

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
COMISSÃO DE GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**ANÁLISE ESPACIAL DA SUSCETIBILIDADE
DE BOVINOS A LEPTOSPIROSE, RS**

LARISSA CASAGRANDE FOPPA

Porto Alegre

2019

LARISSA CASAGRANDE FOPPA

**ANÁLISE ESPACIAL DA SUSCETIBILIDADE
DE BOVINOS A LEPTOSPIROSE, RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Comissão de Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Geografia.

Orientador: Laurindo Antonio Guasselli

Porto Alegre

2019

LARISSA CASAGRANDE FOPPA

**ANÁLISE ESPACIAL DA SUSCETIBILIDADE
DE BOVINOS A LEPTOSPIROSE, RS**

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Laurindo Antonio Guasselli – UFRGS – Orientador

Prof. Dr. Marcos Wellausen Dias de Freitas - UFRGS

Prof. Dr. Ulisses Franz Bremer - UFRGS

RESUMO

A leptospirose é uma doença bacteriana que tem como principal forma de difusão a eliminação das bactérias *leptospira* pela urina de animais infectados. É uma doença de veiculação hídrica, e sua incidência está associada a eventos de inundações e alagamentos. A sobrevivência da bactéria fora de hospedeiros é possibilitada em meio aquático e ampliada frente a circunstâncias como contato com PH alcalino e temperatura em torno de 30°C. Dentre os hospedeiros estão os bovinos, nos quais a doença leva a falhas no sistema reprodutivo (abortamentos, infertilidade, natimortos) e inclusive a morte. Esse trabalho tem como objetivo definir áreas suscetíveis ao contágio da leptospirose bovina no Rio Grande do Sul, a partir de análise espacial. Esse trabalho foi elaborado de acordo com os seguintes itens: a) revisão bibliográfica visando maior apropriação da temática e a determinação dos fatores ambientais que têm influência na incidência e transmissão de leptospirose; (b) levantamento de dados ambientais, de rebanhos pecuários e casos registrados de leptospirose; (c) criação e organização de um banco de dados no software ArcGIS 10.5, com as informações nas tabelas e vetores georreferenciados; d) aplicação do método estatístico AHP (Analytic Hierarchy Process); e) elaboração de mapas das áreas espacializando as áreas suscetíveis à leptospirose no estado. No mapa de suscetibilidade gerado duas áreas tiveram maior concentração da classe 5 (de maior suscetibilidade), o sudoeste e os municípios a noroeste que tangenciam o Rio Uruguai. As regiões do centro-norte e nordeste foram foco de classes mais baixas. O modelo AHP apresentou qualidades, como sua versatilidade e importância na integração de variáveis no meio. A limitação desse método se apresentou quanto à subjetividade em parte do processo. Em trabalhos futuros se mostra pertinente a proposição de um mapeamento que leve em consideração outros fatores ambientais que impactam os animais nas áreas de pastagem, inclusive para comparação entre os dois mapas.

Palavras-chave: SIG; leptospirose; bovinos; georreferenciamento

ABSTRACT

Leptospirosis is a bacterial disease whose main form of diffusion is the elimination of *leptospiral* bacteria in the urine of infected animals. It's a waterborne disease, with its incidence associated with inundation and flood events. The shed bacteria survives outside hosts in humid environments and the survival rate grows under circumstances such as contact with alkaline pH and temperature around 30°C. Cattle are maintenance hosts of some *leptospira* serovars, in whom this disease leads to reproductive system failures (abortions, infertility, stillbirths) and even death. This study aims to define susceptible areas to leptospirosis infection on cattle in the state of Rio Grande do Sul through spatial analysis. This research was executed according to the following steps: a) literature review and decision making among which environmental factors showed influence the incidence and transmission of leptospirosis; (b) database creation organizing environmental characteristics, livestock herds data and recorded cases of leptospirosis; (c) creation and organization of a geodatabase in ArcGIS 10.5 software d) AHP (Analytic Hierarchy Process) application; e) elaboration of a susceptible areas to leptospirosis map in the state of Rio Grande do Sul. On the resulting map, two areas had the highest concentration of class 5, the most susceptible: the southwest and the northwest municipalities that outskirt the Uruguay River. The northern and northeastern regions were the lower classes focal areas. The AHP model presented qualities such as its versatility and usefulness on the integration of variables in the environment. The limitation of this method was the subjectivity factor that composes the process. In future works would be important to propose another mapping that takes into account other environmental factors that impact animals in grazing areas, targeting the comparison between the two maps.

Keywords: GIS; leptospirosis; cattle; georeferencing

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
1.1 Justificativa.....	9
1.2 Objetivos	10
2. REFERENCIAL TEÓRICO	11
1.1 Leptospirose em bovinos	11
1.2 Fatores ambientais	14
1.3 O uso do SIG.....	16
1.4 Processo Hierárquico Analítico - Analytic Hierarchy Process (AHP).....	18
3. METODOLOGIA.....	21
3.1 Dados ambientais	22
3.2 Aplicação do AHP	26
3.3 Sobreposição Ponderada.....	28
4. RESULTADOS	31
CONCLUSÕES	40
REFERÊNCIAS.....	42

1. INTRODUÇÃO

A leptospirose é uma doença bacteriana que ocorre praticamente em todo o mundo. Sendo uma doença de veiculação hídrica, sua incidência está associada a áreas úmidas, inundações e alagamentos (Rentko et al., 1992; Oliveira, 2008), que permitem a dispersão da bactéria para outros ambientes.

A sua principal forma de difusão é por meio da eliminação das bactérias *leptospira* pela urina de animais infectados, e os seus principais vetores são os roedores, por poderem apresentar leptospiúria¹ ao longo de toda a vida.

Além de humanos, pode afetar diversas espécies animais, tanto domésticas quanto selvagens (Melo et al., 2010; Oliveira et al., 2014). Teoricamente qualquer espécie animal pode ser hospedeira de sorovares² da *leptospira*, mas existem sorovares endêmicos adaptados a hospedeiros naturais, o que favorece sua manutenção no meio (Hashimoto et al., 2010). Bovinos são animais passíveis de contaminação de leptospirose, especialmente em regiões tropicais e subtropicais (Ellis, 1984; Brod e Fehlberg, 1992; Lilienbaum e Souza, 2003).

Em meio rural, alguns fatores que estão relacionados à incidência de leptospirose em estudos urbanos, como alagamentos e lixo acumulado, não se encontram presentes ou ocorrem com menor frequência. Nas áreas de pastagem, onde está presente o gado de criação extensiva, o foco volta-se a fatores como inundações, enxurradas, pH do solo e da água, presença de açudes, densidade animal, índice de chuvas, temperatura.

A dessecação é um dos impedimentos de reprodução e sobrevivência das bactérias quando fora de hospedeiros. Okazaki & Ringen (1957) mostraram a partir de experimentos que, enquanto *L. pomona* pode ser detectada em solo saturado de água após 183-193 dias, apenas podia ser encontrada em solo úmido após 3-5 dias

¹ Fase da Leptospirose em que as bactérias (*Leptospira spp*) podem permanecer nos túbulos contornados renais e serem eliminadas pela urina, de forma intermitente (Schmitt e Jorgens, 2011).

² Diferente variedade de uma determinada espécie de bactéria. (Dicionário de Epidemiologia, Saúde Pública e Zoonoses, 2019).

e não foi detectada em solo seco após um tempo maior que duas horas e meia (Smith e Turner, 1961, tradução nossa)³.

Desde que na presença de hospedeiros adequados e condições favoráveis, podem se manter até por meses no ambiente (Oliveira et al., 2014). Em reservatórios naturais, pode ter caráter assintomático, dificultando o diagnóstico correto e mantendo a longo prazo (meses ou anos) o ciclo de contaminação (Rodrigues, 2015).

Para a extensão máxima da sobrevivência das *leptospiras*, algumas condições são consideradas ideais como, por exemplo, o pH da água e do solo entre 7,2 e 7,4, e temperatura média de 28°C (Avila et al., 1998). Segundo Oliveira (2008 apud Brasil, 1995) experimentalmente foi constatada a persistência de *leptospiras* viáveis na água por até 180 dias.

Alguns fatores podem causar a sua morte como o pH ácido, calor acima de 42 °C (mas não frio ou congelamento) pH alcalino (acima de 8.0), metais pesados, halogênios, desinfetantes, luz solar e dessecação (Perry et al., 2000; Soto et al., 2007).

Os animais portadores da leptospirose podem ser divididos em 3 categorias: portadores em incubação, que entre um período de 2 a 19 dias não eliminam o agente infeccioso; portadores convalescentes, que eliminam o agente ao longo de semanas ou meses, e portadores sadios, que apresentam leptospirúria sem nenhum sinal clínico da doença (Brod, 1992).

No segundo caso, a leptospirose oferece risco de contágio em diversas espécies, pois apesar dos sinais da doença serem perceptíveis, o vetor comumente é o rato ou camundongo, animais pequenos que vivem em locais de difícil acesso. O controle da infestação, principalmente quando animais estão expostos à contaminação, é um desafio para os produtores. No terceiro caso, a complicação se dá frente a ausência de diagnóstico correto e tratamento adequado, permitindo a contínua disseminação da bactéria.

Na pecuária causa danos principalmente em terneiros e fetos. A leptospirose leva predominantemente a falhas no sistema reprodutivo (abortamentos, infertilidade, natimortos), assim como: icterícia, anorexia, pirexia, apatia, anemia

³ Okazaki & Ringen (1957) showed experimentally that while *L. pomona* could be detected in water-saturated soil after 183-193 days, it could only be detected after 3-5 days in damp soil and it could not be detected for more than two and a half hours in dry soil.

hemolítica, hemoglobínúria, mastite e inclusive a morte (Melo et al., 2010; Oliveira, 2014).

O estado do Rio Grande do Sul (RS) é um grande produtor de cabeças de gado. De acordo com o Censo Agropecuário de 2017, é o quinto maior produtor do Brasil (IBGE, 2017). As maiores áreas de pastagem estão no sudeste do estado, região que tem a maior concentração de cabeças por hectare de pasto (56,9). A densidade bovina se mostrou em alguns estudos como um fator que influencia positivamente a incidência de leptospirose (Andycoberry, 2001).

Outro fator ambiental que pode favorecer a disseminação e manutenção de *leptospiras* são as inundações e alagamentos. O RS concentra o terceiro maior número de eventos extremos de precipitação (IBGE, 2008). Esses eventos apresentam uma concentração espacial na mesorregião do Noroeste Rio-grandense em números totais, apesar de os valores serem melhores distribuídos entre os municípios do que em regiões como o Centro Oriental onde há maior registro em cidades específicas.

A partir do uso dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) é possível realizar mapeamentos utilizando dados georreferenciados. O SIG não é uma metodologia, mas uma ferramenta, na qual informações correspondentes a dados espaciais podem ser armazenadas e processadas (Remoaldo et al., 2017). O resultado da integração de diversas variáveis auxilia na análise de uma dada conjuntura por meio de uma leitura sinótica.

1.1 Justificativa

A análise espacial de áreas com registros de infecção por leptospirose pode contribuir para o entendimento da sua ocorrência. Entretanto, há poucas pesquisas com essa abordagem em relação a animais de criação. Em função da alta representatividade da atividade pecuária e das características ambientais do estado, um estudo com foco na dinâmica espaço-temporal se mostra necessário tendo em vista um aprofundamento no que concerne ao entendimento da incidência da leptospirose no Rio Grande do Sul.

1.2 Objetivos

Geral

Definir áreas suscetíveis ao contágio da leptospirose bovina no Rio Grande do Sul a partir de análise espacial.

Específicos

- Determinar as variáveis ambientais envolvidas no processo de contágio da leptospirose em animais a partir de revisão bibliográfica;
- Organizar um banco de dados de casos registrados de leptospirose animal no Rio Grande do Sul;
- Elaborar um modelo espacial de áreas suscetíveis ao contágio da leptospirose animal no Rio Grande do Sul utilizando técnicas de geoprocessamento.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

1.1 Leptospirose em bovinos

O gênero *leptospira* tem uma gama de mais de vinte sorogrupos e 250 sorovares (Gomes, 2015), e seu comportamento frente aos hospedeiros e a sobrevivência no meio ambiente são diferentes. Bovinos normalmente são infectados pelos sorovares *wolffi* e *hardjo*, mas podem servir como hospedeiros acidentais de *Leptospira pomona* (dentro outros), cujo hospedeiro de manutenção é o suíno (Givens e Marley, 2008).

A contaminação pode se dar por meio de feridas na pele e mucosas, sendo transmitida por meio de “secreções nasais e oculares, saliva, sêmen, urina, fezes e leite” (Terra, 2017). Depois de infectados, os animais passam por um período de incubação que pode variar de horas até dias, até ocorrer a excreção das *leptospiras* (Ellis, 1984). A gestação de vacas contaminadas pode levar à mumificação do feto, aborto, natimortalidade ou nascimento de terneiros fracos (Terra, 2017; Ellis, 1984).

A identificação do sorovar é feita por meio de um teste de soroaglutinação, importante no entendimento da ocorrência da infecção. Conhecer os sorovares auxilia ao indicar se a contaminação está ocorrendo entre animais típicos portadores, se espécies diferentes estão perpetuando a infecção no convívio no mesmo espaço, e na formulação de estratégias de controle e produção de imunógenos adequados (Miashiro et al., 2018).

Situações que possibilitam a contaminação entre bovinos estão relacionadas ao compartilhamento de espaços entre espécies como: açudes de dessedentação, pastagem, cocho de sal e ração, bebedouros. Nestes ambientes pode haver contágio por meio, principalmente, de saliva e urina (Martins, 2005; Schoonman e Swai, 2010).

No estudo de Correia et al. os pesquisadores concluíram que durante a estação seca houve 1.92 mais chances de bovinos apresentarem sorovares adaptados aos hospedeiros, enquanto na estação chuvosa a soropositividade a sorovares “acidentais” foi mais comum.

O aumento no índice de chuvas afetou sorovares acidentais e adaptados de maneira diferente: enquanto a prevalência de infecções por sorovares acidentais aumentou consideravelmente durante a época chuvosa, as infecções relacionadas a sorovares adaptados não foram afetadas por mudanças ambientais. (Correia et al., 2017).

A presença de hospedeiros é importante, pois as *leptospiras* apresentam uma resistência relativamente baixa em relação às condições ambientais, mas por outro lado são capazes de se manter por tempo prolongado na maioria das espécies animais (Brod e Fehlberg, 1992). Por isso, os animais contaminados fazem com que a sobrevivência das *leptospiras* naquele meio seja maior.

Uma vez que os bovinos cronicamente infectados são portadores renais e não apresentam sinais clínicos, eles eliminam a bactéria pela urina por longos períodos de tempo, contribuindo desta maneira para a manutenção da infecção nos rebanhos acometidos (Martins, 2005).

Devido a sua característica de transmissão por veiculação hídrica, fatores como chuva, inundações e umidade do solo são considerados na literatura como fatores de suscetibilidade ambiental. Mas variáveis como “tamanho do rebanho”, entretanto, não mostraram resultados unânimes sob a análise de diferentes pesquisadores. Enquanto algumas pesquisas chegam à conclusão de que o tamanho de rebanho não exerce influência na disseminação da doença, outras encontram correlação positiva entre os fatores.

Há de se notar as particularidades sobre alguns tipos de infecção por leptospirose nos grupos animais em análise. Avila et al. (1998) em um estudo realizado com cães registraram maior concentração dos casos nos meses de Março, Agosto, Setembro e Novembro, estando em consonância com a média pluviométrica mais elevada.

Entretanto, sorovares como o *hardjo*, que tem como hospedeiro natural os bovinos, normalmente tem a presença associada a contaminação intra animal e, portanto, nesses casos, um rebanho maior apresenta mais risco para contágio do que períodos chuvosos. O gado (tanto na produção intensiva quanto na extensiva) é criado em rebanhos, ao contrário dos animais domésticos.

No estudo conduzido por Ryan (2012), o tamanho do gado reprodutor foi associado a um risco significativo estatisticamente. As chances do rebanho ser positivo para leptospirose foram 5,47 vezes mais altas em rebanhos com 14 a 23

animais, em comparação com rebanhos onde havia 13 ou menos animais, e 7,08 vezes mais altas em rebanhos com 32,6 a 142 reprodutores.

Na pesquisa de Andicoberry et al. (2001) (tradução nossa) realizada na Espanha:

Três tamanhos de rebanho foram considerados no estudo: A: <10 animais, B: 10±50 e C: >50. Dentre os rebanhos das amostras, 22 pertenciam a categoria A, 143 à categoria B e 43 à categoria C. Sete rebanhos tinham tamanho desconhecido. [...] O tamanho do rebanho não demonstrou ser um fator de risco infecção de *leptospiras spp* no gado nessa área de estudo. Um resultado similar foi obtido por Espí et al. (2000) em uma região próxima do norte da Espanha. No entanto, outros (Ellis, 1994; Lilenbaum e Santos, 1996) relataram um aumento na soroprevalência do sorovar *hardjo* em rebanhos maiores.⁴

O gado é um animal suscetível ao contágio e a literatura mostra que a transmissão intra animal nessa espécie é importante para a manutenção da leptospirose no ambiente, principalmente em se tratando do sorovar *hardjo* (Ellis, 1984; Ryan et al., 2012).

A análise multivariada dos fatores de risco para a infecção por *Leptospira spp.* em rebanhos bovinos da região centro-sul demonstrou que propriedades com número ≥ 43 fêmeas possuem maiores chances de serem positivas para a *Leptospira spp.* que propriedades com menor número de fêmeas (Hashimoto et al., 2010).

Hashimoto et al. (2010) verificaram a prevalência de anticorpos *leptospira spp.* em: bovinos, caninos, equinos, ovinos e suínos, e a correlação entre um número maior de bovinos e a incidência de leptospirose. A importância da densidade animal também foi apontada em um estudo realizado com bovinos leiteiros:

A leptospirose em rebanhos bovinos leiteiros pode estar associada à densidade animal, pois os animais convivem mais aglomerados, logo, mais expostos, direta ou indiretamente, ao micro-organismo ou à presença do agente etiológico no ambiente em condições climáticas satisfatórias. A aglomeração de animais favorece a disseminação de doenças para os suscetíveis no interior das populações, à medida que o número de animais e o tempo de exposição aumentam (Paixão et al., 2016).

A produção de gado é a segunda maior da pecuária gaúcha, depois das aves. É uma espécie importante economicamente, e a leptospirose tem como

⁴ Three different herd sizes were considered in the study, arbitrarily named as A (<10 animals), B (10±50 animals) and C (>50 animals). Of the sampled herds, 22 were of category A, 143 of category B and 43 of category C. Size was unknown for seven herds. [...] Herd size does not seem to be a risk factor for *Leptospira spp.* infection in cattle in the study area. A similar result has been reported recently by Espí et al. (2000) in a close region in northern Spain. However, others (Ellis, 1994; Lilenbaum and Santos, 1996) have reported an increase in seroprevalence against serovar *hardjo* in larger herds.

principal consequência afetar o sistema reprodutivo, causando perda de fetos ou a morte de terneiros.

Essa espécie tanto é hospedeira principal de alguns sorovares como pode ser contaminada por outros, servindo de hospedeiros acidentais. É, portanto, um grupo animal vulnerável a essa doença e a literatura aponta condições ambientais que tiveram correlação positiva com um maior índice de animais infectados.

1.2 Fatores ambientais

As diferentes escalas de análise espacial da leptospirose permitem considerar fatores de suscetibilidade também distintos.

Estudos em escala local analisaram a incidência da doença entre machos e fêmeas, o piso das baias (terra ou cimento), a prática de co-pastagem entre espécies, raça, tipo de exploração, Normalmente esses estudos envolvem a aplicação de questionários aos proprietários das residências ou fazendas (Lilenbaum e Souza, 2003; Schoonman e Swai, 2010; Bier et al., 2013).

Para escalas regionais, como a pastagem do Rio Grande do Sul, os fatores ambientais passíveis de análise precisam compreender áreas mais extensas e estar disponíveis a acesso sem a consulta direta com os produtores rurais. Esses fatores podem ser índices climáticos, fenômenos naturais, características pedológicas, hidrológicas, geomorfológicas, etc.

Há trabalhos que abordam a incidência da doença em relação a fatores ambientais nessas duas escalas. A única variável que teve de ser consultada na revisão bibliográfica de acordo com a escala local foi a densidade de bovinos e a influência demonstrada na disseminação e manutenção da leptospirose.

Em uma análise de suscetibilidade ambiental, Brod e Fehlberg (1992) ressaltam a importância de se considerar necessariamente o meio úmido nos estudos de leptospirose, pois provê condição básica de sobrevivência da bactéria.

A principal via de transmissão da leptospirose é a água. As águas de superfície, como lagoas, lagos e açudes, nos quais os microorganismos são excretados, podem permanecer infectados por várias semanas. [...] As *leptospiras* requerem para sua sobrevivência água doce, com pH neutro ou levemente alcalino. As águas salgadas, congeladas ou poluídas são desfavoráveis (Brod e Fehlberg, 1992).

Smith e Turner (1961), realizaram testes de sobrevivência dos sorovares *icterohaemorrhagiae*, *hyos*, *australis A* e *javanica* de acordo com diferentes pH da

água, e consideram que a incidência desse tipo de infecção em certas áreas depende de quatro fatores principais: “(1) Densidade populacional das espécies hospedeiras; (2) a proporção de espécies hospedeiras que está excretando *leptospiras*; (3) o tempo de sobrevivência das *leptospiras* expelidas na água ou solo úmido; (4) o fator de diluição, ex: chuva”⁵ (tradução nossa).

Quando ao meio aquático ou solo úmido, as *leptospiras* são sensíveis a índices de pH ácidos ou básicos (acima de 8). Os limites ideais variam de acordo com os sorovares, como abordado nas análises de Smith e Turner (1961) em que os sorovares sobreviveram por mais tempo quanto mais próximo de 7.5 o índice de pH, mas as taxas de sobrevivência foram distintas frente a diferentes índices.

“Quanto ao pH do solo, os limites deste para as *leptospiras* sobreviverem pelo menos seis dias, deve oscilar em torno de 6.24 a 8.23, limites mais reduzidos, como 6.35 a 7.96, permitem uma sobrevivência maior da *leptospira* no meio por até um mês” (Brod, Jouglard, 2000).

Brod e Jouglard (2000) tiveram resultados estatísticos positivos ao relacionar a presença de banhados e açudes como fontes de contaminação de leptospirose. Açudes de dessedentação são locais de aglomeração, onde animais estão sujeitos a entrar em contato com saliva e urina contaminados, e são meios de disseminação das *leptospiras* (Terra, 2017).

Tocantins e da Silva (2010) utilizaram georreferenciamento para analisar a distribuição da prevalência de aglutininas anti-*leptospira* em bovinos, foram estudadas fazendas vizinhas ou próximas e coletadas 2123 amostras de soro sanguíneo de bovinos de quatro faixas etárias. O mapeamento indicou que

a leptospirose bovina não ocorre de forma aleatória na região estudada. A presença de um conglomerado mais verossímil em pastos de oito fazendas com um risco relativo de 1,45 vezes maior de apresentarem a leptospirose bovina quando comparadas com os pastos das outras fazendas da área. [...] Analisando a localização dos pastos das fazendas participantes dos clusters, os mesmos se encontram em áreas de classificação Aai2 e Aai3, que segundo o Projeto Radambrasil (1982), são: úmido e muito úmido (Tocantins e da Silva, 2010).

Nessas áreas ocorrem vazantes de cheias, e são locais que não secam completamente ao longo do ano. As bactérias têm assim a condição principal de um ambiente propício para sobreviver, pois a principal causa de morte de *leptospiras* é a dessecação (Perry et al., 2000).

⁵ (1) the population density of the reservoir species; (2) the proportion of the reservoir species which is excreting leptospire; (3) the survival time of the shed leptospire in the surface or soil water; and (4) the dilution factor, i.e., rainfall.

Fora de hospedeiros, essas bactérias precisam de ambientes úmidos para sobreviver, mas a manutenção da bactéria no ambiente por períodos extensos está atrelada a hospedeiros. Portanto, mesmo com um ambiente em situação ideal de sobrevivência das *leptospiras*, a ausência de animais com leptospirúria implica em um meio livre de leptospirose.

Ellis (1984) considera de grande importância a transmissão do serovar *hardjo* entre bovinos, apontando o estudo de Elder e Ward (1978) em que se mostrou mais relevante do que o índice de chuvas. A *leptospira* não sobrevive fora de hospedeiros mais de alguns dias ou horas sem umidade, pH e temperatura adequados (Gomes, 2015). Isso fez com que neste trabalho tenhamos considerado a densidade animal mais importante em relação aos demais fatores ambientais abordados.

O estudo de Paixão et al. (2016) traz em sua discussão que

a alta prevalência e a distribuição de focos nas áreas amostradas podem estar relacionadas também ao tipo de sistema de criação semi-intensivo dos animais. A leptospirose em rebanhos bovinos leiteiros pode estar associada à densidade animal, pois os animais convivem mais aglomerados, logo, mais expostos, direta ou indiretamente, ao micro-organismo ou à presença do agente etiológico no ambiente em condições climáticas satisfatórias (Paixão et al., 2016).

Apesar dessa consideração, esse fator acabou não fazendo parte do questionário realizado nessa pesquisa. O artigo, no entanto, analisou a presença de áreas alagadas nas propriedades, e quanto a esse fator obtiveram associação estatística significativa entre sua presença e a incidência da doença.

1.3 O uso do SIG

“Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) podem ser conceituados como um conjunto de técnicas computacionais que permitem manipular e processar informações espacialmente referenciadas” (Lira e de Sá, 2010). Processam informações de eventos, cobertura e uso da terra e dados quantitativos com relação a pontos na superfície terrestre.

É uma ferramenta que possibilita a análise, planejamento, tomada de decisões e interferências com relação à superfície abordada. É um recurso utilizado em diversas áreas de estudo devido à versatilidade de sua aplicação.

Alguns trabalhos foram desenvolvidos visando mapear casos de contaminação de leptospirose, principalmente com o objetivo de apontar a

prevalência de animais ou humanos soropositivos ou identificar áreas com predominância de certo sorovar. Trabalhos que fazem uso dessa ferramenta são mais comumente encontrados em estudos que tratam da leptospirose humana (Barcellos, 2003; Duarte, 2008; Lira e de Sá, 2010) e canina (Brandespim et al., 2005; Bier et al., 2013).

Entre os estudos que aplicaram geotecnologias à análise da incidência da leptospirose na pecuária, Paixão et al. (2016) tiveram como foco de análise vacas leiteiras em municípios com produção de leite superior a 1.000 litros/dia e utilizaram cadastros de propriedades e o número de rebanhos leiteiros informados, por município, abrangendo os principais produtores de três bacias leiteiras. Utilizaram GPS para georreferenciar o centro da propriedade e a confecção de mapas dos focos de leptospirose utilizando o *software* ArcGIS.

As variáveis no questionário aplicado aos proprietários não comportaram fatores ambientais de grande escala, focando em questões pontuais da veterinária, como: realização de inseminação artificial, aluguel de pasto, assistência veterinária, presença de outras espécies na fazenda, etc.

No estudo de Oliveira (2008) foram analisadas quatro estratos de acordo com a exploração dominante e a capacidade da Agência de Defesa Agropecuária do Estado da Bahia (ADAB) – cujos médicos veterinários foram responsáveis na realização do trabalho de campo – de realizar esse trabalho. Foram coletadas amostras em mais de 1400 propriedades.

Os mapas gerados localizaram as coletas com resultado positivo e negativo para leptospirose e apontaram os sorovares predominantes. Esse estudo também analisou fatores pontuais, como presença de equinos nas propriedades e co-pastagem entre espécies diferentes.

O único fator ambiental de grande escala presente no questionário era acerca da presença ou não de áreas alagadas com a qual o gado tem contato. “A existência de áreas alagadas foi um fator de risco com OR= 2,3%. A água tem papel primordial na difusão e manutenção das *leptospiras* na natureza e assume uma particular importância na transmissão da doença” (Oliveira, 2008). Porém, essas áreas não foram mapeadas.

Os artigos que utilizaram SIG para estudar o gado, consultados na revisão bibliográfica, usaram o mapa como recurso apenas de localização dos pontos de

foco e seus sorovares. Fatores ambientais, mesmo quando discutidos nos textos, não fizeram parte do SIG.

O trabalho de Pimenta et al. (2019) traz acerca da análise multicritérios com relação a fatores espaciais:

Problemas ou planejamentos na área ambiental que envolvam análise espacial visando ao atendimento de um ou mais objetivos, geralmente utilizam um considerável agrupamento de variáveis múltiplas em ambiente SIG, caracterizando uma análise multicritérios (Pimenta et al., 2019).

Nessa leitura, onde se realizou um levantamento bibliográfico de aplicação do método AHP em combinação com SIG, é discutida a importância de uma análise espacial mais complexa.

O uso do SIG frente a temática da leptospirose tem mais expressão na literatura em análises da doença atingindo humanos. Os trabalhos consultados que utilizaram SIG no estudo de bovinos focaram o seu objetivo em mapear focos de amostras reagentes e seus respectivos sorovares.

1.4 Processo Hierárquico Analítico - *Analytic Hierarchy Process* (AHP)

O método AHP foi elaborado por Thomas Saaty nos anos setenta e visa colaborar em tomadas de decisão complexas ao determinar graus de importância (pesos) a variáveis envolvidas dentro do modelo. Isso quer dizer que nesse método o problema é estruturado em níveis hierárquicos; as variáveis recebem um dado peso, representando uma importância diferente entre si.

A definição dos pesos é dada segundo os critérios de quem aplica o método, o que o faz ter um caráter subjetivo. Esse modelo estatístico avalia, frente a uma matriz de comparação, apenas o índice de consistência estatística entre os pesos atribuídos. Segundo Saaty (1977) o índice é melhor quanto mais próximo de 0 e a matriz terá consistência lógica se o resultado for inferior a 0,1.

É importante destacar que “A consistência é necessária, mas não condição suficiente para julgar o quão bom é um dado conjunto de dados observacionais. A consistência pode ser boa, mas a correspondência dos julgamentos à realidade pode ser ruim” (Saaty, 1977)⁶. Um índice de consistência ideal não aponta para

⁶ “Consistency is a necessary but not a sufficient condition for judging how good a set of observational data is. The consistency may be good, but the correspondence of the judgments to reality may be poor.” (Saaty, 1977).

uma resposta mais correta, apenas se refere à coerência do peso das variáveis dentro da matriz e sua consistência lógica.

O índice de inconsistência tem como base o número principal de Eigen. Ele é calculado através do somatório do produto de cada elemento do vetor de Eigen pelo total da respectiva coluna da matriz comparativa original. [...] O cálculo do índice de consistência (SAATY, 2005) é dado pela seguinte equação:

$$CI = \frac{\lambda_{Max} - n}{n - 1}$$

Em que: CI é o índice de consistência; n é o número de critérios avaliados; λ_{max} o valor principal Eigen (Vargas, 2010).

A determinação dos pesos ocorre dentro de uma matriz de comparação, onde as variáveis são comparadas entre si em duplas recebendo valores desde 1, correspondente ao mesmo grau de importância, até 9, onde um fator é considerado absolutamente mais importante que o outro (Quadro 1).

Quadro 1. Escala fundamental de Saaty (1980)

1	Igual importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o juízo favorecem uma atividade em relação à outra.
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o juízo favorecem fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra. Pode ser demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra, com o mais alto grau de segurança.
2,4,6,8	Valores intermediários	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.

Elaboração: Adaptado de Análise Multicritério à Decisão (Saaty, 1980, apud Vianna, 2019).

Após a determinação do peso (influência) de cada variável, é feita uma atribuição em classes. Também cabe aos pesquisadores a determinação da quantidade de classes a ser definida, desde que o número seja o mesmo para todas

as variáveis, para que se mantenha uma simetria e elas possam ser comparadas. Um exemplo de matriz pode ser observado na Figura 1, ilustrando os pesos:

Qual a bebida mais consumida nos EUA?							
Um exemplo de análise usando julgamentos							
Consumo de bebidas nos EUA	Café	Vinho	Chá	Cerveja	Refrigerante	Leite	Água
Café	1	9	5	2	1	1	1/2
Vinho	1/9	1	1/3	1/9	1/9	1/9	1/9
Chá	1/5	2	1	1/4	1/4	1/3	1/9
Cerveja	1/2	9	3	1/2	1/2	1	1/3
Refrigerante	1	9	4	1	1	2	1/2
Leite	1	9	3	1/2	1/2	1	1/3
Água	2	9	9	2	2	3	1

Figura 1. Adaptado de: Saaty, 2008.

Questões geográficas comumente requerem análise de múltiplos fatores. A Sobreposição Ponderada é uma técnica para aplicar uma escala de valores para dados diferentes criando uma análise integrada. Essa ferramenta pode ser aplicada por meio de *softwares* de SIG.

O produto da Sobreposição Ponderada é um raster que calcula a influência de cada raster individual inserido no modelo e gera um mapeamento baseado nessa ponderação entre os diferentes fatores.

3. METODOLOGIA

O desenvolvimento dessa pesquisa foi estruturado em função dos seguintes passos: (a) revisão bibliográfica visando maior apropriação da temática e a determinação dos fatores ambientais que têm influência na incidência e transmissão de leptospirose; (b) levantamento de dados ambientais, de rebanhos pecuários e casos registrados de leptospirose; (c) criação e organização de um banco de dados no software ArcGIS 10.5, com as informações nas tabelas e vetores georreferenciados; (d) aplicação do método estatístico AHP (*Analytic Hierarchy Process*); (e) elaboração de mapas das áreas espacializando as áreas suscetíveis à leptospirose no estado.

Como área de estudo, a proposta inicial foi utilizar limites municipais do Rio Grande do Sul; porém, optou-se, em função da maior precisão, utilizar como recorte espacial apenas as áreas de pastagem no estado (Figura 2), considerando então apenas locais relacionados ao manejo dos rebanhos de gado.

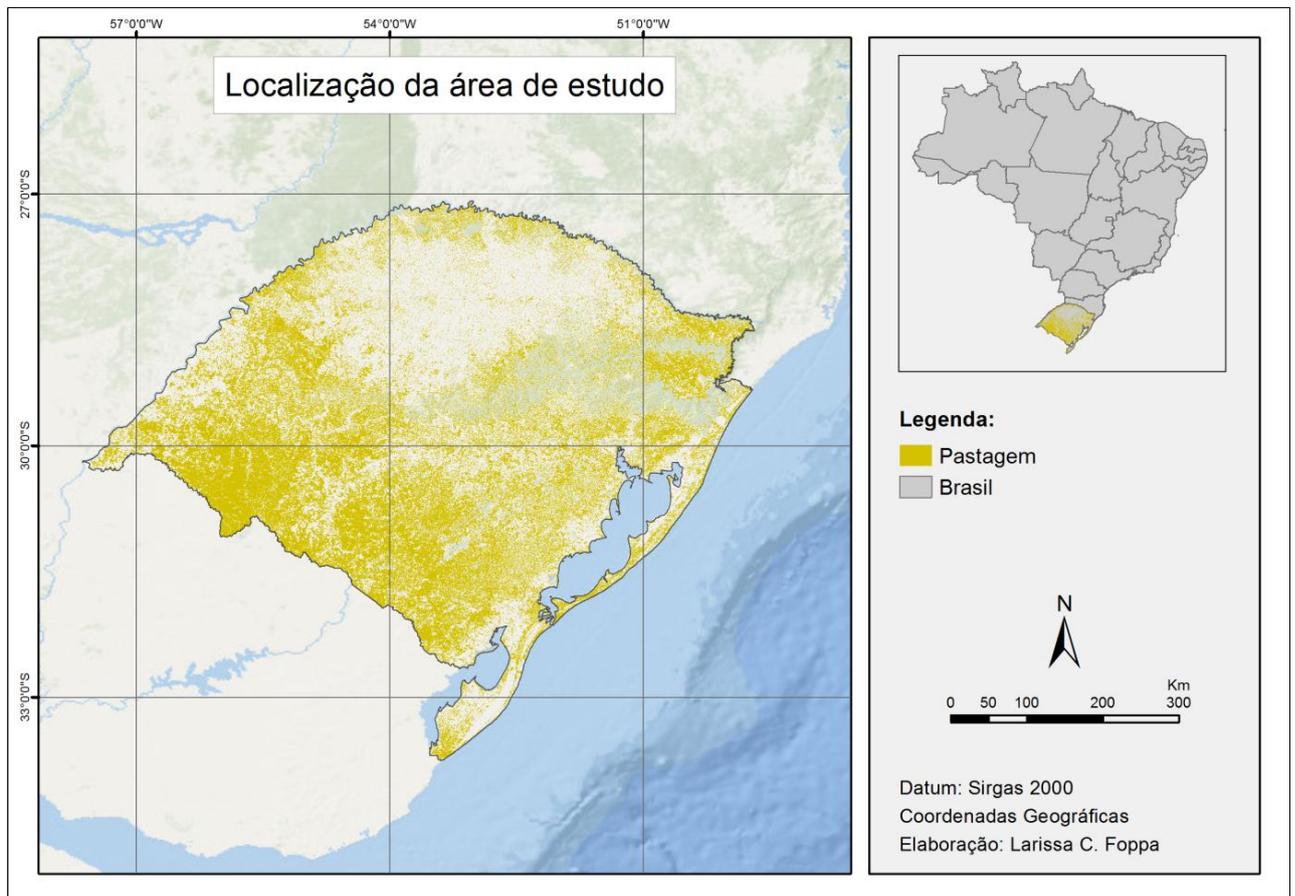


Figura 2: Mapa da localização das áreas de pastagem no Rio Grande do Sul. Fonte: MapBiomass, 2017.

A base das áreas de pastagem foi obtida no *site* mapbiomas.org e é composta pelas feições Formação Campestre, Pastagem e Mosaico de Agricultura e Pastagem correspondentes ao ano de 2017.

A soma das três coberturas se mostrou necessária pois o mapeamento de cobertura e uso da terra de cada bioma tem uma metodologia própria, e o bioma pampa não possuía feições classificadas como Pastagem. Na metodologia do mapeamento desse bioma foi elucidado que feições identificadas como Pastagem entraram na categoria Formação Campestre.

Já no bioma mata atlântica houve um mapeamento tanto de áreas de Pastagem quanto de Formação Campestre. Em ambas as metodologias Mosaico de Agricultura e Pastagem foram áreas onde não se mostrou possível identificar o uso específico da terra, sendo então possíveis áreas de criação de gado.

Tendo como base as metodologias e os critérios de definição das classes de cobertura e uso dos biomas Mata Atlântica e Pampa, entendeu-se que as áreas de presença de rebanho bovino seriam melhor compreendidas levando-se em consideração essas três feições.

O recorte da área de estudo serviu como base para aplicação dos índices das variáveis ambientais (densidade do gado, porcentagem de cobertura de lâmina d'água e de áreas com pH igual ou maior que 5.8).

Junto ao dr. Rogério Oliveira Rodrigues, médico veterinário do Instituto de Pesquisas Veterinárias Desidério Finamor (IPVDF) foram obtidos relatórios mensais (de 2013 a 2019) referentes a amostras de sangue para análise de soropositividade para leptospirose.

3.1 Dados ambientais

Com base na revisão bibliográfica, foram determinados quatro fatores ambientais para fazer parte dos critérios de mapeamento: pH do solo úmido; inundações; densidade de cabeças de gado; lâmina d'água superficial. Essas variáveis ambientais foram reclassificadas em um padrão de cinco classes, divididas pelo critério de quebras naturais.

a) Global Surface Water (GSW) corresponde ao dado de lâmina d'água superficial. É um dado global gerado a partir de milhões de imagens Landsat 5. São arquivos raster correspondentes ao mapeamento de águas continentais,

considerando sua extensão máxima nos últimos 35 anos, com resolução espacial de 30 m. O acesso se dá pelo *site* Global Surface Water Explorer (<https://global-surface-water.appspot.com/>).

Esse dado foi recortado com base na área de estudo. Foi definido um *buffer* de 250 m (Figura 3) no entorno da lâmina d'água como área suscetível associado a maior umidade do solo, onde pode ocorrer a circulação do gado;

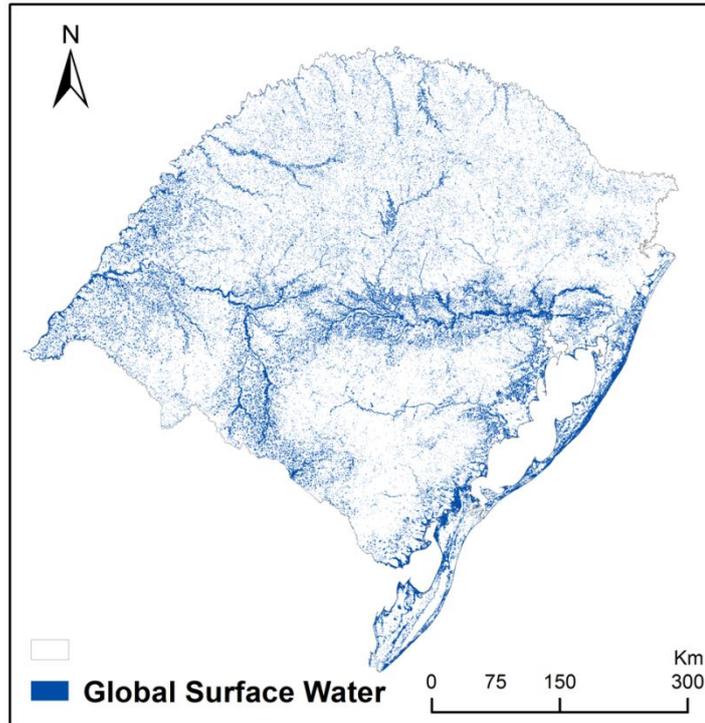


Figura 3: GSW no Rio Grande do Sul com buffer de 250m. Fonte: Global Surface Water Explorer, 2019.

b) Inundações são fenômenos associados a eventos extremos de precipitação. Para levar em consideração esse dado em um estudo de suscetibilidade ambiental e avaliar as áreas com maior ocorrência, foi considerada uma série temporal de 2001 a 2019.

Essa informação foi obtida junto a Defesa Civil do Rio Grande do Sul e é de acesso livre. O mapeamento (Figura 4) traz o número total de inundações ao longo desses anos, e as áreas em cinza correspondem a municípios onde não houve registro;

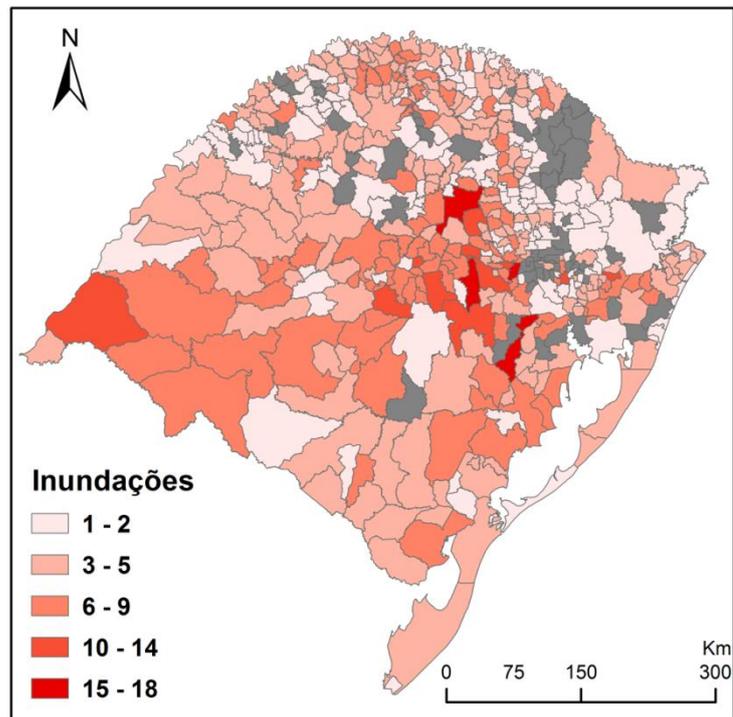


Figura 4: Classes de ocorrência de inundações, entre 2001 e 2019, no Rio Grande do Sul. Fonte: Defesa Civil, 2019.

c) A base, em escala mundial, de pH do solo úmido pode ser obtido no *site* ISRIC Data Hub (<https://data.isric.org/geonetwork/srv/eng/catalog.search#/home>) em formato raster. A resolução espacial desse dado é de 125 m, e está disponível em diferentes profundidades (de 0 até 200 cm). Foi utilizada neste estudo a profundidade 0 cm. Foi considerado relevante apenas o solo diretamente em contato com o gado.

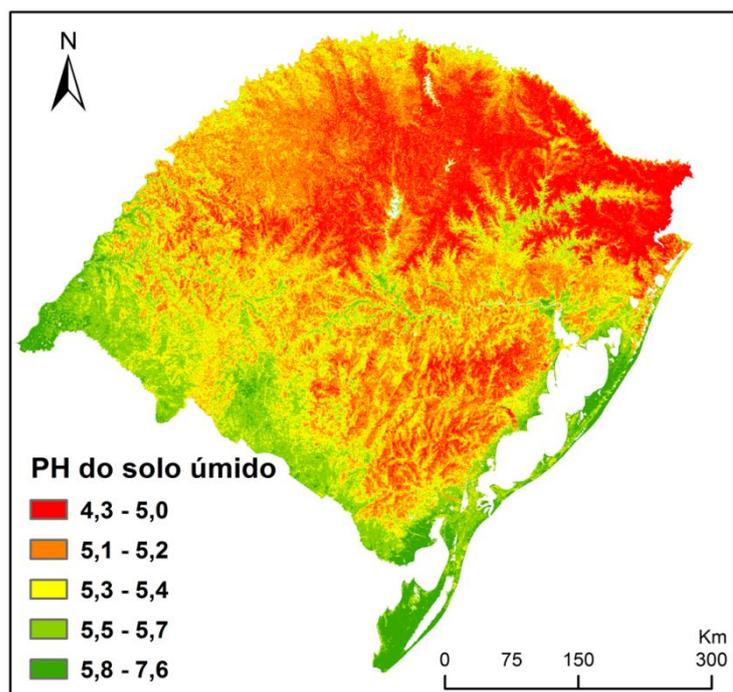


Figura 5: Classes de pH do solo úmido no Rio Grande do Sul. Fonte: Isric Data Hub, 2017.

O solo do RS é majoritariamente ácido e, portanto, não propício à sobrevivência de *leptospiras* por mais de algumas horas. Como esse índice de sobrevivência se mostrou diferente de acordo com o sorovar, e nesse estudo não foi analisado um sorovar específico, foi estabelecido a partir de revisão bibliográfica um ponto de corte de 5.8 como o mínimo ideal para sobrevivência das *leptospiras* fora de hospedeiros (em torno de uma semana);

d) O efetivo de cabeças de gado no Rio Grande do Sul (Figura 6) foi obtido no Censo Agropecuário de 2017, por meio do Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA). O efetivo municipal foi dividido pela área de pastagem em hectares. Com base nesse cálculo foi gerado um mapa (Figura 7) com a densidade de bovinos por município no Rio Grande do Sul;

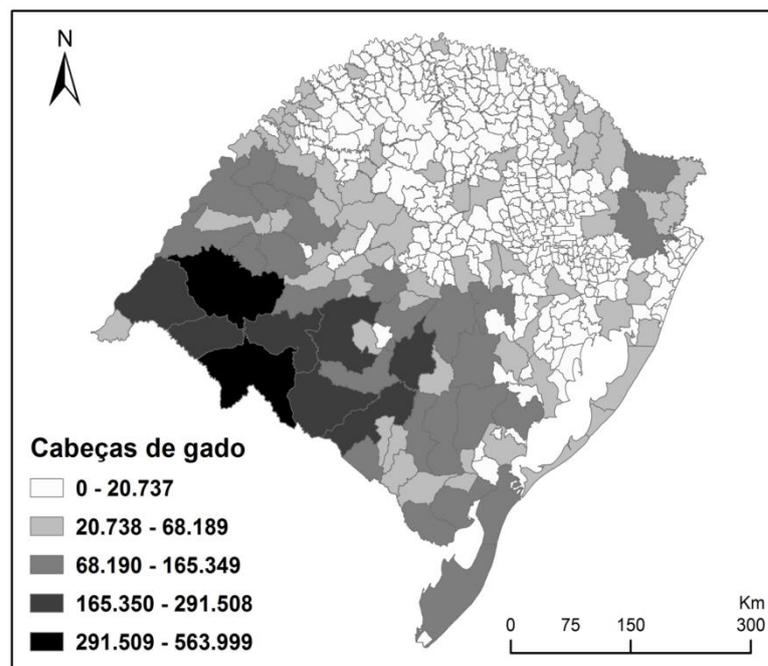


Figura 6: Classes de efetivo total de bovinos por município do Rio Grande do Sul. Fonte: Censo Agropecuário, 2017.

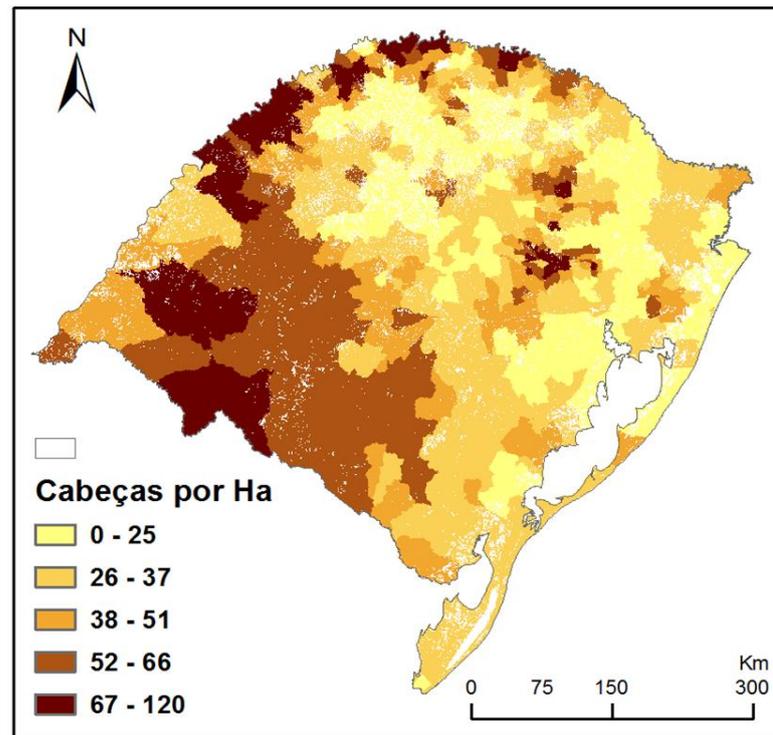


Figura 7: Classes de densidade de bovinos por município - cabeças por hectare. Fonte: Censo Agropecuário, 2017.

3.2 Aplicação do AHP

A abordagem estatística do Processo Hierárquico Analítico foi usada nesse trabalho visando considerar níveis de influência (pesos) diferentes às variáveis ambientais, entendendo que elas não têm necessariamente o mesmo grau de importância na reprodução e manutenção da leptospirose no ambiente.

Esse método foi aplicado por meio do programa *Expert Choice*, em uma matriz de comparação (Quadro 2). Nessa matriz, a tomada de decisão na definição dos pesos de cada variável com relação à outra se deu de acordo com a revisão bibliográfica.

Quadro 2. Matriz dos pesos das variáveis ambientais atribuídos no método AHP

Variáveis ambientais	pH	GSW	Densidade de cabeças de gado	Inundações
pH	1,0	2,0	0,2	3,0
GSW	0,5	1,0	0,2	3,0
Densidade de cabeças de gado	5	5	1,0	6,0
Inundações	0,33	0,33	0,16	1,0

Organização: Elaborado pela autora, 2019.

Os pesos atribuídos, de acordo com a metodologia de Saaty (1977), vão de 1 até 9. O peso “1” representa mesma importância, e é automaticamente atribuído no cruzamento da mesma variável. A escala fundamental de Saaty com os pesos e seus níveis de importância dentro do modelo constam no Quadro 1.

As *leptospiras* demonstraram na literatura (Smith e Turner, 1961; Perry et al., 2000; Gomes, 2015) fragilidade à exposição ao meio ambiente, culminando na sua morte após horas ou poucos dias. Em contraponto, dentro de hospedeiros, a possibilidade de reprodução e sobrevivência as mantém no ambiente ao longo de meses.

A variável densidade de cabeças de gado recebeu o peso mais alto por ser entendido que a contaminação intra animal ser um fator importante para manter *leptospiras* no ambiente ao longo de meses, sobrevivendo nos hospedeiros que disseminam as bactérias por meio de mucosas, urina, saliva e sêmen. O peso mais alto foi atribuído se comparado com a variável inundação que, apesar de ser mais trabalhada em estudos sobre leptospirose humana, não recebe respaldo frente ao seu grau de importância na leptospirose animal.

As áreas com pH do solo úmido a partir de 5.8 tiveram 18% de influência no modelo, e foram consideradas mais importantes que as áreas de lâmina d'água e inundações. Mesmo assim, o peso mais alto atribuído a essa variável foi 3, considerado de pouca importância de uma com relação à outra de acordo com a escala de Saaty (1980, apud Vianna, 2019).

Todos os dados foram recortados pela área de pastagem. A variável inundação, entretanto, não ocorre necessariamente nessas áreas, ao contrário das

demais variáveis. Por essa razão e por não ter recebido respaldo frente a sua importância direta em estudos sobre a leptospirose animal, essa variável recebeu pesos mais baixos que as demais.

A conexão entre a sobrevivência da bactéria e o meio úmido é abordada na maioria dos estudos sobre leptospirose. Pensando em açudes e lâminas d'água presentes em áreas de pastagem, foi usado o dado GSW. A presença de corpos d'água teve em alguns estudos (Brod e Fehlberg, 1992; Tocantins e da Silva, 2010; Paixão et al., 2016) correlação positiva com a incidência da doença. Ainda assim, em comparação com o pH do solo úmido, esse recebeu um peso maior, um valor de transição entre “mesma importância” e “importância pequena” de acordo com a escala de Saaty (1980). Essa decisão foi tomada por entendermos que é mais importante o contato mais constante do gado com o solo e pastagem do que com os corpos d'água.

O programa Expert Choice realiza automaticamente o cálculo do índice de consistência, que deve, de acordo com a metodologia proposta por Saaty (1977) resultar em um número abaixo de 0,1. O valor resultante da matriz proposta foi 0,06.

Com o grau de consistência estatística dentro do ideal e os pesos das variáveis calculados, a porcentagem de influência de cada variável também foi calculada automaticamente. O resultado consta na Figura 8.



Figura 8: Influências das variáveis ambientais calculadas pelo programa Expert Choice.

O mapa de suscetibilidade a leptospirose, que pondera essas porcentagens de influência resultantes do AHP, é resultado da aplicação da ferramenta Sobreposição Ponderada (*Weighted Overlay*), do software ArcGIS 10.5.

3.3 Sobreposição Ponderada

Concluída a parte estatística no Expert Choice, foi aplicada a Sobreposição Ponderada no ArcGIS (Figuras 9 e 10). Essa ferramenta recebe a entrada de diversos arquivos raster, aos quais podem ser determinados graus de influência; os raster de entrada podem ser reclassificados com a ferramenta *Reclassify*.

Duas variáveis, GSW e pH, passaram por um processo extra no geoprocessamento. A aplicação da Sobreposição Ponderada só ocorre em áreas sobrepostas por todos os arquivos raster. Um raster que não cubra a área total dos demais vai ter como resultado da Sobreposição Ponderada um mapa recortado com base nesse raster.

No raster da variável pH foi executado uma seleção por localização (*query*), ferramenta usada para deixar ativas apenas as feições com valor a partir de 5.8, considerando os critérios da revisão bibliográfica acerca da sobrevivência de *leptospiras* em diferentes índices de pH. O *shape* exportado passou, então, a apenas comportar áreas onde a bactéria pode sobreviver por mais tempo.

Como o solo do Rio Grande do Sul é predominantemente ácido, a classificação excluiu completamente feições de pH em alguns municípios (principalmente no norte e nordeste do estado).

O dado da cobertura de lâmina d'água (GSW) e entorno de solo úmido também não cobria completamente as áreas de pastagem. A correção foi calcular a área dessas variáveis no ArcGIS, bem como das áreas de pastagem correspondentes a cada município. Com base nisso, dividiu-se a área da variável pela área de estudo para gerar a taxa de cobertura das variáveis. Esses valores compuseram uma nova coluna da tabela de atributos da área de pastagem e foram usados como atributo dos raster gerados.

Nas variáveis densidade de cabeças de gado e inundações, compostas por dados numéricos correspondentes aos municípios, foi aplicada a ferramenta *intersect* para recortar os dados no *shape* municipal mantendo apenas as áreas de pastagem.

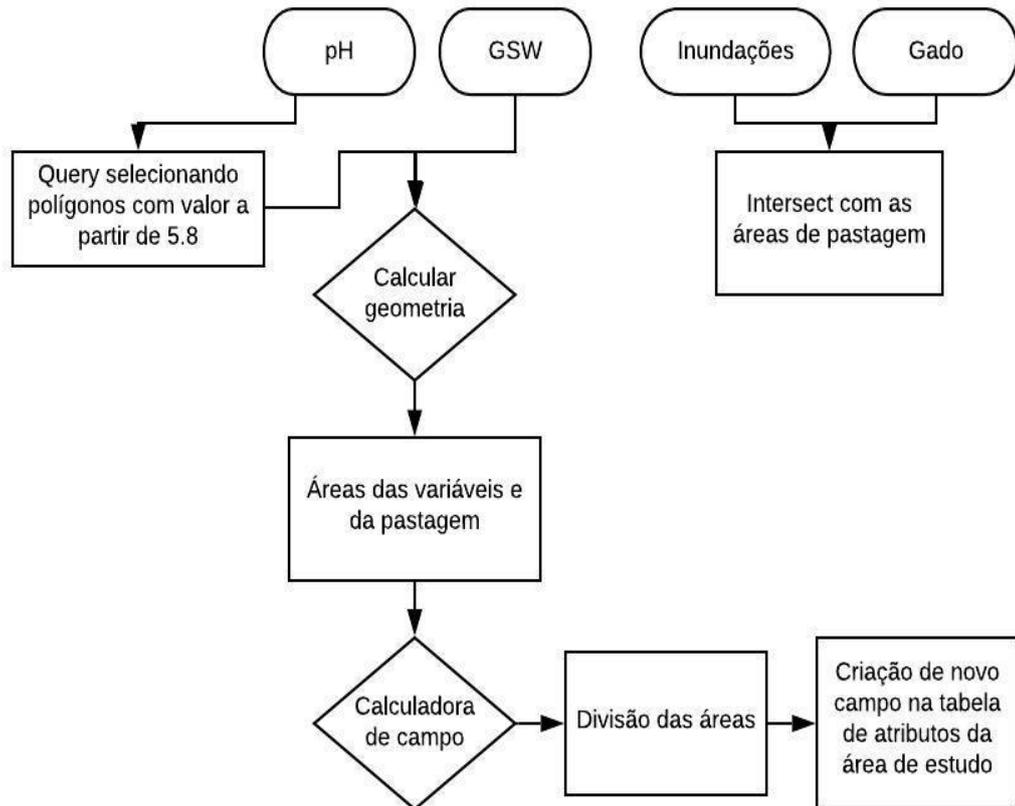


Figura 9: Fluxograma do geoprocessamento das variáveis ambientais. Fonte: Elaborado pela autora.

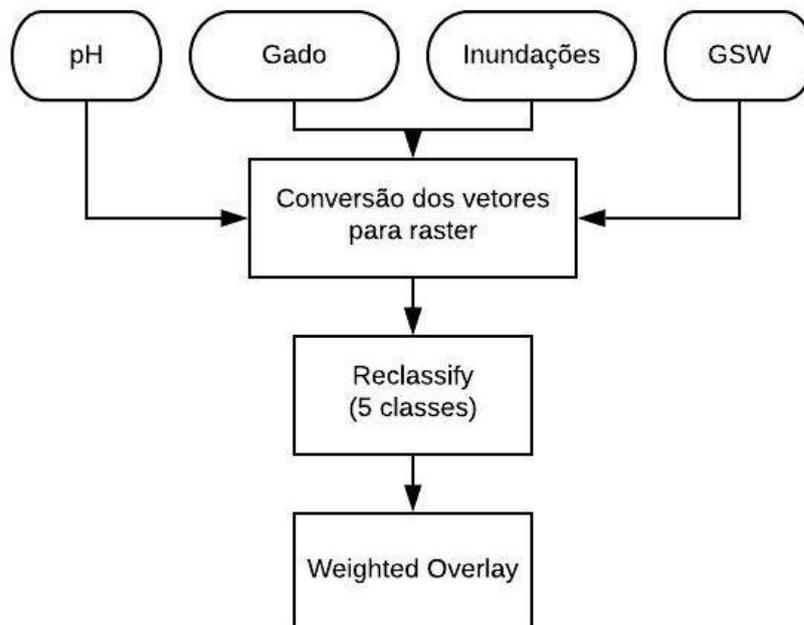


Figura 10: Fluxograma da aplicação da Sobreposição Ponderada. Fonte: Elaborado pela autora.

Todos os *shapes* foram convertidos para raster com tamanho de célula 10, para a aplicação da ferramenta *Reclassify* categorizando as informações em 5 classes sob o critério de quebras naturais.

4. RESULTADOS

Para buscar responder o objetivo geral deste trabalho de “Definir áreas suscetíveis ao contágio da leptospirose bovina no Rio Grande do Sul a partir de análise espacial”, foram gerados quatro mapas de classificação das variáveis ambientais que fizeram parte do modelo de suscetibilidade. Elas foram categorizadas em 5 classes.

Em termos de números absolutos do efetivo de cabeças de gado, o sudoeste do estado concentrou os municípios com valores mais altos (Figura 6). Nessa classificação os municípios na fronteira do noroeste do estado, próximos do rio Uruguai, não se destacaram.

Ao comparar esse mapeamento com a densidade de cabeças de gado (Figura 7), observa-se a mudança dos municípios aos quais foram atribuídas classes mais altas após o cálculo de densidade (cabeças por hectare). A reclassificação da densidade resultou na Figura 11.

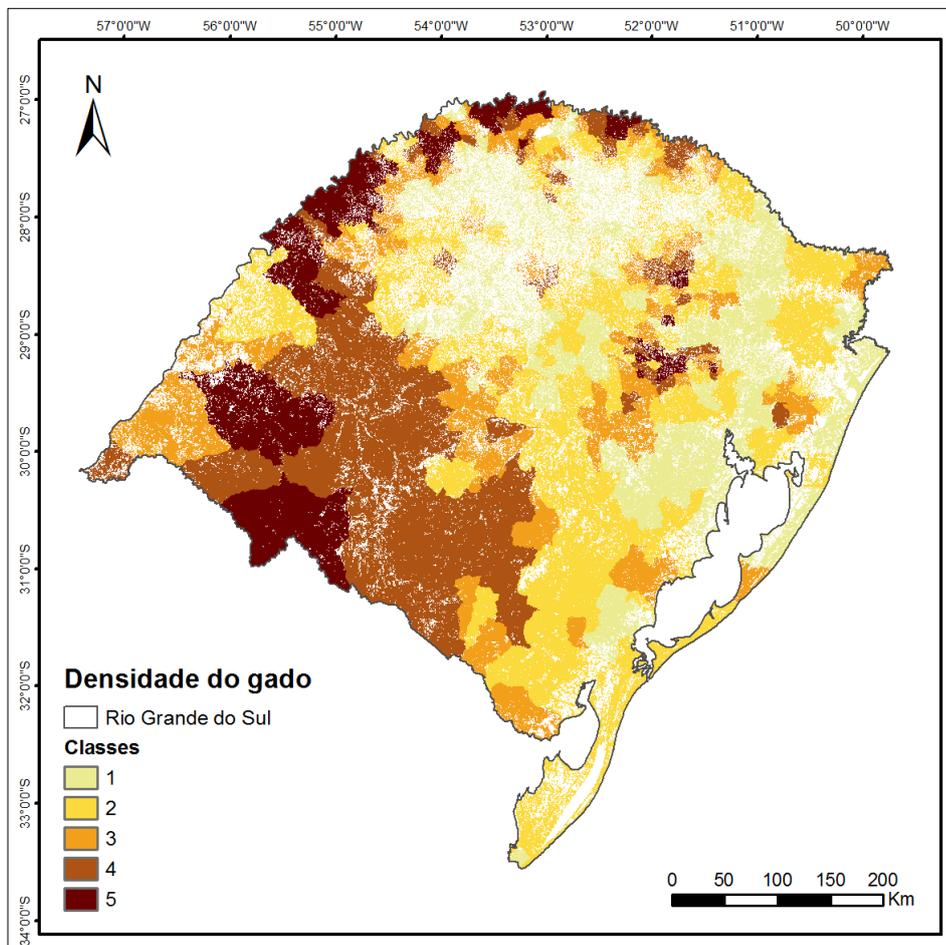


Figura 11: Classes de suscetibilidade à leptospirose em relação a densidade de cabeças de gado, no Rio Grande do Sul.

O sudoeste gaúcho é uma região tradicional no manejo de bovinos. Tem extensas áreas de pastagem (concentra 60,6% dessa feição no estado) e continuou apresentando municípios com classes altas de suscetibilidade mesmo após a reclassificação do dado. Santana do Livramento, Alegrete, Santo Antônio das Missões, Iraí, Vespasiano Correa, Estrela e Teutônia são alguns dos municípios aos quais foi atribuída classe 5 no mapa de densidade de bovinos;

Para classificar o dado GSW, foi calculada a taxa de área ocupada pelo corpo d'água e *buffer* em relação a área de pastagem de cada município.

A classificação do GSW (Figura 12) compreendeu principalmente nas classes 4 e 5 municípios do entorno do rio Jacuí e da planície litorânea. A maioria dos municípios do nordeste do estado receberam classificações de baixa suscetibilidade, assim como nas demais variáveis.

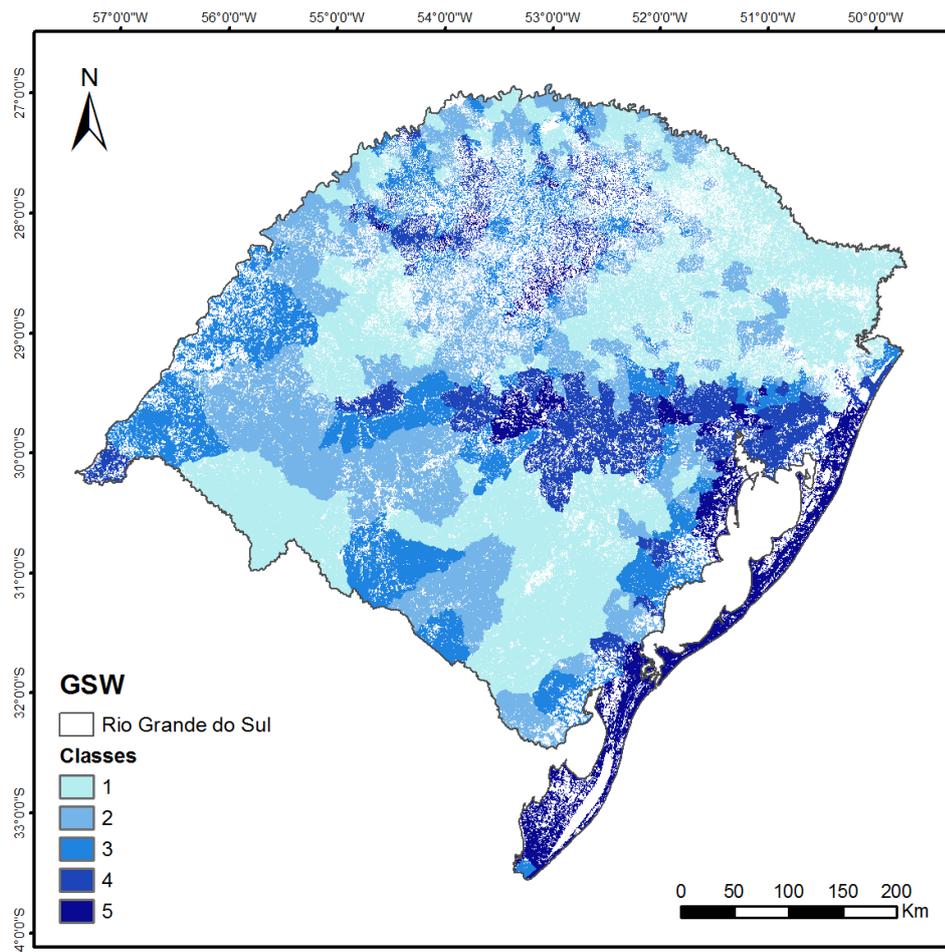


Figura 12: Classes de suscetibilidade à leptospirose em relação ao GSW, no Rio Grande do Sul.

A distribuição espacial das classes de suscetibilidade à leptospirose em relação ao GSW foi mais dispersa que as demais variáveis. Apesar dos dois eixos com concentração de classes mais altas, alguns municípios nas bacias do norte do estado como Alto Jacuí, Ijuí, Várzea e Passo Fundo receberam a atribuição de classe 5.

O mapa Classes de Suscetibilidade à leptospirose em relação a densidade de inundações, no Rio Grande do Sul, mostra concentração principalmente municípios com classes de maior grau de suscetibilidade nas bacias do Alto e Baixo Jacuí, Pardo e Taquari-Antas (Figura 13).

Uma barreira que a variável inundação apresentou nesta pesquisa foi frente ao recorte da área de estudo, devido ao dado disponível na Defesa Civil apontar o município onde houve o evento, mas não o espacializar.

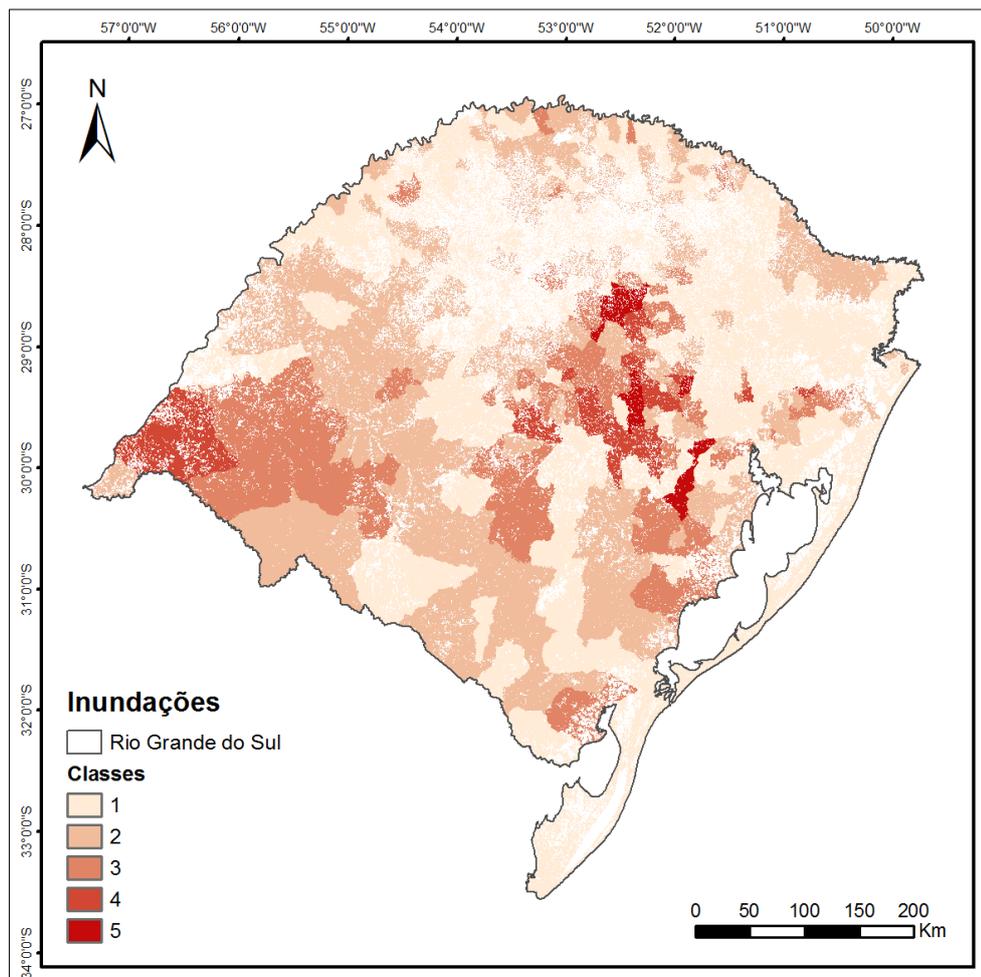


Figura 13: Classes de suscetibilidade à leptospirose em relação a densidade de inundações, no Rio Grande do Sul.

O mapa de pH, assim como do GSW, também teve as classes determinadas de acordo com a taxa de área ocupada dentro das feições de pastagem (por município). Porém, apenas fizeram parte desse cálculo áreas com pH igual ou maior que 5.8.

O solo do Rio Grande do Sul tem uma grande cobertura de solo ácido, especialmente no norte e nordeste. Ao se calcular a taxa de áreas suscetíveis ao pH, vários municípios receberam valor 0, pois as áreas tinham pH abaixo desse limite de corte. Áreas com valor zerado foram incluídas na classe 1, de menor suscetibilidade (Figura 14). As áreas com o pH mais próximo do ideal se encontram principalmente no sudeste e sudoeste do estado.

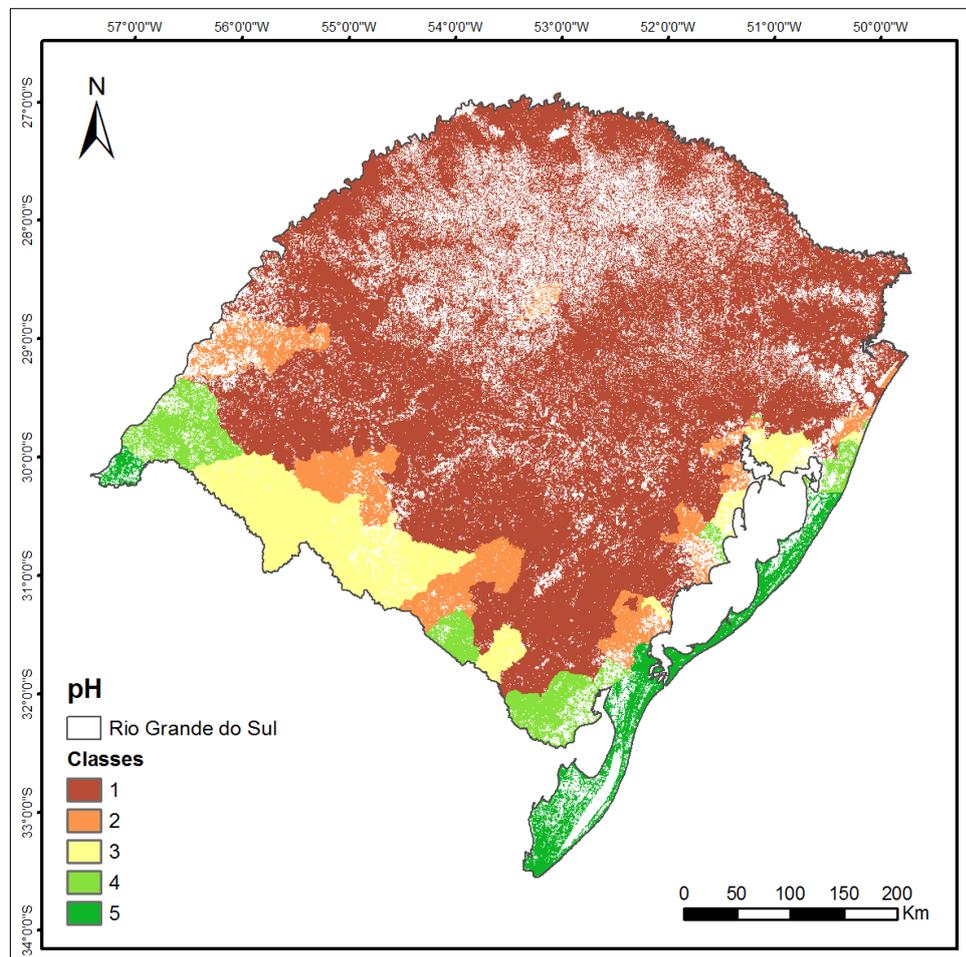


Figura 14: Classes de suscetibilidade à leptospirose em relação ao pH do solo úmido, no Rio Grande do Sul.

A Sobreposição Ponderada desses quatro arquivos com graus de influência diferentes, calculados pelo método AHP, teve como resultado o mapa de suscetibilidade à leptospirose em bovinos. O mapa (Figura 15) obtido a partir da

ferramenta Sobreposição Ponderada tem cinco classes de suscetibilidade, com o valor 1 correspondente ao menor grau de suscetibilidade e 5 ao maior.

No mapa mostra duas áreas de maior concentração da classe de suscetibilidade 5, os municípios no sudoeste e, no noroeste, os que tangenciam o rio Uruguai. Os sudoeste e noroeste do estado concentraram áreas com maior densidade de gado, variável que recebeu grau de influência de 62% com a aplicação do AHP, e isso teve reflexo nos municípios aos quais foi atribuída a classe mais alta.

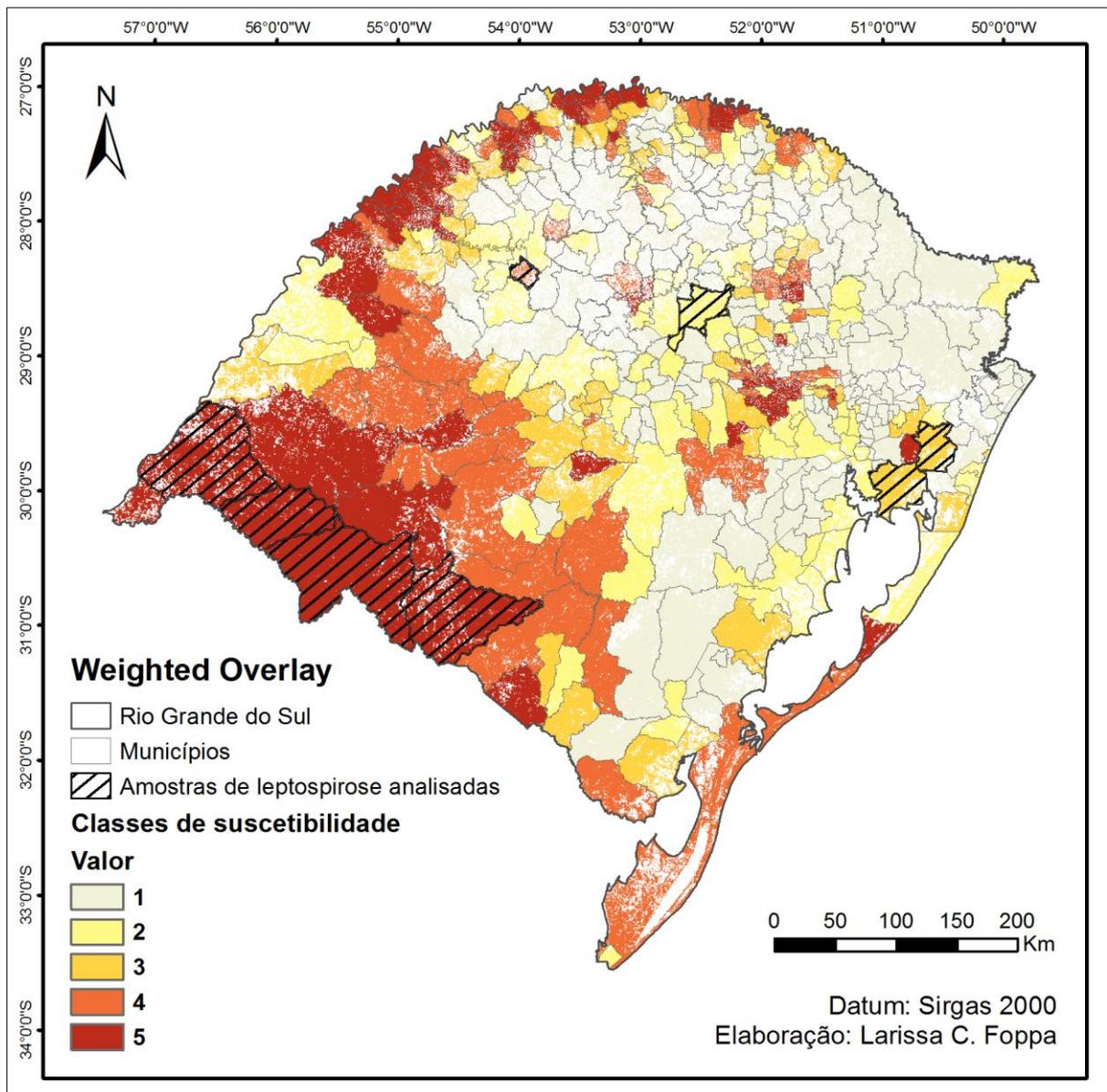


Figura 15: Mapa de classes de suscetibilidade ambiental à leptospirose, no Rio Grande do Sul.

Municípios do nordeste do estado, centro norte e a oeste da Lagoa dos Patos tiveram atribuídas, em sua maioria, classes baixas de suscetibilidade. Os mapas de classificação dos fatores ambientais (Figuras 11, 12, 13 e 14) permitiam prever a

classificação final dessas áreas sendo de baixa suscetibilidade, pois não receberam classificações altas em qualquer um dos quatro mapas.

Alguns municípios limítrofes receberam classes de valor contrastante entre si, porém o mapeamento resultante, em maior parte, apontou áreas que concentram classes similares, com zonas de transição entre elas.

A análise dos registros de amostras de sangue para análise de leptospirose obtidos junto ao Instituto de Pesquisas Veterinárias Desidério Finamor (IPVDF), culminou em mais de duzentos municípios com ao menos uma amostra analisada. Para comparação desse dado com o mapa de suscetibilidade, entretanto, foram levados em consideração apenas municípios com ao menos 50 amostras válidas analisadas, o que resultou em apenas 8 municípios: Uruguaiana, Viamão, Dom Pedrito, Augusto Pestana, Santana do Livramento, Soledade, Quaraí, Santo Antônio da Patrulha.

Os municípios com a maior quantia de análises foram Uruguaiana, com 97 amostras válidas para análise, e Viamão, com 87. As características desses municípios quanto às variáveis ambientais constam no Quadro 3, a seguir:

Quadro 3. Características dos fatores ambientais nos municípios com amostras de leptospirose analisadas.

Município	GSW (%)	Inundações	Bovinos (nº/Ha)	pH (%)	Classe de suscetibilidade
Santo Antônio da Patrulha	31,14	3	48,21	0,06	3
Viamão	31,10	1	35,06	6,77	3
Augusto Pestana	22,10	2	64,37	0	4
Uruguaiana	24,12	12	41,97	30,16	5
Dom Pedrito	24,79	1	56,15	10,40	5
Santana do Livramento	9,18	6	74,03	9,85	5
Soledade	10,19	16	33,60	0	2
Quaraí	7,90	9	58,61	9,36	5

Organização: Elaborado pela autora, 2019.

É possível, com base no quadro, compreender melhor como se deu a atribuição de classes. Comparando Soledade com Augusto Pestana, ambos os municípios tiveram taxa 0 de áreas com pH do solo úmido a partir de 5.8, fator que teve influência de 18% no modelo. Entretanto, o primeiro recebeu classe 2 e o segundo 4. Apesar de Soledade ter apresentado um número alto de inundações, esse fator recebeu um peso inferior aos demais (7%). O fator que resultou na diferença de classificação, com 62% de influência, foi a densidade do gado. Enquanto Augusto Pestana apresentou 64,37 cabeças por hectare de pastagem, Soledade teve um valor de 33,6.

Mas essa variável não foi determinante na atribuição de classes. Uruguaiana e Santo Antônio da Patrulha tiveram valores similares de densidade do gado (41,97 e 48,21 cabeças por hectare, respectivamente). Mesmo que Uruguaiana tenha apresentado uma densidade inferior a Santo Antônio da Patrulha, assim como menor área coberta pelo GSW (24,12 contra 31,14%) a variável pH do solo teve influência de 18% na determinação das classes. 30,16% do território de Uruguaiana tem um solo com pH mais propício à sobrevivência de *leptospiras*, frente a 0,06% de Santo Antônio da Patrulha.

Os municípios que não apenas tiveram uma densidade alta, mas também áreas com pH que possibilita a sobrevivência de *leptospiras* por alguns dias e até semanas (Smith e Turner, 1961) acabaram tendo atribuída a classe mais alta de suscetibilidade, por mais que os outros fatores ambientais tenham apresentado valores mais baixos.

Considerando um estado com 497 municípios, a amostragem de 8 (1,6%) não serve para validar o mapeamento realizado, mas as classes atribuídas em comparação com os registros da doença feitos servem para investigar se a metodologia do mapa de suscetibilidade pode sofrer alterações visando uma maior acurácia. O Quadro 4 ilustra a porcentagem de amostras positivas para leptospirose e a classe de suscetibilidade atribuída ao município neste mapeamento.

Quadro 4. Porcentagem de amostras reagentes a leptospirose e classes de suscetibilidade, em municípios do Rio grande do Sul.

Município	Porcentagem de amostras positivas para leptospirose	Classe de suscetibilidade
Santo Antônio da Patrulha	0,00	3
Viamão	6,90	3
Augusto Pestana	11,94	4
Uruguaiana	12,37	5
Dom Pedrito	22,08	5
Santana do Livramento	22,73	5
Soledade	23,08	2
Quaraí	58,62	5

Organização: Elaborado pela autora, 2019.

A comparação entre as taxas de soropositividade de leptospirose e as classes de suscetibilidade a essa doença indica que é importante uma revisão metodológica abordando outros fatores ambientais ou alteração nos pesos do AHP, principalmente por dispormos de um valor baixo de amostras válidas analisadas nos municípios do Rio Grande do Sul.

O fato de 5 dos 8 municípios com maior número de amostras analisadas terem sido classificados com as duas maiores classes de suscetibilidade pode indicar que são municípios com tradição de criação de gado e por isso há um controle maior sendo feito nas propriedades ou que são locais onde de fato estão ocorrendo mais casos de infecção por *leptospiras* e por haver procura na realização de coleta de amostras.

Neste mapeamento a densidade do gado foi considerada com um peso alto com relação aos demais fatores ambientais em função principalmente das infecções pelos sorovares *hardjo* e *wolffi*, pois em hospedeiros de manutenção de leptospirose, a transmissão direta se mostrou mais significativa do que a transmissão indireta, por meio do ambiente (Perry et al., 2000).

Entretanto, estudos (Lilenbaum e Souza, 2003; Hashimoto et al., 2012) mostram que o gado também é suscetível à contaminação de sorovares acidentais.

Portanto, uma segunda aplicação do AHP poderia determinar peso menor a densidade do gado, sem deixar que esse fator ambiental deixe de ter grande importância no modelo.

É relevante realizar considerações sobre o peso que foi atribuído a essa variável em relação às demais, pois talvez tenham sido atribuídos pesos altos demais. Mesmo assim, essa variável mostrou na literatura que deve configurar no AHP uma das mais importantes na manutenção de *leptospiras* no ambiente.

A aplicação do AHP, apesar de ser um método estatístico, tem a sua função principal – a atribuição de pesos – atribuída totalmente a quem aplica. Nesse sentido, Saaty (2008) sugere como alternativa para essa questão a catalogação de diversos estudos que foram realizados de maneira cuidadosa e criar um tipo de dicionário que sirva como referência para pesquisadores futuros.

CONCLUSÕES

O mapeamento das áreas de suscetibilidade à leptospirose é um produto que ainda precisa de maior entendimento e não pode ser visto como acabado. É necessária uma maior investigação quanto às influências que as variáveis ambientais têm na incidência da leptospirose para o método AHP apresentar maior acurácia quanto aos pesos definidos.

As inundações não representaram uma variável insubstituível nessa modelagem, e podem ser substituídas por outro fator ambiental que melhor represente a umidade necessária para as *leptospiras* com a qual o gado tem contato.

Em trabalhos futuros, mostra-se pertinente a proposição de um mapeamento que leve em consideração outros fatores ambientais que impactam os animais nas áreas de pastagem, inclusive para se fazer uma comparação entre os dois mapas resultantes da Sobreposição Ponderada.

O uso do SIG permitiu que se fizesse um mapeamento complexo que, sem essa ferramenta, não teria sido possível. A ferramenta Sobreposição Ponderada possibilitou que se sobrepusessem espacialmente os fatores ambientais no modelo com níveis de importância (porcentagens) diferentes sobre as áreas analisadas em escala estadual. Apenas a atribuição de pesos com o AHP não teria resultado efetivo sem o uso de SIG.

O modelo AHP apresentou qualidades, como sua versatilidade e importância na integração de variáveis, especialmente em estudos ambientais, onde vários fatores influenciam e alteram um mesmo meio. A limitação desse método se apresentou quanto à subjetividade em parte do processo: seleção dos fatores que farão parte da matriz de comparação e definição dos pesos atribuídos a eles.

Recomenda-se a discussão em um grupo multidisciplinar, com a convergência de conhecimentos específicos de mais de uma área de estudo, em relação às variáveis mais importantes na utilização dessa análise. Apesar da revisão bibliográfica ser em si um tipo de consulta aos especialistas, o olhar de pesquisadores diretamente aos fatores que farão parte do modelo – conhecendo a escala de análise e a área de estudo – pode resultar em um julgamento mais coeso quando da utilização de métodos como o AHP.

Sobre o controle da doença, locais que registram um número grande de infecções por leptospirose podem usar como medida de controle políticas de vacinação e separação de animais infectados dos demais para evitar a propagação da doença no rebanho.

REFERÊNCIAS

- ANDICOBERRY, Alonso C.; et al. Herd-level risk factors associated with *Leptospira* spp. seroprevalence in dairy and beef cattle in Spain. *Preventive Veterinary Medicine*. p. 109–117, Dezembro, 2001.
- AVILA et al. Aglutininas anti-leptospíricas em cães na área de influência do Centro de Controle de Zoonoses, Pelotas, RS, Brasil, no ano de 1995. *Ciência Rural, Santa Maria*. v. 28, n 1, p. 107–110, 1998.
- BARCELLOS, Christovam et al. Distribuição espacial da leptospirose no Rio Grande do Sul, Brasil: recuperando a ecologia dos estudos ecológicos. *Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro*, v. 19, n. 5, p. 1283–1292, Outubro, 2003.
- BIER, Daniele et al. Análise espacial do risco de leptospirose canina na Vila Pantanal, Curitiba, Paraná. *Pesquisa Veterinária Brasileira*. Rio de Janeiro, v. 33, n. 1, p. 74–79, 2013.
- BRANDESPIM, D. Utilização do Sistema de Informação Georreferenciada (SIG) no estudo da ocorrência da *Leptospira* interrogans, sorovares canicola e icterohaemorrhagiae, na população canina do município de jaticabal, estado de São Paulo. *ARS Veterinária*, v. 21, p. 51–61, 2005.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Manual da Leptospirose. Brasília; 98 p. 1995.
- BROD, C.S.; JOUGLARD, S. D. D. Leptospirose em cães: prevalência e fatores de risco no meio rural do município de pelotas, RS. *Arquivos do Instituto Biológico, São Paulo*, v. 67, n.2, p.181-185, 2000.
- BROD, Claudiomar Soares; FEHLBERG, Marta Fernanda. Epidemiologia da leptospirose em bovinos. *Ciência Rural*, v. 22, p. 239–245, 1992.
- CORREIA, Lucas; LOUREIRO, Ana; LILENBAUM, Walter. Effects of rainfall on incidental and host-maintained *leptospiral* infections in cattle in a tropical region. *The Veterinary Journal*. v. 220, p. 63-64, 2017.
- DUARTE, Gustavo Garcia Fontes. Análise espacial da endemia de leptospirose na cidade de São Paulo, uma abordagem baseada em geoprocessamento. 2008. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Campinas, São Paulo
- ELLIS, W. A. Bovine leptospirosis in the tropics: prevalence, pathogenesis and control. *Preventive Veterinary Medicine*, v. 2, p. 411-421, 1984.
- GIVENS, Daniel M., MARLEY, M. S. D. Infectious causes of embryonic and fetal mortality. *Theriogenology*, v. 70, p. 270–285, 2008.
- GOMES, Marcos J. P.; Gênero *Leptospira* spp. Disponível em: < https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/393176/mod_folder/content/0/G%C3%AAnero%20Leptospira%20%202015.pdf?forcedownload=1 > Acessado em: 07/11/19
- HASHIMOTO, Vanessa 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, São Paulo, v.77, n.3, p. 521–524, jul/set, 2010.

HASHIMOTO, Vanessa Y; et al. Prevalência e fatores de risco associados à *Leptospira* spp. em rebanhos bovinos da região centro-sul do estado do Paraná. Pesquisa Veterinária Brasileira. v. 32, p. 99-105, 2012.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2008. Tabela 2245 - Número de municípios, total e os que sofreram inundações ou enchentes nos últimos cinco anos, por fatores agravantes. Rio de Janeiro: IBGE.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2017. Tabela 6624 - Número de estabelecimentos agropecuários com pecuária e Efetivos, por espécie da pecuária - resultados preliminares. Rio de Janeiro: IBGE.

LILENBAUM, Walter; SOUZA, Guilherme Nunes. Factors associated with bovine leptospirosis in Rio de Janeiro, Brazil. Research in Veterinary Science, v. 75, p. 249-251, 2003.

LIRA, Vanessa de Araújo; DE SÁ, Lucilene Antunes Correia Marques. Aplicação de tecnologias de geoinformação para espacializar os casos de leptospirose. III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife, PE, 2010.

MAPBIOMAS. Mapas e dados. Disponível em: <https://mapbiomas.org/> Acesso em: 15/09/19

MARTINS, Luciana Sutti. Situação Epidemiológica da Leptospirose Bovina, Canina e Humana na Área Rural do Município de Pirassununga, SP. 2005. Tese (Pós graduação em epidemiologia experimental e aplicada às zoonoses) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, São Paulo.

MELO, Luiza de Souza Seixas et al. Principais aspectos da infecção por *Leptospira* sp em ovinos. Ciência Rural, v. 40, p. 1235–1241, 2010.

MIASHIRO, Aline Fernanda; et al. Prevalência de leptospirose em rebanhos bovinos no Pantanal de Mato Grosso do Sul. Pesquisa Veterinária Brasileira, v. 38, p. 41-47, 2018.

OLIVEIRA, Flávia Carolina Souza. Leptospirose bovina no Estado da Bahia Brasil. Prevalência, sorovares predominantes, distribuição espacial e fatores de risco. 2008. Dissertação (Pós-Graduação em Epidemiologia Experimental e Aplicada às Zoonoses) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, São Paulo.

OLIVEIRA, S.V.; ARSKY, M. de L.N.S., CALDAS, E.P. Reservatórios animais da leptospirose: uma revisão bibliográfica. Saúde (Santa Maria), v. 39, p. 9–20, 2014.

PAIXÃO, Adriana Prazeres, et al. *Leptospira* spp. em bovinos leiteiros do estado do Maranhão, Brasil: frequência, fatores de risco e mapeamento de rebanhos reagentes. Arquivos do Instituto Biológico, São Paulo, v. 83, 2016.

PEKEL, Jean-Francois; et al. High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. Nature. v. 540, p. 418–422, 2016.

PERRY, G. et al. A Scientific Review of Leptospirosis and implications for quarantine policy. Austrália: Editora Canberra, 2000. 108p.

PIMENTA, Lianne Borja et al. Processo Analítico Hierárquico (AHP) em ambiente SIG: temáticas e aplicações voltadas à tomada de decisão utilizando critérios espaciais. Interações, v. 20, n. 2, p. 407-420, 2019.

REMOALDO, Paula et al. Geographical Information Systems: the past, present and future. In: KHOSROW, Mehdi Pour: Encyclopedia of Information Science and Technology. Pennsylvania, USA: IGI-Global, 4ª edição, 2017.

RODRIGUES, Claudio Manuel. One Health: Subsídios para uma análise ampliada da leptospirose como uma zoonose negligenciada. Revista Eletrônica Estácio Saúde, v. 4, n. 2, 2015.

RYAN, Eoin Gerard; et al. Herd-level risk factors associated with *leptospira* hardjo seroprevalence in beef/suckler herds in the republic of Ireland. Irish Veterinary Journal, v. 65, p. 1-10, 2012.

SAATY, Thomas L. A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures. Journal Of Mathematical Psychology, v. 15, p. 234-281, 1977.

SAATY, Thomas L. Decision making with the analytic hierarchy process. Int. J. Services Sciences, v. 1, n. 1, 2008.

SAITO, S.M.; et al. Avaliação dos desastres naturais ocorridos no Rio Grande do Sul em 2008. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, p.4828. 2011. Anais...

SCHMITT, Cléderson Idênio; JORGENS, Elbio Nallen. Leptospirose em cães: uma revisão bibliográfica. In: XVI Seminário interinstitucional de ensino, pesquisa e extensão, 2011. Cruz Alta. Anais...

SCHOONMAN, L. SWAI, Emanuel S. Herd and animal-level risk factors for bovine leptospirosis in Tanga region of Tanzania. Tropical Animal Health and Production, v. 42, p. 1565-1572, 2010.

SMITH, C. E. Gordon; TURNER, L. H. The effect of pH on the survival of leptospirae in water. Bull World Health Organ. v. 24, p. 35-43, 1961.

SOTO F. R. M; et al. Leptospirose suína. Arquivos do Instituto Biológico, São Paulo, v.74, n.4, p.379-395, 2007.

TERRA, Luiza Machado. Perdas gestacionais na bovinocultura de corte do Rio Grande do Sul. 2017. Monografia (Graduação em Medicina Veterinária) - Faculdade de Veterinária, UFRGS, Porto Alegre.

TOCANTINS, Suely. DA SILVA, Nivaldo. Distribuição espacial da prevalência de aglutininas anti-*leptospira* em bovinos e análise de risco epidemiológico utilizando técnicas de georreferenciamento em Cáceres, MT, Brasil. In: 3º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Cáceres, MT, 2010. Anais... Cáceres: Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p. 931 -940.

VARGAS, Ricardo. Utilizando a programação multicritério (AHP) para selecionar e priorizar projetos na gestão de portfólio. Disponível em: < <https://ricardo-vargas.com/pt/downloads/download-file/6103/6816>> Acesso em: 21/11/19

VIANNA, Dalessandro Soares. Slideshare. Auxílio Multicritério à Decisão. Disponível em: < <https://pt.slideshare.net/lucasD1993/ahp-54446197> > Acesso em: 18/11/2019

WARD, Michael P. Seasonality of canine leptospirosis in the United States and Canada and its association with rainfall. Preventive Veterinary Medicine, v. 56, p. 203-213, 2002.