúde, visando diminuir a ocorrência de casos de leptospirose. No entanto, a escala de análise utilizada pelos autores é municipal, com total de casos por município. Ao aplicar métodos de agrupamento em escala de detalhe maior, utilizando o local de moradia do paciente, é possível identificar o comportamento distinto que a leptospirose pode apresentar dentro de uma mesa região, nesse caso o limite municipal. O método Local Moran's I destacou que Porto Alegre possui um comportamento da doença distinto entre as regiões norte e sul, com destaque para o eixo urbano oeste-leste na região norte, que concentra a maior incidência de casos.

Esses agrupamentos distintos identificados pelo método HDBSCAN indicam um padrão de contágio diferente para cada parte da cidade, norte e centro/sul. Esses padrões podem ser atribuídos

a diferença de uso e ocupação do solo, conforme Balassiano *et al.* (2011) e Pelissari *et al.* (2011). Segundo Basso: Righi (2015) a região norte possui a maior concentração populacional do município, menor IDH e maior concentração de casos. O padrão construtivo de alguns bairros e casas nessa região é não planejado, possuindo locais de acúmulo de lixo urbano e constantes alagamentos/inundações (GRAOSQUE, 2015). Oliveira e Guasselli (2011) ao relacionarem a suscetibilidade a inundações com a falta de capacidade nos condutos do sistema de drenagem da Sub-bacia do Arroio da Areia, em Porto Alegre, localizaram 16 dos 27 pontos de deficiências em áreas altamente suscetíveis a inundações.

Esses pontos ocorrem nas classes Alta e Muito Alta de suscetibilidade a inundações, e se encontram dentro ou próximos a clusters de casos de leptospirose identificados pelos métodos HDBSCAN e Local Moran's I. Segundo dados do ObservaPOA, para os anos de 2013 e 2014, há registro de 11 eventos de alagamentos nessa mesma região do município. Esses dados indicam uma relação de causa e efeito entre doença e a localização dessas áreas. A falta de capacidade dos condutos, identificados por Oliveira e Guasselli (2011), acarreta os eventos de alagamentos, como os registrados pelo ObservaPOA, esses eventos podem vir a potencializar surtos de casos de leptospirose localizados nessa região que foram identificados pelos métodos de agrupamento.

Tucci (2000) ao analisar o sistema de proteção por diques e estações de bombeamento no município de Porto Alegre, indicou que esse sistema não resolve os problemas relacionados aos eventos de inundações/alagamentos, somente altera a curva de probabilidade dos eventos, resultante em uma série mais extensa. A identificação da ocorrência desses eventos de inundações, e os danos e prejuízos causados nas populações ribeirinhas mais vulneráveis, localizadas no noroeste do município, evidenciam a ocorrência dos clusters identificados nessa região pelo método HDBSCAN.

O método HDBSCAN se mostrou mais eficaz para identificar clusters menores, que não necessariamente estão cercados por outros núcleos de contágio de leptospirose. No caso das populações ribeirinhas dessa região, devida a baixa densidade demográfica, o método Local Moran's I se mostrou menos refinado na identificação de pequenos clusters de ocorrência de casos.

4.1.5 CONCLUSÕES

O uso de duas ferramentas distintas de análise por clusters se mostrou eficaz para a identificação de núcleos de contágio da doença com diferentes características. O método HDBSCAN foi eficaz para identificar núcleos de diferentes tamanhos de contágio da doença, sendo possível identificar de forma mais simples e imediata os locais que necessitam de mais atenção dos profissionais da saúde em relação ao elevado número de contágio. O método Local Moran's I se mostrou mais eficaz na análise em escala regional dos casos, em grandes áreas, sendo possível identificar o comportamento dos casos concentrados em núcleos, dos locais sem registros de casos, e dos locais intermediários a essas regiões. O uso em conjunto dos dois modelos se mostrou complementar, sendo possível uma análise mais robusta dos casos a partir de diferentes perspectivas científicas.

4.2 ARTIGO 2

ANÁLISE HIERÁRQUICA DE PROCESSO PARA A ANÁLISE DE CASOS CONFIRMADOS DE LEPTOSPIROSE, MUNICÍPIO DE PORTO ALEGRE – RS

RESUMO

Métodos estatísticos podem ser aplicados na análise espacial de doenças como a leptospirose relacionadas à sazonalidade de eventos ambientais, como alagamentos e inundações. Classificada como uma doença de veiculação hídrica, sua dinâmica de contágio e alcance não se limita a variáveis socioeconômicas, e está relacionada a questões ambientais que podem agravar a sua ocorrência em determinadas regiões. Esse trabalho tem como objetivo aplicar o método de Análise Hierárquica de Processo (AHP), a partir da influência de variáveis relacionadas ao processo de contágio da leptospirose, e elaborar um mapa de classificação da vulnerabilidade da população no município de Porto Alegre. Para isso foi utilizado o software ArcGIS 2.9.3 e dados relacionados ao saneamento básico, renda, densidade demográfica, aglomerados subnormais e alagamentos/inundações. Para validação e comparação, o registro de casos de leptospirose no município, entre os anos 2007 e 2019, foi geocodificado e elaborado um mapa de pontos de calor. Os resultados mostram a existência de um arco de contágio da doença no entorno da região central do município. Nesse arco de concentração de casos registrados, identificadas pelo método AHP, ocorrem regiões classificadas como de alta vulnerabilidade da população.

Palavras-Chave: Leptospirose, Análise Hierárquica de Processo, *Doenças de Veiculação*

Hídrica.

**METHOD OF HIERARCHICAL PROCESS ANALYSIS FOR THE ANALYSIS OF
CONFIRMED CASES OF LEPTOSPIROSIS, MUNICIPALITY OF PORTO ALEGRE -
RS**

ABSTRACT

Statistical methods can be applied in the spatial analysis of diseases such as leptospirosis related to the seasonality of environmental events, such as floods and inundations. Classified as a waterborne disease, its contagion dynamics and reach are not limited to socioeconomic variables, and are related to environmental issues that can aggravate its occurrence in certain regions. This work aims to apply the Hierarchical Process Analysis (AHP) method, based on the influence of variables related to the leptospirosis contagion process, and to develop a classification map of the vulnerability of the population in the city of Porto Alegre. For this, the ArcGIS 2.9.3 software and data related to basic sanitation, income, population density, subnormal agglomerations and flooding/flooding were used. For validation and comparison, the record of leptospirosis cases in the municipality, between the years 2007 and 2019, was geocoded and a map of heat points was prepared. The results show the existence of an arc of contagion of the disease in the surroundings of the central region of the municipality. In this arc of concentration of registered cases, identified by the AHP method, there are regions classified as having high vulnerability of the population.

Keywords: Leptospirosis, Analysis Hierarchical Process, Waterborne Diseases.

4.2.1 INTRODUÇÃO

Casos de leptospirose são registrados em várias partes do mundo, sendo sua ocorrência mais comum em países com baixa taxa de infraestrutura relacionada, principalmente, ao saneamento básico. Em relação ao comportamento epidemiológico da doença, a leptospirose faz parte do grupo de doenças de veiculação hídrica (DOZSA; DEL MONEGO; KUMMER, 2016a; GUTIÉRREZ *et al.*, 2019; SOARES *et al.*, 2010b; VANASCO *et al.*, 2008), com maior incidência em populações em estado de vulnerabilidade socioeconômica (RODRIGUES, 2015; SOARES *et al.*, 2014). Nesse grupo, a água atua como o principal vetor de transmissão das doenças, podendo criar/potencializar o contágio dessas doenças em uma determinada região.

As inundações são eventos naturais da dinâmica fluvial relacionadas ao excedente hídrico em eventos extremos de precipitação (CEPED/RS, 2016). Entretanto, as intervenções antrópicas, como o desflorestamento, a canalização de leitos fluviais, a urbanização e a impermeabilização do solo, alteram as dinâmicas fluviais e favorecem a intensificação desses eventos, ocasionando um aumento da suscetibilidade à eventos adversos (CEPED/RS, 2016). Para Manuel (2017) entre as principais falhas da saúde em relação à doença os óbitos evitáveis e a falta de investimento na gestão da vigilância e do controle da leptospirose. E indica a necessidade de novos estudos que, além de abordar novas formas de diagnosticar a doença em sua fase precoce, procurem, a partir das interações ecológicas da doença, formas de diminuir o elevado número de subnotificações da doença.

O uso de técnicas de análise espacial pode atuar como ferramenta para mapeamento de áreas de alagamento, tornando possível a identificação de áreas suscetíveis ao contágio de leptospirose com populações em estado de vulnerabilidade (DOZSA; DEL MONEGO; KUMMER, 2016b; GUIMARÃES *et al.*, 2014; SANTOS, Leonardo Bacelar Lima *et al.*, 2012). O Processo de Análise Hierárquica (AHP), desenvolvido por Saaty (SAATY, 1977; SAATY; NIEMIRA, 2006) é um método estatístico que pode ser utilizado para a análise espacial das variáveis socioambientais envolvidas no processo de contágio da leptospirose. Essa ferramenta permite quantificar as variáveis envolvidas no processo de contágio e a partir de sobreposição, utilizando ferramentas de geoprocessamento, definir áreas onde a população é mais vulnerável ao contágio da doença. Assim, esse trabalho propõe definir áreas com populações vulneráveis à leptospirose a partir do método estatístico AHP, e com o uso de variáveis envolvidas no processo de contágio da doença.

4.2.2 METODOLOGIA

Para definição das áreas com populações vulneráveis ao contágio de leptospirose, a metodologia foi estruturada em três etapas principais: Aquisição das Bases de Dados; Aplicação do Método AHP; e Produção dos Resultados.

Aquisição das Bases de Dados

Consulta a Literatura para Definição das Variáveis: foi realizada uma consulta ao referencial teórico para definição das variáveis utilizadas no AHP. Foram definidas as seguintes variáveis: (a) variáveis físicas relacionadas à suscetibilidade: inundações/alagamentos (ANDRE-FONTAINE; AVIAT; THORIN, 2015; NAVA *et al.*, 2017; SANTOS *et al.*, 2012); (b) variáveis socioeconômicas relacionadas à vulnerabilidade socioeconômica da população: renda, densidade demográfica, saneamento básico (MESQUITA *et al.*, 2016; PELISSARI *et al.*, 2011; RODRIGUES, 2015).

Aquisição das Bases de Dados: após consulta ao referencial teórico para definição das variáveis relacionadas ao contágio da leptospirose, foram selecionadas as bases de dados, Quadro 4, conforme a disponibilidade de dados públicos para o município de Porto Alegre.

Quadro 4 - Bases de dados utilizadas no método AHP.

Variável	Fonte	Ano
Pontos de Alagamento	ObservaPOA	2013/2014
Aglomerados Subnormais	Setores Censitários IBGE	2010
Média do número de moradores em domicílios particulares	Setores Censitários IBGE	2010
Valor do rendimento nominal médio mensal das pessoas responsáveis por domicílios particulares permanentes	Setores Censitários IBGE	2010
Domicílios particulares permanentes com abastecimento de água de poço ou nascente na propriedade	Setores Censitários IBGE	2010
Domicílios particulares permanentes com banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via fossa rudimentar	Setores Censitários IBGE	2010
Domicílios particulares permanentes com banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via vala	Setores Censitários IBGE	2010
Domicílios particulares permanentes, com banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via rio, lago ou mar	Setores Censitários IBGE	2010
Domicílios particulares permanentes com lixo queimado na propriedade	Setores Censitários IBGE	2010
Domicílios particulares permanentes com lixo enterrado na propriedade	Setores Censitários IBGE	2010

Domicílios particulares permanentes com lixo jogado em terreno baldio ou Logradouro	Setores Censitários IBGE	2010
Domicílios particulares permanentes com lixo jogado em rio, lago ou mar.	Setores Censitários IBGE	2010

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ajustes das bases de dados: as bases de dados foram tratadas antes de ser realizada a estatística espacial. Nas bases de pontos de inundação/alagamento e aglomerados subnormais, foram necessários ajustes espaciais para identificar os locais sem registro da variável, ou seja, onde não há nenhum registro de alagamento ou em regiões fora dos aglomerados subnormais. Esses locais receberam o valor 1 (categoria mais baixa). Esse ajuste é necessário para aplicar a ferramenta de sobreposição ponderada no ArcGIS Pro, Weighted Overlay, que precisa da contabilização total das áreas para sua correta execução (ESRI, 2022).

As bases ajustadas foram classificadas pelo método de quebras-naturais (RAMOS *et al.*, 2016), que se mostrou o método mais apropriado para a separação ponderada do grupo de valores de incidências das variáveis na área do município. Os dados foram rasterizados, e reclassificados em 3 classes (1- Baixa, 2- Média, 3- Alta), relacionadas ao nível de incidência da variável. As bases de alagamento/inundações e aglomerados subnormais foram padronizados na mesma classificação, mas com valores apenas na classe 1, que representa a baixa ou nula incidência da variável naquele local; e com a classe 3, que representa a incidência alta incidência da variável naquele local, ou seja, a presença de alagamentos/inundações e/ou a localização de um aglomerado subnormal.

Aplicação do Método AHP

Cálculo da Matriz de Decisão do AHP: a execução do AHP pode ser sintetizada nas seguintes etapas: (1) cálculo da matriz de comparação, para definição das influências de cada variável no processo de contágio a leptospirose nesse caso; (2) validação dos resultados calculados a partir do Coeficiente de Consistência (CR), sendo que o CR precisa ser menor que 10%, porque caso esse valor seja maior a correlação é considerada inconsistente (SAATY, 1977).

Foi realizado o cálculo da matriz comparação do AHP, e definidos os valores de influência de cada variável na aplicação do método de sobreposição. As variáveis mais relevantes no processo de contágio a leptospirose, foram utilizadas no cálculo do AHP indicando quanto uma variável tem de relevância em relação a outra no modelo, esse indicador varia de 1 a 9. Os resultados da matriz são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Ranking das variáveis utilizadas na matriz de comparação do AHP.

Variável	Prioridade	Rank
Áreas de Alagamento/inundação	23,6%	1
Aglomerados Subnormais	16,7%	2
Densidade Populacional	15,9%	3
Domicílios com Lixo Jogado	9,8%	4
Renda Média	7,8%	5
Domicílios com Banheiros do tipo Valas	7,2%	6
Domicílios com Lixo Jogado em Rio, Lago ou Mar	5,3%	7
Domicílios com Banheiros via Rio, Lago ou Mar	4,9%	8
Domicílios com Banheiros Fossa Rudimentar	3,3%	9
Domicílios com Abastecimento por Poço	2,7%	10
Domicílios com Lixo Enterrado	1,6%	11
Domicílios com Lixo Queimado	1,3%	12

Fonte: Elaborado pelo autor.

O coeficiente de consistência (CR) resultante foi de 9,3 % o que é considerado um valor aceitável, segundo a literatura que indica um valor limite de 10% (BRIOZO; MUSETTI, 2015; GOMES; BIAS, 2018). As variáveis de maior prioridade, e que constam no topo da matriz (alagamentos/inundações, aglomerados subnormais, densidade populacional, acúmulo de lixo e renda) são as que mais aparecem na literatura consultada como relacionadas ao processo de contágio da doença (BARCELLOS *et al.*, 2003a; BASSO, 2011; CAMPOS; MARTINS; RESENDE, [s. d.]; MESQUITA *et al.*, 2016; SANTOS *et al.*, 2012; SOARES *et al.*, 2010b).

Produção dos Resultados

Foi utilizada a ferramenta de sobreposição ponderada do ArcGIS Pro, *Weighted Overlay* (ESRI, 2022), para sobreposição das bases a partir dos percentuais de prioridade definidos pela matriz de decisão. Isto é necessário pois o AHP não é por si só um método de estatística espacial, e sim de cálculo de influências entre as variáveis–utilizadas de entrada no modelo, a partir da definição de importância que uma variável tem em relação a outra. No entanto, ele pode ser utilizado em conjunto com uma ferramenta de estatística espacial para que o resultado possa ser especializado e exibido na forma de mapas.

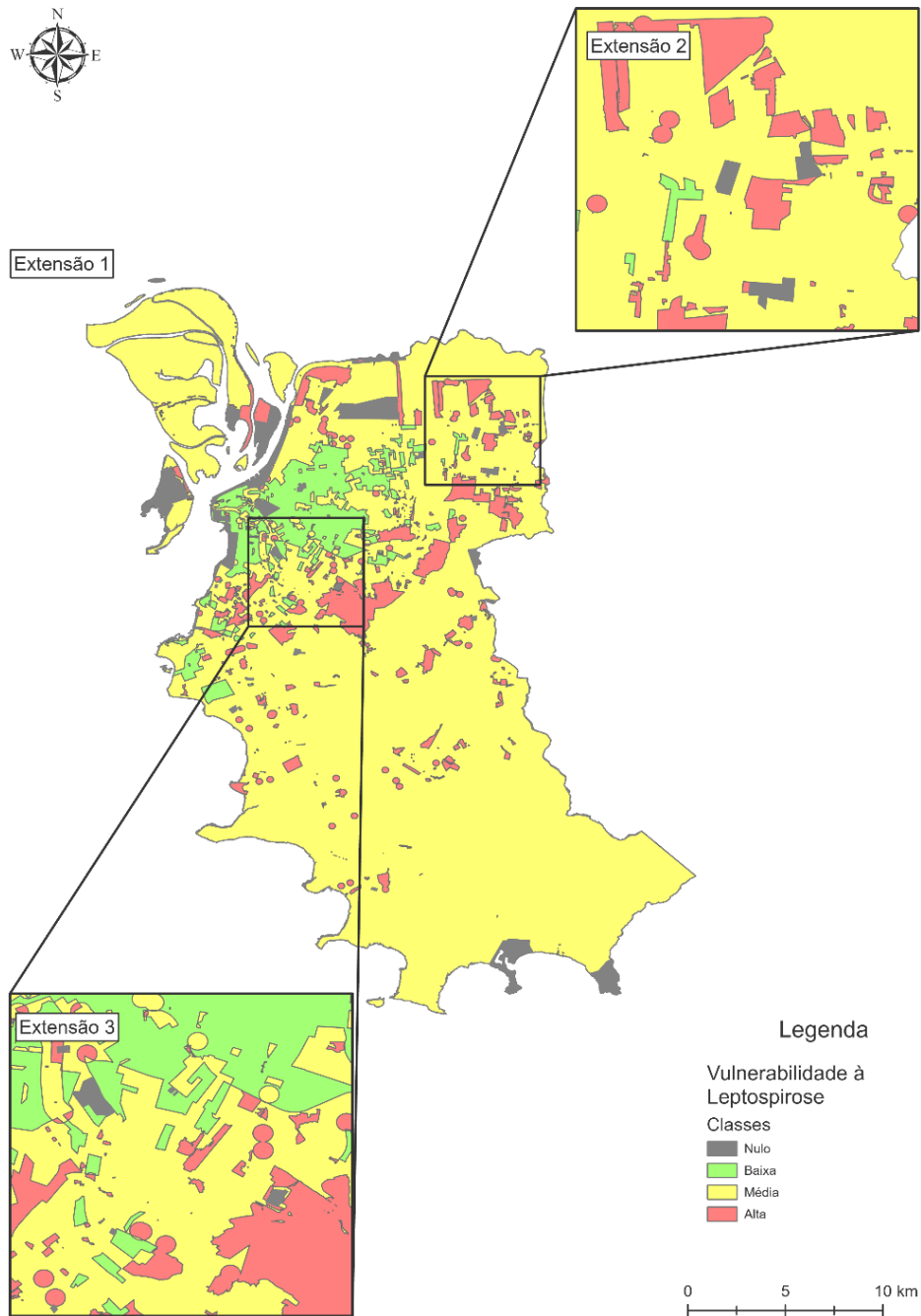
Ajuste dos resultados do AHP: foi realizada a vetorização das bases, convertendo de raster para vetor os resultados e classificados em 3 classes (1- Baixa, 2- Média, 3- Alta). Essas classes representam o nível de vulnerabilidade da população em relação ao contágio de leptospirose. Seguindo a mesma distribuição feita individualmente para cada variável ao ser classificada antes da entrada na ferramenta de sobreposição ponderada.

Comparação com a base de casos registrados de leptospirose: foram utilizados os dados de casos confirmados de leptospirose no município de Porto Alegre, entre os anos de 2007 e 2019, para validação do resultado obtido pelo AHP. O registro de casos passou pelo processo de geocodificação, utilizando a ferramenta Hqgis, do software Qgis 3.16, para criação da malha de pontos com o local de registro dos casos registrados da doença. Foi realizada análise dos resultados do AHP a partir da quantificação dos casos de leptospirose e elaboração de um mapa de pontos de calor, com os locais de maior concentração de casos registrados. Essa comparação foi realizada como forma de validação da acurácia espacial das variáveis utilizadas no modelo e os valores de influência atribuídos.

4.2.3 RESULTADOS

O mapa mostra a sobreposição ponderada a partir dos pesos definidos para as variáveis no método AHP (Figura 23), para o município de Porto Alegre.

Figura 23 - Vulnerabilidade a leptospirose, a partir da Sobreposição ponderada pelo método AHP, município de Porto Alegre.



Fonte: Elaborado pelo autor.

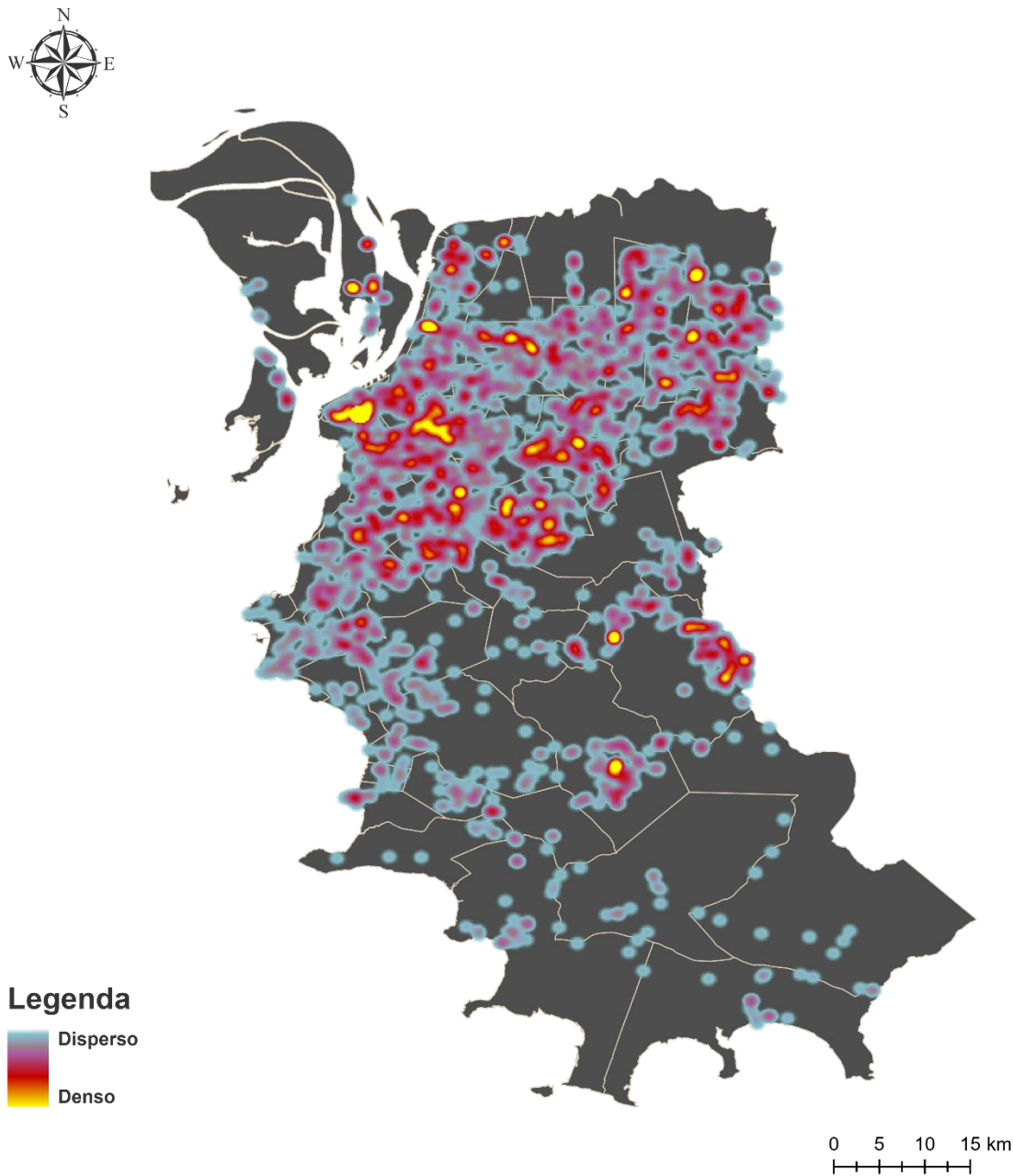
A classe predominante de vulnerabilidade a leptospirose no município de Porto Alegre é a “Média”, seguida pela classe “Baixa” e depois “Alta”. A classe alta foi identificada em regiões com ocorrência de registros de alagamentos nos anos de 2013 e 2014 (ObservaPOA, 2022), e locais classificados como de aglomerados subnormais no censo IBGE (2010). A classe baixa foi identificada na região central da cidade, no eixo oeste-leste, local com maior densidade demográfica do município. Embora a densidade demográfica seja uma variável entre as mais relevantes para o modelo, a renda nesses locais também é elevada, gerando um equilíbrio na ponderação das variáveis envolvidas no modelo. Como também são regiões com poucos registros de casos de alagamentos/inundações e sem aglomerados subnormais, o modelo classificou a população residente com de baixa vulnerabilidade em relação ao contágio de leptospirose.

O recorte extensão 2, identifica a região nordeste com classes média e alta. Nessa região se encontram bairros com elevada densidade populacional, populações de classe baixa/média, aglomerados subnormais e registro de alagamentos/inundações. Essa região costuma ter um elevado número de registros de alagamentos e inundações devido ao sistema precário de escoamento que rapidamente em situações de chuvas severas entra em colapso (OLIVEIRA; GUASSELLI, 2011). Mesmo assim, nessas áreas ainda não tem uma base pública de mapeamento com registro desses eventos que costumam impactar a região. Os polígonos vermelhos destacam os locais com registros de alagamento, e foram determinados a partir de um raio estimado de 150 m. Mas, a área de abrangência desses eventos pode ser maior.

No recorte extensão 3, se destacam as áreas de baixa vulnerabilidade. Mesmo com a alta densidade demográfica, outras variáveis relacionadas ao contágio influenciaram mais no modelo por não terem alta influência nessa região, como renda, falta de registros de alagamentos/inundações, coleta adequada do lixo, saneamento básico adequado e nenhum aglomerado subnormal. A classe média representa a maior parte do município e atua como uma zona de transição entre a classe baixa e alta. São poucas as regiões onde as classes baixa e altas são limítrofes, isso indica uma harmonia dos resultados, ou seja, as variáveis utilizadas possuem uma lógica espacial de hierarquia, não havendo mudanças drásticas entre as classes. Algumas regiões identificadas como nulas (cinza), não puderam ser analisadas pela falta de registros na base de dados de setores censitários, não sendo possível realizar a inserção do local na ferramenta de sobreposição.

O mapa com o total de caos registrados de leptospirose espacializados a partir da técnica de pontos de calor, Figura 24, foi elaborado para validar o resultado da sobreposição ponderada.

Figura 24 - Concentração de casos de leptospirose, entre 2007 e 2019, município de Porto Alegre.

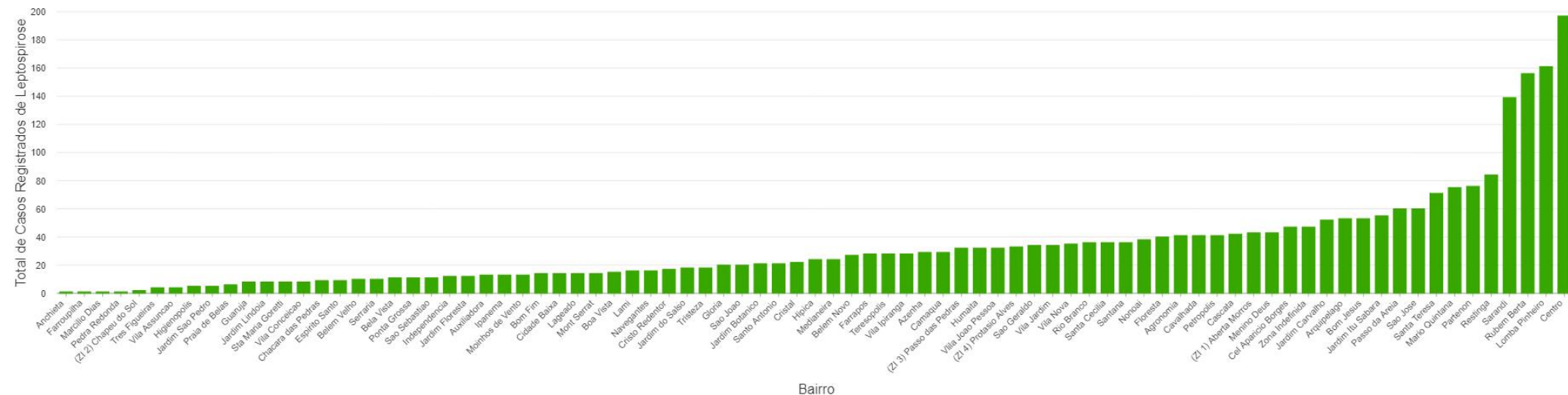


Fonte: Elaborado pelo autor.

A concentração dos casos ocorre no eixo oeste-leste do município, na região norte, e se expande pelo nordeste. A região sul do município possui a menor concentração de casos, e mostra um comportamento disperso dos casos registrados, no entanto ainda possui um elevado número de casos registrados nos bairros Restinga, Lomba do Pinheiro e Cavallhada.

Também ocorrem pontos de concentração de casos no arquipélago das ilhas, região noroeste do município, que se encontra na 13ª posição entre os bairros com os maiores registros de casos (Figura 25). Esse bairro, mesmo com baixa densidade demográfica em comparação ao eixo central do município, possui um número de pontos de concentração de casos elevado na população, se mostrando um local suscetível ao contágio de leptospirose conforme já tinha sido abordado por Basso (2011) em seu trabalho sobre o registro de casos de leptospirose no município.

Figura 25 - Gráfico com o total de casos registrados de leptospirose por bairro.

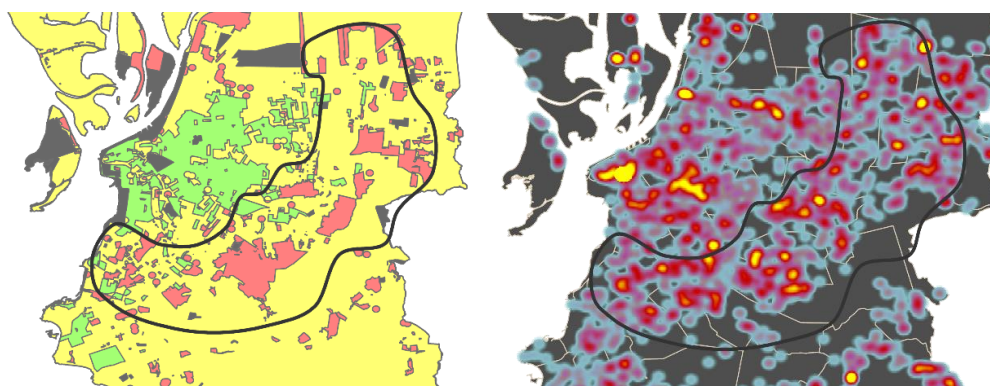


Fonte: Elaborado pelo autor.

Com exceção ao bairro Centro, Figura 26, os outros bairros com maior registro de casos na sequência estão localizados em locais indicados pelo AHP como sendo predominantemente da classe “Alta” (Lomba do Pinheiro, Rubem Berta, Sarandi e Restinga). A classe “Baixa” foi determinada, principalmente, pela renda dos setores censitários, que por ser um fator inversamente relacionado ao contágio da doença, ou seja, quanto maior a renda menor são as chances de contágio, isso acabou refletindo nos bairros centrais como o Centro, Moinhos, Bom Fim, Menino Deus e demais bairros de classe média a alta presentes nessa região do município, onde outras variáveis relacionadas ao contágio também não são incidentes nessas regiões.

O resultado da comparação entre as áreas de vulnerabilidade ao contágio de leptospirose geradas pelo método AHP e os casos registrados da doença, pode ser observado na Figura 26.

Figura 26 - Arco de contágio de leptospirose, município de Porto Alegre.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O polígono a esquerda na Figura 26, mostra um conjunto de áreas nas classes alta e média de vulnerabilidade ao contágio de leptospirose. O polígono a direita as áreas identificadas pela sobreposição ponderada resultante do método AHP. O mapa de casos registrados, do lado direito da Figura 26, validou essas regiões a partir da presença de núcleos de casos registrados entre os anos de 2007 e 2019. Isso evidencia que existe uma correlação de áreas suscetíveis ao contágio com populações em estado de vulnerabilidade e de casos registrados de leptospirose nessa mesma região.

4.2.4 DISCUSSÃO

De forma geral, trabalhos abordam de forma qualitativa a influência dessas variáveis, e não de forma quantitativa, conforme proposto pelo modelo. Dessa forma, se faz necessário utilizar outros métodos para validação dos resultados que são obtidos a partir da definição das influências no cálculo do AHP. Uma das formas pode ser a comparação com uma base de casos registrados.

Basso (2011) ao analisar o registro de casos de leptospirose no município de Porto Alegre, identificou o comportamento dos casos registrados em sua maioria na região nordeste do município, e na região das ilhas, ao noroeste. O autor utilizou a base de aglomerados subnormais do censo do IBGE, e de rendimentos para análise dos resultados. Oliveira (2013) associou o contágio de leptospirose a fatores socioeconômicos, ambientais do tipo climáticos e do preparo prévio dos agentes de saúde para identificação da doença.

Foram considerados para a análise dos casos no município diversos fatores socioeconômicos, a partir da consulta de referências da área (DA SILVA; BOING, 2007; NAVA *et al.*, 2017; SANTOS, L. *et al.*, 2012), possíveis de mensurar com o uso da base de setores censitários do IBGE. No entanto, para as variáveis ambientais, ainda são necessárias bases de dados sobre o impacto dos eventos de alagamento/inundação que ocorrem no município.

As informações de locais com registros de eventos de alagamento/inundação são pontuais, e indicam apenas onde ocorreram inundações, e não sua abrangência espacial e a duração do evento. Esses fatores segundo Santos (2012) são importantes para a avaliação dos impactos que eventos de alagamento/inundação podem causar no aumento do registro de casos. Rodrigues (2015) ao analisar os fatores relacionados ao contágio da leptospirose, ressalta que no Brasil os aspectos mais evidentes estão relacionados ao saneamento, a forma de consumo da água e a resiliência da população a desastres naturais. Esses fatores estão diretamente relacionados à classe social das populações que se encontram em locais atingidos por eventos hidrológicos, com acúmulo de lixo ou saneamento precário.

Esses fatores justificam a atribuição de peso alto a variável renda no cálculo do AHP. No entanto, o uso dessa variável poderia ser refinado se fosse utilizada uma variável ambiental mais refinada de mesma importância, como alagamentos/inundações com informações de tempo de

duração do evento e área total de abrangência da lâmina d'água. Assim seria possível realizar uma ponderação entre essas duas variáveis de grande importância para o contágio da leptospirose, como abordado no trabalho de Silveira et al. (2018).

Silveira et al. (2018) ao estudarem a relação entre casos de hepatite A e áreas de inundação, identificaram um surto de ocorrência da doença após o registro de eventos de inundação que atingiram o município algumas semanas antes do aumento anômalo no registro dos casos nos postos de saúde locais. Isso evidencia a importância das variáveis ambientais no processo de contágio de doenças de veiculação hídrica, e como uma base de dados de qualidade pode ajudar a mapear com maior exatidão a ocorrência de surtos desse tipo de doença.

A região caracterizada por aglomerados subnormais de baixa renda e registros de alagamento/inundação. Essas características são destacadas em COSTA *et al.*, 2015; DE BRITO; EVERS; HÖLLERMANN, 2017; LARA *et al.*, 2019; NAVA *et al.*, 2017; SOARES *et al.*, 2010b, como de grande relevância para o contágio da doença. As áreas periféricas ao conjunto de morros no município, são em parte áreas com densidade demográfica baixa em relação a região central, identificadas como de baixa de vulnerabilidade ao contágio de leptospirose. E significa que não possuem esses núcleos de contágio relacionados necessariamente à densidade demográfica da região, e sim pelo elevado número de casos registrados da doença na população local.

O AHP é um método eficaz para auxiliar no processo de ponderação das variáveis envolvidas, nesse caso, no contágio de leptospirose. No entanto, são necessários mais trabalhos que quantifiquem o quanto uma variável é mais/menos prioritária que outra no processo de contágio, ou até mesmo se possuem uma relação igualitária de importância. O método AHP por si só não faz esse tipo de determinação e teste de hipóteses, sendo dependente do valor que o usuário irá determinar de importância para cada variável que for utilizada. Com o método é possível ajustar a consistência do modelo a partir do C.R, mas isso não garante a eficácia da correlação entre as variáveis, só consistência lógica do modelo.

4.2.5 CONCLUSÕES

Esse trabalho se propôs definir áreas com populações vulneráveis a leptospirose a partir do método estatístico AHP, e com o uso de variáveis envolvidas no processo de contágio da doença. O AHP se mostrou eficiente para a identificação de áreas suscetíveis ao contágio de leptospirose no município de Porto Alegre. A concentração dos casos ocorre no eixo oeste-leste do município, na região norte, e se expande pelo nordeste. A região sul tem a menor concentração de casos.

Um dos grandes desafios no uso desse método está relacionado às bases de dados disponíveis. Para validação é aconselhável utilizar outras bases de dados para validação dos resultados obtidos, ao comparar com os casos de leptospirose registrados, ou o uso de outros métodos estatístico que façam uso do teste de hipóteses para validar os pesos atributos a cada variável, como o método de árvore de decisão ou outros de aprendizado de máquina. Destacamos principalmente a não disponibilidade de variáveis ambientais, com dados públicos. Como, por exemplo, a falta de dados de registro de alagamentos/inundações.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Um desafio em relação à pesquisa científica no âmbito do geoprocessamento aplicado à saúde, às doenças como a leptospirose e as variáveis relacionadas ao processo de contágio, é a disponibilidade de bases de dados. São necessários dados em diversas escalas que possam contribuir, que evidenciem um comportamento sazonal e sua relação com variáveis ambientais além das variáveis socioeconômicas. Aumentando a qualidade das bases de dados públicos, principalmente os que dizem respeito a eventos hidrológicos, seria possível criar modelos mais robustos de análise espacial e contribuir para gestão do espaço geográfico na área da saúde.

A partir disso são sugeridas algumas recomendações para próximas pesquisas, com o intuito de que sejam elaborados cada vez mais estudos que busquem analisar a dinâmica espacial da leptospirose:

- A elaboração de trabalhos que busquem mapear a dinâmica hidrológicas de municípios constantemente afetados por eventos de alagamento e inundação, como o de Porto Alegre;
- Mais trabalhos que busquem ponderar variáveis envolvidas no processo de disseminação da doença, para que se possa estabelecer com mais confiança o quanto uma variável é mais determinante que outra no processo de contágio;
- Aplicação de outras metodologias de análise espacial para pesquisa em leptospirose, como o método de árvore de decisão e de aprendizado de máquina;
- Trabalhos que apliquem os métodos de análise espacial já utilizados para a leptospirose em outros contextos espaciais, como locais em maiores altitudes, com diferentes dinâmicas climáticas e hidrológicas, níveis socioeconômicos etc. Para que seja possível identificar o comportamento dos métodos em ambientes distintos.

REFERÊNCIAS

- ANDRE-FONTAINE, Genevieve; AVIAT, Florence; THORIN, Chantal. Waterborne Leptospirosis: Survival and Preservation of the Virulence of Pathogenic *Leptospira* spp. in Fresh Water. **Current Microbiology**, [s. l.], v. 71, n. 1, p. 136–142, 2015.
- ANSELIN, Luc. Local Indicators of Spatial Association—LISA. **Geographical Analysis**, [s. l.], v. 27, n. 2, p. 93–115, 1995.
- BALASSIANO, Ilana Teruszkin *et al.* Aspectos Clínicos de Leptospirose Anictérica em Plantador de Arroz na Região Sul do Brasil. **Revista de Saúde**, [s. l.], v. 2, n. 1, p. 61, 2011. Disponível em: <http://editorauss.uss.br/index.php/RS/article/view/133>.
- BARCELLOS, Christovam *et al.* Distribuição espacial da leptospirose no Rio Grande do Sul, Brasil: recuperando a ecologia dos estudos ecológicos. **Cadernos de Saúde Pública**, [s. l.], v. 19, n. 5, p. 1283–1292, 2003. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14666210>.
- BASSO, Luís Alberto. Cases of Hepatitis a and Leptospirosis in the Municipality of Porto. **Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde**, [s. l.], v. 11, n. 20, p. 66–84, 2011. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/hygeia%0A>.
- BENÍTEZ, Doris Jimena Roncancio. **Vulnerabilidade Social e ocorrência de doenças gastrointestinais associadas com inundações no Município de São Paulo**. 2015. 108 f. - Universidade de São Paulo, [s. l.], 2015.
- BEZERRA, H.M.C. *et al.* Comprometimento do sistema nervoso na leptospirose II: Avaliação do líquido cefalorraqueano. **Arquivos de Neuro-Psiquiatria**, [s. l.], v. 51, n. 4, p. 464–468, 1993.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. SECRETARIA DE VIGILÂNCIA EM SAÚDE. **Guia de Vigilância em Saúde**. 1. ed. Brasília - DF: Ministério da Saúde, 2014.
- BRIOZO, Rodrigo Amancio; MUSETTI, Marcel Andreotti. Método multicritério de tomada de decisão: Aplicação ao caso da localização espacial de uma Unidade de Pronto Atendimento-UPA 24 h. **Gestao e Producao**, [s. l.], v. 22, n. 4, p. 805–819, 2015.

BROD, Claudiomar Soares; FEHLBERG, Marta Fernanda. EPIDEMIOLOGIA DA LEPTOSPIROSE EM BOVINOS. **Ciência Rural**, [s. l.], v. 22, n. 2, p. 239–245, 1992. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84781992000200020&lng=pt&tlng=pt.

CÂMARA, G. *et al.* Análise Espacial e Geoprocessamento Aplicado a Saúde. *In*: ANÁLISE ESPACIAL DE DADOS GEOGRÁFICOS. Brasília: INPE, 1996.

CAMPOS, Hevandro Souza; MARTINS, Gisele Gomes; RESENDE, Rafael De Oliveira. Leptospirose saúde ambiental, saneamento básico e urbanização. [s. l.],

CEPED/RS. **Capacitação em Gestão de Riscos**. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016.

CHAEBO, Gemael *et al.* Constituição de Consórcios Intermunicipais de Saúde: Uma Aplicação da Técnica de Agrupamento por Clusters. **Latin American Journal of Business Management**, [s. l.], v. 6, n. 2, p. 149–169, 2015.

COSTA, Everaldo *et al.* Formas graves de leptospirose: aspectos clínicos, demográficos e ambientais. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, [s. l.], v. 34, n. 3, p. 261–267, 2001.

COSTA, Federico *et al.* Global Morbidity and Mortality of Leptospirosis: A Systematic Review. **PLOS Neglected Tropical Diseases**, [s. l.], v. 9, n. 9, p. 1–19, 2015. Disponível em: <http://dx.plos.org/10.1371/journal.pntd.0003898>.

CRUZ, Maria Letícia Santos; ANDRADE, Jarbas; PEREIRA, Martha Maria. Leptospirose em crianças no Rio de Janeiro. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, [s. l.], v. 27, n. 1, p. 5–9, 1994.

DA SILVA, Fernanda Lautert Paiva; BOING, Antonio Fernando. **Subnotificação de Casos Confirmados de Leptospirose no Estado de Santa Catarina em 2007**. 2007. 1–7 f. - Hospital Universitário de Florianópolis - SC, [s. l.], 2007.

DE BRITO, Mariana Madruga; EVERS, Mariele; HÖLLERMANN, Britta. Prioritization of flood

vulnerability, coping capacity and exposure indicators through the Delphi technique: A case study in Taquari-Antas basin, Brazil. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, [s. l.], v. 24, n. January, p. 119–128, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijdr.2017.05.027>.

DOZSA, Barbara; DEL MONEGO, Maurici Luzia Charnevski; KUMMER, Larissa. Modelagem Geoestatística Da Ocorrência De Casos De Leptospirose E Alagamentos No Municipio De Curitiba – Pr, No Ano De 2014. **Holos**, [s. l.], v. 1, p. 381, 2016.

ESRI. **Cluster and Outlier Analysis (Anselin Local Moran's I) (Spatial Statistics)**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-statistics/cluster-and-outlier-analysis-anselin-local-moran-s.htm>. Acesso em: 6 fev. 2022.

ESRI. **Density-based Clustering (Spatial Statistics)**. [S. l.], 2021b. Disponível em: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-statistics/densitybasedclustering.htm>. Acesso em: 6 fev. 2022.

ESRI. **Weighted Overlay (Spatial Analyst)**. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/weighted-overlay.htm>. .

FIGUEIREDO, Cláudia Maria de *et al.* Leptospirose humana no município de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil: uma abordagem geográfica. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, [s. l.], v. 34, n. 4, p. 331–338, 2005.

FIGUEIREDO, C. M. *et al.* Leptospirose humana no município de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil: uma abordagem geográfica Human leptospirosis in Belo Horizonte City, Brazil: a geographic approach. **Medicina Tropical**, [s. l.], v. 34, n. 49, p. 331–338, 2001.

GARCIA, Guilherme; ANTONIO, Laurindo. Comparação de métodos para a elaboração do mapa de suscetibilidade a inundações - Sub-bacia do Arroio da Areia , Porto Alegre / RS. **Simpósio Nacional de Geomorfologia**, [s. l.], v. 16, p. 5–15, 2011.

GOMES, Raylton De Carvalho;; BIAS, Edilson Souza. INTEGRAÇÃO DO MÉTODO AHP E SIG COMO INSTRUMENTO DE ANÁLISE DO NÍVEL DE CONSERVAÇÃO AMBIENTAL EM BACIAS INTEGRATION OF THE AHP METHOD AND GIS AS AN ANALYSIS INSTRUMENT OF THE DF . A falta de planejamento tem produzido planejamento e constituem

ameaças ao m. **Geociências**, [s. l.], v. 37, n. 1, p. 167–182, 2018.

GONÇALVES, Nelson Veiga *et al.* Distribuição espaço-temporal da leptospirose e fatores de risco em Belém, Pará, Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, [s. l.], v. 21, n. 12, p. 3947–3955, 2016. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-81232016001203947&lng=pt&tlng=pt.

GRAOSQUE, Jones Zamboni. **Mapeamento de áreas de alagamentos no bairro Santa Maria Goretti , Porto Alegre - RS Mapeamento de áreas de alagamentos no bairro Santa Maria Goretti , Porto Alegre – RS Orientador : 2015.** - UFRGS, [s. l.], 2015. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/141295/000992520.pdf?sequence=1>.

GUIMARÃES, Raphael Mendonça *et al.* Análise temporal da relação entre leptospirose e ocorrência de inundações por chuvas no município do Rio de Janeiro, Brasil, 2007-2012. **Ciência & Saúde Coletiva**, [s. l.], v. 19, n. 9, p. 3683–3692, 2014.

GUTIÉRREZ, Juan David *et al.* Environmental and socioeconomic determinants of leptospirosis incidence in Colombia. **Cadernos de Saúde Pública**, [s. l.], v. 35, n. 3, p. 1–14, 2019. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-311X2019000305007&lng=en&tlng=en.

HASHIMOTO, V Y *et al.* Prevalência De Anticorpos Contra Leptospira Spp . Em Bovinos , Caninos , Equinos , Ovinos E Suínos Do Município De Jaguapitã , Estado Do Paraná , Brasil. **Arquivos do Instituto Biológico**, [s. l.], v. 77, n. 3, p. 521–524, 2010.

IBGE. **IBGE Cidades**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 15 mar. 2020.

JENKS, George F.; CASPALL, Fred C. Error on Choropleth Maps: Definition, Measurement, Reduction. **Annals of the Association of American Geographers**, [s. l.], v. 61, n. 2, p. 217–244, 1971.

KINGSCOTE, B F. Correlation of bedrock type with the geography of leptospirosis. **Canadian journal of comparative medicine. Revue canadienne de médecine comparée**, [s. l.], v. 34, n. 1, p. 31–37, 1970. Disponível em:

<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1319417&tool=pmcentrez&rendertype=e=abstract>.

LARA, Jackeline Monsalve *et al.* Leptospirosis in Campinas, São Paulo, Brazil: 2007-2014.

Revista Brasileira de Epidemiologia, [s. l.], v. 22, p. 2007–2014, 2019.

LONDE, Luciana de Resende *et al.* Flood-related leptospirosis outbreaks in Brazil: perspectives for a joint monitoring by health services and disaster monitoring centers. **Natural Hazards**, [s. l.], v. 84, n. 2, p. 1419–1435, 2016.

LOPES, Luckas Sabioni; TOYOSHIMA, Silvia Harumi; GOMES, Adriano Provezano.

Determinantes Sociais da Saúde em Minas Gerais: uma Abordagem Empírica. **Documentos Técnico-Científicos**, [s. l.], v. 41, n. 1, p. 78–95, 2008.

LUENAM, Amornrat; PUTTANAPONG, Nattapong. Spatial and statistical analysis of leptospirosis in Thailand from 2013 to 2015. **Geospatial Health**, [s. l.], v. 14, n. 1, p. 121–127, 2019. Disponível em: <https://www.geospatialhealth.net/index.php/gh/article/view/739>.

MACEDO, Charles Mendes De. **Aplicação de algoritmos de agrupamento para descoberta de padrões de defeito em software JavaScript**. 2019. - Universidade de São Paulo, [s. l.], 2019.

MACIEL, Thales Vaz *et al.* Mineração de dados em triagem de risco de saúde. **Revista Brasileira de Computação Aplicada**, [s. l.], v. 7, n. 2, p. 26–40, 2015.

MADRUGA DE BRITO, Mariana *et al.* Participatory flood vulnerability assessment: a multi-criteria approach. **Earth Syst. Sci**, [s. l.], v. 225194, n. 1, p. 373–390, 2018. Disponível em: <https://www.hydrol-earth-syst-sci.net/22/373/2018/>.

MANUEL, Rodrigues. Cláudio. O círculo vicioso da negligência da leptospirose no Brasil The vicious circle of the leptospirosis negligence in Brazil. **Rev Inst Adolfo Lutz**, [s. l.], v. 76, n. September, p. 1–11, 2017.

MARTELI, Alice Nardoni *et al.* Análise espacial da leptospirose no Brasil. **Saúde em Debate**, [s. l.], v. 44, n. 126, p. 805–817, 2020.

MCINNES, Leland; HEALY, John; ASTELS, Steve. hdbscan: Hierarchical density based clustering. **The Journal of Open Source Software**, [s. l.], v. 2, n. 11, p. 205, 2017. Disponível em: <http://joss.theoj.org/papers/10.21105/joss.00205>.

MEDEIROS, Amira Rose Costa *et al.* Decision support model applied to the recognition of non-adherent individuals to antihypertensive therapy. **Saúde em Debate**, [s. l.], v. 38, n. 100, p. 104–118, 2014.

MELVIN, Ryan L. *et al.* Visualizing correlated motion with HDBSCAN clustering. **Protein Science**, [s. l.], v. 27, n. 1, p. 62–75, 2018.

MESQUITA, Marilise Oliveira *et al.* Material de educação ambiental como estratégia de prevenção da leptospirose para uma comunidade urbana reassentada. **Cadernos Saúde Coletiva**, [s. l.], v. 24, n. 1, p. 77–83, 2016.

MIASHIRO, Aline Fernanda *et al.* Prevalência e fatores de risco para a leptospirose em bovinos de Mato Grosso do Sul. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, [s. l.], v. 38, n. 1, p. 41–47, 2018.

NAVA, Alessandra *et al.* The Impact of Global Environmental Changes on Infectious Disease Emergence with a Focus on Risks for Brazil. **ILAR Journal**, [s. l.], n. January 2018, p. 1–8, 2017. Disponível em: <http://academic.oup.com/ilarjournal/advance-article/doi/10.1093/ilar/ilx034/4745724>.

OBSERVA POA. **Cinco regiões do OP de Porto Alegre apresentam IDH abaixo da média nacional**. [S. l.], 2015.

OLIVEIRA, Patricia Pereira Vasconcelos de *et al.* Fatores de risco para leptospirose, relacionados à atividade laboral em agricultores de arroz em uma cidade do nordeste do Brasil, 2008. **Journal of Health & Biological Sciences**, [s. l.], v. 2, n. 3, p. 99, 2014.

OLIVEIRA, Teresa Vieira dos Santos de. **Fatores Socioambientais Associados a Eventos Hidrometeorológicos Extremos na Incidência de Leptospirose no Município do Rio de Janeiro – 1997 a 2009. Um estudo de caso**. 2013. 88 f. - Fundação Oswaldo Cruz - FIOCRUZ, [s. l.], 2013.

OLIVEIRA, Marluce Aparecida Assunção *et al.* Human leptospirosis: occurrence of serovars of *Leptospira* spp. in the state of Minas Gerais, Brazil, from 2008 to 2012. **Brazilian Journal of Microbiology**, [s. l.], v. 48, n. 3, p. 483–488, 2017.

OLIVEIRA, Stefan Vilges de; ARSKY, Maria de Lourdes Nobre Simões; CALDAS, Eduardo Pacheco de. Reservatórios Animais Da Leptospirose: Uma Revisão Bibliográfica. **Saúde (Santa Maria)**, [s. l.], v. 39, n. 1, p. 9–20, 2013. Disponível em: <http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/revistasauade/article/view/5094>.

PARAKH, Rupa *et al.* Pantomime and imitation of limb gestures in relation to the severity of Alzheimer's disease. **Brain and cognition**, [s. l.], v. 55, n. 2, p. 272–274, 2004. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15177793>.

PELLISSARI, Daniele Maria *et al.* Revisão sistemática dos fatores associados à leptospirose no Brasil, 2000-2009. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, [s. l.], v. 20, n. 4, p. 565–574, 2011. Disponível em: http://scielo.iec.pa.gov.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1679-49742011000400016&lng=en&nrm=iso&tlng=en.

RAMOS, Ana Paula Marques *et al.* Avaliação qualitativa e quantitativa de métodos de classificação de dados para o mapeamento coroplético. **Revista Brasileira de Cartografia**, [s. l.], v. 68, n. 3, p. 609–629, 2016.

RODRIGUES, Claudio Manuel. One Health: Subsídios para uma Análise Ampliada da Leptospirose como uma Zoonose Negligenciada. **Revista Eletrônica Estácio Saúde**, [s. l.], v. 4, p. 103–116, 2015.

RODRIGUES, Cláudio Manuel. Sobre leptospirose e informação: ampliando os conceitos de negligência em saúde. **ABCS Health Sciences**, [s. l.], v. 42, n. 1, p. 133–141, 2017. Disponível em: <https://www.portalnepas.org.br/abcshs/article/view/949>.

SAATY, Thomas L. A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures. **Journal of Mathematical Psychology**, [s. l.], v. 15, p. 234–281, 1977.

SAATY, Thomas L; NIEMIRA, Michael P. A Framework for Making a Better Decision. **RESEARCH REVIEW**, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 1–4, 2006.

SANTOS, Leonardo Bacelar Lima *et al.* Sobre risco, ameaça e vulnerabilidade à Leptospirose em situações pós-alagamentos, inundações e enxurradas: reconstruindo o episódio do Vale do Itajaí (2008-2009). **Congresso Brasileiro sobre Desastres Naturais**, [s. l.], 2012.

SANTOS, L. B. L. *et al.* Sobre risco, ameaça e vulnerabilidade à Leptospirose em situações pós-alagamentos, inundações e enxurradas: reconstruindo o episódio do Vale do Itajaí (2008-2009). **Congresso Brasileiro de Desastres Naturais**, [s. l.], 2012.

SARKAR, Jaydeep *et al.* Leptospirosis: A re-emerging infection. **Asian Pacific Journal of Tropical Medicine**, [s. l.], v. 5, n. 6, p. 500–502, 2012.

SAÚDE BUSINESS 365. **Leptospirose – Sintomas, Transmissão, Prevenção e Tratamento: Tem cura?**. [s. l.], 2020. Disponível em: <https://www.saudebusiness365.com.br/leptospirose-sintomas-e-prevencao/>. Acesso em: 24 mar. 2020.

SILVA, Paulo Ricardo. **Relações entre a incidência de leptospirose e eventos de inundações urbanas em São José (SC)**. 2013. 68 f. [s. l.], 2013.

SILVEIRA, Péterson Oliveira *et al.* Relação entre casos de hepatite A e áreas de inundação, município de encantado - RS. **Ciência e Saúde Coletiva**, [s. l.], 2018. Disponível em: <http://www.cienciaesaudecoletiva.com.br/artigos/relacao-entre-casos-de-hepatite-a-e-areas-de-inundacao-municipio-de-encantado-rs/17252>.

SOARES, T. S M *et al.* Análise espacial e sazonal da leptospirose no município de São Paulo, SP, 1998 a 2006. **Revista de Saude Publica**, [s. l.], v. 44, n. 2, p. 283–291, 2010a.

SOARES, Douglas de Sousa *et al.* Arrhythmias in leptospirosis-associated acute kidney injury: a case series. **Brazilian Journal of Infectious Diseases**, [s. l.], v. 21, n. 2, p. 209–210, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bjid.2016.11.010>.

SOARES, Joyce Aristercia Siqueira *et al.* Impactos da urbanização desordenada na saúde pública: Leptospirose e infraestrutura urbana. **Polemica**, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 1006–1020, 2014. Disponível em: <http://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/polemica/article/view/9632/7591>.

SOARES, T. S M *et al.* Spatial and seasonal analysis on leptospirosis in the municipality of São

Paulo, Southeastern Brazil, 1998 to 2006. **Revista de Saúde Pública**, [s. l.], v. 44, n. 2, p. 283–291, 2010b.

SOUZA, Luiz José de *et al.* Leptospirose Anictérica em Campos dos Goytacazes / RJ : Análise de 18 casos. **Revista Científica da FMC**, [s. l.], v. 2, n. 1, p. 3–8, 2007.

TUCCI, C. E. M. Conflitos do controle de inundação ribeirinha em Porto Alegre. **Avaliação e controle da drenagem urbana - volume 1**, [s. l.], p. 537–548, 2000.

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. Inundações urbanas na América do Sul. **Associação Brasileira de Recursos Hídricos**, [s. l.], p. 150, 2003.

VANASCO, N. B. *et al.* Clinical characteristics and risk factors of human leptospirosis in Argentina (1999-2005). **Acta Tropica**, [s. l.], v. 107, n. 3, p. 255–258, 2008.