

Ministério da Saúde

**FIOCRUZ**

**Fundação Oswaldo Cruz**



ESCOLA NACIONAL DE SAÚDE PÚBLICA  
SERGIO AROUCA  
ENSP

Rafael Ramalho Cunha e Silva

**Mudanças climáticas e ambientais e seus efeitos na ocorrência da Febre Amarela na  
região Sudeste brasileira**

Rio de Janeiro

2021

Rafael Ramalho Cunha e Silva

**Mudanças climáticas e ambientais e seus efeitos na ocorrência da Febre Amarela na  
região sudeste brasileira**

Dissertação apresentada ao Programa de Saúde Pública e Meio Ambiente da Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca como requisito parcial para obtenção do título de título de Mestre em Ciências Área de concentração: Epidemiologia Ambiental.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dra. Andrea Sobral de Almeida

Coorientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dra. Beatriz Fátima Alves de Oliveira

Rio de Janeiro

2021

Título do trabalho em inglês: Climate and environmental changes and their effects on the occurrence of Yellow Fever in Southeastern Brazil

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Catálogo na fonte  
Fundação Oswaldo Cruz  
Instituto de Comunicação e Informação Científica e Tecnológica em Saúde  
Biblioteca de Saúde Pública

S586m Silva, Rafael Ramalho Cunha e.  
Mudanças climáticas e ambientais e seus efeitos na ocorrência da febre amarela na região sudeste brasileira / Rafael Ramalho Cunha e Silva. -- 2021.  
153 f. : il. color. ; graf. ; mapas ; tab.  
  
Orientadora: Andrea Sobral de Almeida.  
Coorientadora: Beatriz Fátima Alves de Oliveira.  
Dissertação (mestrado) – Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Rio de Janeiro, 2021.  
  
1. Febre Amarela - epidemiologia. 2. Febre Amarela – imunologia. 3. Febre Amarela – prevenção & controle. 4. Mudança Climática. 5. Análise Espacial. 6. Vacina contra Febre Amarela. 7. Meio Ambiente. 8. Agrupamento. I. Título.

CDD – 23.ed. – 616.928

Rafael Ramalho Cunha e Silva

**Mudanças climáticas e ambientais e seus efeitos na ocorrência da Febre Amarela na região sudeste brasileira**

Dissertação apresentada ao Programa de Saúde Pública e Meio Ambiente da Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Epidemiologia Ambiental.

Aprovada em:30/04/2021

Banca Examinadora

Prof. Dr. Marco Aurelio Pereira Horta

Fundação Oswaldo Cruz – Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca

Prof. Dr. Reinaldo Souza-Santos

Fundação Oswaldo Cruz – Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca

Prof.<sup>a</sup> Dra. Beatriz Fátima Alves de Oliveira

Fundação Oswaldo Cruz – Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca

Prof.<sup>a</sup> Dra. Andrea Sobral de Almeida (Orientador)

Fundação Oswaldo Cruz – Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca

Rio de Janeiro

2021

Dedico este trabalho a minha mãe, a minha família e a todos aqueles que me apoiaram  
nessa longa jornada.

## AGRADECIMENTOS

Acredito que este é o tópico mais difícil da monografia, pois passei diversos dias pensando em como realizá-lo. Não é fácil decidir a quem agradecer porque a vida é feita de ciclos, e com isso, pessoas vêm e vão em nossas vidas, claro algumas deixam marcas para sempre enquanto outras apenas se mostraram presentes, mas não contribuíram com nada.

Acho que irei começar agradecendo ao universo pela possibilidade da vida e de colocar as pessoas certas para nos ajudar e guiar nos momentos mais tristes, em que nos encontramos no fundo do poço e parece que não tem saída, e é claro que são as mesmas pessoas que podemos compartilhar os momentos felizes da vida, pois elas estão sempre ao nosso lado.

Nesse segundo momento quero agradecer aquela pessoa da minha família que se encontra-sempre ao meu lado e com as mãos estendidas, que é a minha mãe Lilian Rose Ramalho Lopes.

O terceiro momento é dedicado às pessoas que estiveram do meu lado me apoiando e me ajudando de alguma forma a evoluir nesse mundo que são as minhas avós Lêda Ramalho Lopes e Terezinha de Jesus Frazão Cunha e Silva, a minha madrinha Fatima Christina Ramalho Lopes e ao meu padrinho Márcio André Ramalho Lopes.

O quarto momento é dedicado àquelas pessoas que não estão mais entre nós, mas que de alguma forma estão sempre acalmando meu coração e olhando por mim, meu pai Fernando Antônio Frazão Cunha e Silva, minha tia Lenir Ramalho Cunha, e meu avô Fernando Antunes Cunha e Silva.

Neste quinto momento gostaria de agradecer ao Sandro Javier Bedoya Pacheco por ter me ajudado nesses últimos anos, ter confiado e acreditado em mim para realizar esse mestrado na ENSP.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001

Pelo que vejo a melhor forma de finalizar esses agradecimentos é utilizando a música “*canvas of life*” de uma banda holandesa chamada Epica, pois nela se destaca os ciclos e o quadro da vida que vai ganhando uma nova forma e cor em cada momento.

*“Onde não está o homem, é estéril a natureza”*

Blake, 2011, página 26.

## RESUMO

A febre amarela é uma doença infecciosa e não contagiosa causada por vírus da família *flaviviridae*, e sua ocorrência está ligada a áreas tropicais. No Brasil a doença apresenta dois ciclos, um ciclo urbano - que não é detectado desde 1942 - e um ciclo silvestre - que se mantém até os dias de hoje. A partir do final da década de 1990, a FA passa a se expandir pelo território brasileiro, deixando de ser endêmico na região Norte do país, em direção as novas áreas, entre elas a região Sudeste do país. Essa expansão se deve a ação do homem no espaço que o transforma, refuncionaliza e modifica as suas dinâmicas, ou seja, fragmenta as áreas verdes forçando a dispersão de PNH, que são reservatórios da FA, para novas áreas, principalmente para perto das áreas urbanas; modifica o clima, fazendo com que decorram mudanças nas dinâmicas dos fatores climáticos, como temperatura e precipitação, que estão ligadas aos processos reprodutivos dos vetores e do vírus causador da doença. Partindo deste pressuposto, esse trabalho teve como objetivo investigar a relação da doença com o clima e o ambiente, que estão em constante alteração, no processo epidêmico-epizootico de 2016-2018 ocorrido na região Sudeste brasileira. Trata-se de um estudo ecológico, os dados da epidemiologia e epizootias que são oriundos do Secretaria de Vigilância em Saúde - SVS -; os dados climáticos utilizados são de origem do *ERA5-Land* das variáveis bioclimáticas de valores mensais de temperatura e precipitação; e os dados ambientais, uso e cobertura do solo, obtidos a partir do processamento de imagens do programa MapBioma. A análise dos dados é realizada por meio de quatro diferentes abordagens entre elas a análise espacial da situação epidemiológica – casos humanos e epizootias -; *clusters* de casos humanos e espacialização das epizootias nos mesmos; identificação de fatores ambientais e climáticos e a correlação entre estes e o risco relativo dos *clusters*. Os dados permitem observar que durante o processo epidêmico-epizootico, os dados ligados ao clima são maiores que o período de 20 anos, o espaço se encontra em transformação e a existência de correlação nos dados, incluindo o risco relativo das áreas com os fatores ambientais e climáticos.

Palavras-chave: febre amarela, mudança climática, fatores ambientais, agrupamento, análise espacial.



## ABSTRACT

Yellow fever is an infectious and non-contagious disease caused by viruses of the Flaviviridae family, and its occurrence is linked to tropical areas. In Brazil, the disease has two cycles, an urban cycle - which has not been detected since 1942 - and a wild cycle - which continues to this day. From the end of the 1990s onwards, YF began to expand throughout the Brazilian territory, no longer being endemic in the North of the country, towards new areas, including the Southeast region of the country. This expansion is due to the action of man in the space that transforms, refunctionalize and modifies its dynamics, that is, it fragments the green areas, forcing the dispersion of NHP, which are reservoirs of YF, to new areas, especially close to urban areas; it modifies the climate, causing changes to occur in the dynamics of climatic factors, such as temperature and precipitation, which are linked to the reproductive processes of the vectors and the virus that causes the disease. Based on this assumption, this study aimed to investigate the relationship between the disease and the climate and environment, which are constantly changing, in the 2016-2018 epidemic-epizootic process that occurred in the Southeast region of Brazil. This is an ecological study, the data on epidemiology and epizootics that come from the Health Surveillance Secretariat - SVS -; the climatic data used are from the ERA5-Land of the bioclimatic variables of monthly values of temperature and precipitation; and environmental data, land use and land cover, obtained from the image processing of the MapBioma program. Data analysis is performed using four different approaches, including spatial analysis of the epidemiological situation – human cases and epizootics -; clusters of human cases and the spatialization of epizootics in them; identification of environmental and climatic factors and the correlation between these and the relative risk of the clusters. The data allow us to observe that during the epidemic-epizootic process, the data related to the climate are greater than the period of 20 years, the space is in transformation and the existence of correlation in the data, including the relative risk of the areas with environmental factors and climatic.

Keywords: yellow fever, climate change, environmental factors, cluster, spatial analysis.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Esquema dos estágios clínicos da febre amarela, suas durações e principais sinais e sintomas em cada estágio.....	20
Figura 3. Mapa de áreas epidemiológicas de febre amarela 2001. ....	22
Figura 4. Ciclo silvestre e urbano da Febre Amarela. ....	23
Figura 5. Ciclo silvestre e urbano da Febre Amarela. ....	25
Figura 6. Mapa de áreas de recomendação de vacinação contra a febre amarela 2010. ....	28
Figura 7. Mapa de áreas de recomendação de vacinação contra a febre amarela 2017. ....	29
Figura 8. Organização das escalas espacial e temporal do clima.....	32
Figura 9. Mapa de localização da região Sudeste brasileira. ....	40
Figura 10. Representação gráfica da estrutura dos dados do tipo NetCDF para o no Brasil, variando no tempo. ....	43
Figura 11. Distribuição percentual dos casos humanos de febre amarela nos estados da região Sudeste nos anos e no período do processo epidêmico-epizoótico (2016-2018).....	48
Figura 12. Mapa de distribuição de casos humanos de febre amarela nos estados região Sudeste nos anos (A)2016, (B)2017; (C)2018.....	50
Figura 13. <i>Heatmap</i> da taxa de incidência bruta por 100.000 habitantes de casos humanos de febre amarela na região Sudeste nos anos 2016-2018 do processo epidêmico-epizoótico. ....	53
Figura 14. Distribuição espacial da incidência bruta e bayesiana global da FA por 100.000 habitantes na região Sudeste. (A) 2016; (B) 2017; (C)2018.....	56
Figura 15. Descrição dos casos humanos de febre amarela nos estados região Sudeste nos anos do processo epidêmico-epizoótico e a cobertura vacinal de cada um destes: .....	59
A) Espírito Santo; B) Minas Gerais; C) Rio de Janeiro; e D) São Paulo. ....	59
Figura 16. Distribuição percentual das epizootias de febre amarela nos estados da região Sudeste nos anos e no período do processo epidêmico-epizoótico (2016-2018).....	61
Figura 17. Mapa das epizootias de febre amarela na região Sudeste nos anos: A)2016, ....	63
B) 2017 e C)2018. ....	63
Figura 18. <i>Heatmap</i> das epizootias de febre aarela na região Sudeste nos anos 2016-2018 do processo epidêmico-epizoótico. ....	65
Figura 19. Distribuição espacial das epizootias de FA em PNH na região Sudeste com sobreposição dos <i>clusters</i> de casos humanos de FA.....	68

Figura 20. Descrição do percentual de uso e cobertura do solo nos estados região Sudeste nos anos de 2013 até 2018. A) Espírito Santo; B) Minas Gerais; C) Rio de Janeiro; e D) São Paulo.....	72
Figura 21. Mapa de <i>clusters</i> humanos, epizootias e uso e cobertura do solo no Espírito Santo no ano de 2017. ....	74
Figura 22. Mapa de <i>clusters</i> humanos, epizootias e uso e cobertura do solo em Minas Gerais. (A) 2017; (B)2018.....	76
Figura 23. Mapa de <i>clusters</i> humanos, epizootias e uso e cobertura do solo no Rio de Janeiro no ano de 2018. ....	78
Figura 24. Mapa de <i>clusters</i> humanos, epizootias e uso e cobertura do solo em São Paulo. (A) 2017; (B)2018.....	80
Figura 25. Temperatura média e precipitação durante o processo epidêmico-epizoótico (2016-2018) e no período de 20 anos (1996-2015) nos estados da Região Sudeste. A) temperatura média e B) precipitação.....	82
Figura 26. Gráfico de temperatura nos <i>clusters</i> do ES de 1996 a 2018 .....	85
Figura 27. Gráfico de precipitação nos <i>clusters</i> do ES de 1996 a 2018.....	85
Figura 28. Gráfico de temperatura nos <i>clusters</i> do MG de 1996 a 2018. A) <i>Cluster</i> 2017 e B) <i>Cluster</i> 2018.....	88
Figura 29. Gráfico de precipitação nos <i>clusters</i> do MG de 1996 a 2018. A) <i>Cluster</i> 2017 e B) <i>Cluster</i> 2018.....	89
Figura 30. Gráfico de temperatura nos <i>clusters</i> do RJ de 1996 a 2018.....	91
Figura 31. Gráfico de precipitação nos <i>clusters</i> do RJ de 1996 a 2018 .....	91
Figura 32. Gráfico de temperatura nos <i>clusters</i> do SP de 1996 a 2018.....	94
Figura 33. Gráfico de precipitação nos <i>clusters</i> do SP de 1996 a 2018 .....	94
Figura 34. Temperatura nos <i>clusters</i> durante o processo epidêmico-epizoótico pelo <i>ranking</i> de RR: A) temperatura média, B) temperatura mínima e C) temperatura máxima.....	97
Figura 35. Precipitação nos <i>clusters</i> durante o processo epidêmico-epizoótico pelo <i>ranking</i> de RR. ....	98
Figura 36. Matriz de Coeficiente de Correlação de <i>Spearman</i> entre RR, fatores climáticos e uso e cobertura do solo nos <i>clusters</i> identificados nos estados da região Sudeste. ....	99
Figura 37. Matriz de Coeficiente de Correlação de <i>Spearman</i> estatisticamente significativa ( $p$ -valor<0,05) entre RR, fatores climáticos e uso e cobertura do solo nos <i>clusters</i> identificados nos estados da região Sudeste. ....	100

Figura A1. Mapa de localização dos <i>clusters</i> na RSE no período de 2016 a 2018.....	142
Figura A2. Mapa de localização dos <i>clusters</i> dos estados e da RSE no período de 2016 a 2018.....	143
Figura A3. Gráfico de casos e epizootias com relação a temperatura(A) e precipitação (B) o Estado do Espírito Santo.....	144
Figura A4. Gráfico de casos e epizootias com relação a temperatura (A) e precipitação (B) o Estado do Minas Gerais.....	146
FiguraA5. Gráfico de casos e epizootias com relação a temperatura (A) e precipitação (B) o Estado do Rio de Janeiro .....	148
FiguraA6. Gráfico de casos e epizootias com relação a temperatura (A) e precipitação (B) o Estado do São Paulo .....	150

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Medidas de resumo dos casos humanos de febre amarela nos estados região Sudeste nos anos do processo epidêmico-epizoótico (2016-2018).....	52
Tabela 2. Medidas de resumo das epizootias de febre amarela nos estados região Sudeste nos anos do processo epidêmico-epizoótico (2016-2018).....	62
Tabela 3. Descrição dos <i>clusters</i> da região Sudestes no período de 2016 a 2018. ....	70
Tabela 4. Uso e cobertura do solo e área em Km <sup>2</sup> no ES. ....	74
Tabela 8. Uso e cobertura do solo e área em Km <sup>2</sup> em MG.....	77
Tabela 6. Uso e cobertura do solo e área em Km <sup>2</sup> no RJ.....	78
Tabela 7. Uso e cobertura do solo e área em Km <sup>2</sup> no SP.....	81
Tabela 8. classificação dos <i>clusters</i> de acordo com o seu RR ( <i>ranking</i> ) do processo epidêmico (2016-2018).....	96
Tabela A1. Descrição dos <i>clusters</i> na RSE no período de 2016 a 2018.....	143

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Ae.	Aedes
Dez	Dezembro
ECMWF	European Center for Medium-Range Weather Forecast
ES	Espírito Santo
F.	Floresta
FA	Febre Amarela
FAZ	Febre Amarela Silvestre
Form.	Formação
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Infra.	Infraestrutura
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
Jul	Julho
Lav.	Lavoura
LLR	Razão de verossimilhança
MG	Minas Gerais
Nº	Número
NetCDF	Network Common Data Form
Obs.	Observação
PNH	Primates Não Humanos
POP.	População
RJ	Rio de Janeiro
RR	Risco Relativo
SER	Região Sudeste
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SP	São Paulo
SR	Sensoriamento Remoto
SVS	Sistema de Vigilância em Saúde
WHO	World Health Organization
YW	Yellow Fever

## SUMÁRIO

<b>1 – INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2 – JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>17</b>
<b>3 – OBJETIVOS .....</b>	<b>188</b>
3.1 - OBJETIVO GERAL.....	188
3.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	188
<b>4 - REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>1919</b>
4.1 - FEBRE AMARELA .....	1919
4.2 – PROCESSO EPIDÊMICO-EPIZOOTICO.....	255
4.3 - FATORES INDIVIDUAIS .....	277
4.4 - FATORES AMBIENTAIS .....	300
4.5 - FATORES CLIMÁTICOS.....	322
4.6 – GEOPROCESSAMENTO E ANÁLISE ESPACIAL EM SAÚDE .....	355
4.7 - ESTUDO ECOLÓGICO .....	3939
<b>5 - METODOLOGIA .....</b>	<b>400</b>
5.1 - ÁREA DE ESTUDO .....	400
5.2 - DESENHO DE ESTUDO.....	422
5.3 - FONTE DE DADOS E VARIÁVEIS.....	422
5.4- ANÁLISE DOS DADOS.....	444
5.5 – CONSIDERAÇÕES ÉTICAS.....	47
<b>6- RESULTADOS .....</b>	<b>488</b>
<b>7 – DISCUSSÃO.....</b>	<b>101</b>
<b>8 – CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>106</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>108</b>
<b>APÊNDICE A - SAÍDA DO PROGRAMA SATSCAN PARA O ESTADO DO ESPÍRITO SANTO .....</b>	<b>119</b>

<b>APÊNDICE B - SAÍDA DO PROGRAMA SATSCAN PARA O ESTADO DO MINAS GERAIS .....</b>	<b>122</b>
<b>APÊNDICE C - SAÍDA DO PROGRAMA SATSCAN PARA O ESTADO DO RIO DE JANEIRO .....</b>	<b>130</b>
<b>APÊNDICE D - SAÍDA DO PROGRAMA SATSCAN PARA O ESTADO DO SÃO PAULO.....</b>	<b>136</b>
<b>APÊNDICE E- CLUSTERS REGIÃO SUDESTE.....</b>	<b>141</b>
<b>APÊNDICE F - RELAÇÃO DA TEMPERATURA E PRECIPITAÇÃO COM OS CASOS E EPIZOOTIAS DE FA NO PERÍODO DE 2016-2018.....</b>	<b>144</b>



## 1 – INTRODUÇÃO

O ambiente representa a relação do homem com a natureza, para a ciência geográfica (HAESBAERT, 2014). Além disso, o espaço também é um conceito fundamental para a epidemiologia por compreender as relações entre a doença e o espaço (CZERESNIA; RIBEIRO, 2000).

Pavlovsky foi responsável pela elaboração teórica do conceito de espaço geográfico vinculado ao estudo de doenças transmissíveis na década de 30, onde se utiliza do conceito de foco natural de doença e sua relação com uma paisagem geográfica específica, na qual o homem se torna vítima de uma doença em seu modo silvestre quando permanece no território destes focos naturais (CZERESNIA; RIBEIRO, 2000).

Nessa perspectiva, o conceito de foco natural, restringe-se a doenças transmitidas por meio de vetores e não as que se propagam através do contato direto ou mesmo pela inalação de ar contaminado, como sarampo, difteria, e doenças respiratórias, por exemplo, (CZERESNIA; RIBEIRO, 2000). Além disso, o mesmo autor desenvolveu o conceito de foco antropúrgico, onde a ideia de transformação do espaço de circulação de agentes de doenças pela ação humana; porém esse conceito não deu conta da dinâmica de transformação do espaço pelo homem que ocorreu de forma mais ampliada e acelerada (CZERESNIA; RIBEIRO, 2000).

Indo para além da abordagem do conceito de foco natural de Pavlovsky, Max Sorre incorpora a importância da ação humana no complexo patogênico, ou seja, a ecologia assume como eixo central indo além da descrição do meio físico (CZERESNIA; RIBEIRO, 2000). Com isso, o espaço para Sorre abrange as relações do meio externo e um interno que visa se adaptar ao externo; mas ao colocar o ser humano, este conceito de meio deve acrescentar o ambiente produzido pelo homem, representando assim o conceito de gênero de vida constituído pela organização social em aspecto material e espiritual (CZERESNIA; RIBEIRO, 2000).

Com o pós-guerra, o espaço passa a ser caracterizado por Milton Santos como sendo meio técnico-científico-informacional, a partir do momento em que os princípios de tecnologia, ciência e mercados globais passam a ser encarados como um conjunto (SANTOS, 2009; CZERESNIA; RIBEIRO, 2000), ou seja, “um conjunto indissociável de sistemas de objetos e ações” (SANTOS, 2009); “um conjunto de fixos e fluxos que interagem” (SANTOS, 2009), sendo assim o espaço é o resultado da participação “de um

lado, certo arranjo de objetos geográficos, objetos naturais e objetos sociais, e de outro, a vida que os preenche e os animais, ou seja, a sociedade em movimento” (SANTOS; ELIAS, 2012).

Em resumo, o espaço é a base do estudo geográfico e epidemiológico, sendo assim, é um dos conceitos mais complicados de definir, pois engloba uma diversidade de categorias de análises, ao se tratar do conceito de espaço, deve-se levar em consideração o seu poder de transformar o meio a partir da técnica (HAESBAERT, 2014; SANTOS, 2009; BRAGA, 2007), no qual o objetivo é se consolidar no ambiente (HARVEY, 2011; BRAGA, 2007).

Santos (2009) nos auxilia ao considerar que a principal forma de relação entre o homem e o meio se dá pela técnica; e o conjunto de técnicas se tornam um conjunto de meios instrumentais e sociais, pelo qual o homem realiza a sua vida, e ao mesmo tempo, produz o espaço.

Considerada um dos maiores e mais complexo problema ambiental da atualidade, a mudança climática, intensificada pela ação humana na forma de transformar o espaço, possui como resultados principais, o aumento da temperatura - causada por emissões de gases de efeito estufa – e as mudanças no ciclo hidrológico (PBMC, 2016; IPCC, 2015, 2014).

Essas mudanças climáticas e espaciais podem contribuir para a expansão da área de transmissão de muitas endemias e o ressurgimento de doenças anteriormente controladas ou erradicadas (CHILDS et al., 2019; NAVA et al., 2017; PBMC, 2016; CZERESNIA; RIBEIRO, 2000). O estudo de Almeida et al. (2019) aponta a influência da chuva, umidade do ar e temperatura na distribuição de epizootias de febre amarela. Hamlet et al. (2018), propõem o desenvolvimento de modelo estatístico para quantificar a dinâmica sazonal da transmissão do vírus da febre amarela e para prever as heterogeneidades geográficas e temporais na África. Neste estudo, os autores mostram a interação da precipitação e da temperatura como as variáveis mais importantes do que qualquer um dos outros fatores utilizados em seu modelo. No entanto, apontam que a temperatura e a interação das chuvas foram altamente correlacionadas com o índice de vegetação e variam de médias a altas correlações no nível regional. Ambos os estudos apontam a influência da alteração dos fatores climáticos, ou seja, mudança climática, na disseminação da febre amarela (ALMEIDA et al., 2019; HAMLET et al., 2018).

Nos anos de 2016 a 2018, ocorreu um processo epidêmico-epizootico de FA de importante magnitude, principalmente na região Sudeste brasileira, que resultou em um elevado número de mortes em primatas, detectados principalmente em áreas de borda

florestal, - cerca de 1.170 casos até julho 2017 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2017a) - e um aumento nos casos humanos - cerca de 764 casos confirmados até julho de 2017 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2017a) – (CHILDS et al., 2019; ESCOSTEGUY et al., 2019; REZENDE et al., 2018). Isso levantou um alerta, especialmente nos centros urbanos que registram o vetor urbano, *Aedes aegypti*, sendo transmissora de diversas enfermidades, principalmente, a dengue (ALMEIDA et al., 2019; PAIVA et al., 2019; POSSAS et al., 2018).

## 2 – JUSTIFICATIVA

A febre amarela apresenta dois ciclos: o ciclo urbano, no Brasil não é registrada desde 1942, e o ciclo silvestre, que ocorre até os dias atuais, restrito a região do bioma amazônico até 1999, quando o houve a expansão da área de circulação do vírus, principalmente em direção às regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do país (MOUSSALLEM et al., 2019; KAUL et al., 2018; COSTA et al., 2011; VASCONCELOS, 2010). Os surtos da doença são, principalmente, relacionados aos primatas não humanos em ciclos epizoóticos que variam de cinco a sete anos (VASCONCELOS, 2010).

Ainda de acordo com Vasconcelos (2010), a periodicidade das epizootias deve estar relacionada à renovação da população de primatas não humanos, que são essenciais para amplificação da FA, o que não ocorreria com a população de vetores mesmos este podendo ter a possibilidade de transmissão vertical. De acordo com Possa et al. (2018) existem complexos determinantes e ecossociais que permitiram o rápido processo de disseminação do vírus da FA, além de problemas com estratégias e políticas adotadas que auxiliaram a aceleração e o agravamento do cenário epidemiológico.

Com a expansão das cidades e áreas rurais em direção às áreas verdes, a população humana passa a ficar em vulnerabilidade devido à possibilidade de exposição dos vetores responsáveis pela doença no ciclo silvestre. Outro problema é o aumento da população de mosquitos *Aedes* nos centros urbanos, no qual podem proporcionar uma retomada do ciclo urbano da doença (CAVALCANTE; TAUIL, 2016).

Este trabalho se justifica, não apenas pela análise dos casos humanos e das epizootias de febre amarela na região Sudeste brasileiro, área de importante transmissão da doença, mas principalmente por investigar a existência de relação da doença com o clima e o ambiente que estão em constantes alterações devido à ação antrópica, possibilitando a expansão e o aumento de doenças transmitidas por vetores, como a febre amarela.

A utilização do Sistema de Informações Geográficas e métodos de análise espacial permitirão observar não apenas o local de ocorrência da doença, mas relacionar espacialmente os fatores climáticos, como temperatura, precipitação e umidade e ambientais, com o uso e cobertura do solo, como aumento ou redução de corredores e fragmentos ecológicos. Assim, pretende-se com o uso do SIG e outras abordagens estatísticas espaciais identificar padrões da distribuição da doença no espaço e no tempo, e analisar a influência dos fatores climáticos e ambientais na transmissão/difusão da doença na região Sudeste.

### 3 – OBJETIVOS

#### 3.1 - OBJETIVO GERAL

Analisar a relação entre as mudanças climáticas e ambientais e o aumento da ocorrência da febre amarela silvestre, com base nos registros de casos humanos e de epizootias durante o processo epidêmico-epizoótico de 2016 a 2018, na região Sudeste brasileira.

#### 3.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Descrever espacialmente a situação epidemiológica do período epidêmico-epizoótico da febre amarela na região Sudeste no período de 2016-2018;
2. Detectar *clusters* de casos humanos da febre amarela no processo epidêmico-epizoótico na região Sudeste;
3. Caracterizar as distribuições das epizootias de PNH de febre amarela dentro dos *clusters* de casos humanos identificados;
4. Identificar os fatores climáticos e ambientais relacionados a febre amarela nas áreas de *cluster*;
5. Correlacionar os fatores climáticos e ambientais que influenciaram o processo epidêmico-epizoótico da febre amarela, dentro dos *clusters* identificados.

## 4 - REFERENCIAL TEÓRICO

### 4.1 - FEBRE AMARELA

A Febre Amarela é uma doença infecciosa e não contagiosa, se mantém endêmica e enzoótica nas áreas consideradas de floresta tropicais na América e África gerando periodicamente surtos isolados ou epidemias que podem levar impacto à saúde pública em diferentes escalas (VASCONCELOS, 2003). O mesmo autor coloca que a febre amarela é uma doença de notificação compulsória.

É causada por um vírus da família *Flaviviridae* (MOUSSALLEM et al., 2019; CAVALCANTE; TAUIL, 2016; MONATH; VASCONCELOS, 2015; MASCHERETTI et al., 2013; COSTA, 2005; VASCONCELOS, 2003) do gênero *Flavivirus* (ALMEIDA et al., 2019; CAVALCANTE; TAUIL, 2016; MONATH; VASCONCELOS, 2015; MASCHERETTI et al., 2013; JENTES et al., 2011; STAPLES; MONATH, 2011; COSTA, 2005; VASCONCELOS, 2003). De acordo com Vasconcelos (2003), o vírus causador da febre amarela pode ser inserido no grupo dos arbovírus (do inglês *arthropod borne virus*) sendo sua forma clássica descrita como uma febre hemorrágica (BARNETT, 2017; STAPLES; MONATH, 2011).

Por ser uma doença infecciosa de característica febril aguda, imunoprevenível, de evolução abrupta e de gravidade variada, possui uma elevada letalidade em sua forma mais grave (BRASIL, 2019; CAVALCANTE; TAUIL, 2016); sua apresentação clínica clássica caracteriza-se por um quadro de insuficiência hépato-renal que pode levar à morte em até dez dias por falência múltipla de órgãos (BARNETT, 2017; CAVALCANTE; TAUIL, 2016; STAPLES; MONATH, 2011; COSTA, 2005). Apresenta um período de incubação que varia de 3 a 6 dias (BRASIL, 2019; STAPLES; MONATH, 2011) podendo ser de até 10 dias (VASCONCELOS, 2003).

A forma clássica pode ser caracterizada por três estágios clínicos. infecção, remissão e intoxicação (BRASIL, 2019; STAPLES; MONATH, 2011) que pode ser observado na figura 1. Vasconcelos (2003) considera que existe uma estimativa de que aproximadamente 90% dos casos com expressão clínica sejam classificadas como leve e oligossintomática; e aproximadamente 10% seja classificada como forma grave, com isso o autor considera que a subnotificação se caracterize como um *iceberg*, como se observa na figura 2, onde se percebe que os casos mais graves representam um valor pequeno, enquanto a base larga e

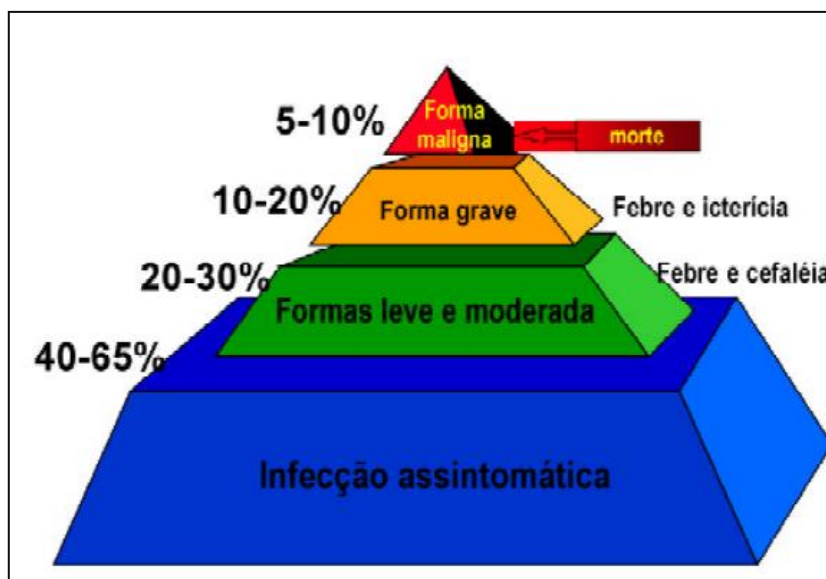
grande representa a ausência de sintomas. Uma das formas de se evitar a febre amarela é a vacinação, principalmente para as áreas endêmicas da doença.

Figura 1. Esquema dos estágios clínicos da febre amarela, suas durações e principais sinais e sintomas em cada estágio.

3 - 6 dias	3 - 6 dias	2 - 24 horas	3 - 8 dias
<b>Incubação</b>	<b>Infecção</b>	<b>Remissão</b>	<b>Intoxicação</b>
<p><b>Resultado:</b></p> <p>De 50%-85% não irá desenvolver sintomas ou a doença</p>	<p><b>Sinais e Sintomas:</b></p> <p>Febre Dor de cabeça Mialgia Dor lombossacra Náusea Indisposição Prostração Tontura Olhos vermelhos Língua Hiperêmica Relativa Bradicardia (sinal de Faget)</p> <p><b>Resultado:</b></p> <p>De 75%-85% não irá progredir 15%-25% progredirá para febre amarela "classica"</p>	<p><b>Sinais e Sintomas:</b></p> <p>Febre e diminuição dos sintomas</p>	<p><b>Sinais e Sintomas:</b></p> <p>Febre alta Icterícia Sensibilidade no fígado Dor de cabeça Dor epigástrica Vômito Hematêmese Hemorragia Oligúria / anúria Hipotenso / choque Estupor / coma Convulsões</p> <p><b>Resultado:</b></p> <p>50% de mortalidade de pessoas nesse estágio</p>

Fonte. adaptado Staples & Monath (2011).

Figura 2. Representação dos casos de febre amarela a partir dos sintomas – o iceberg.



Fonte. Vasconcelos (2003).

Essa doença ocorre nas áreas tropicais da América e da África (CAVALCANTE; TAUIL, 2016), alguns autores consideram apenas as regiões tropicais da África e da América do Sul (ALMEIDA et al., 2019; MONATH; VASCONCELOS, 2015), áreas tropicais e subtropicais (JENTES et al., 2011), ou mesmo nas áreas de florestas tropicais da América Latina. Alguns consideram os continentes da América Central (BARNETT, 2017), América do Sul (BARNETT, 2017; STAPLES; MONATH, 2011) e África (BARNETT, 2017), podendo especificar esse último como África subsaariana (STAPLES; MONATH, 2011).

A febre amarela pode ser considerada uma doença sazonal, pois a ecologia do seu vírus é complexa e diversos fatores contribuem para a transmissão viral (STAPLES; MONATH, 2011). De modo geral, a atividade viral sofre aumento ao mesmo tempo em que a população do vetor também aumenta, ou seja, são dependentes de fatores abióticos – ou físicos – para sua multiplicação e difusão no ambiente (ALMEIDA et al., 2019; STAPLES; MONATH, 2011). Esses fatores estão relacionados diretamente ao clima, no qual os seus principais elementos, temperatura, umidade e precipitação influenciam no desenvolvimento dos vetores, e na América do Sul a alta incidência desses elementos ocorre entre os meses janeiro a maio, onde é possível verificar o aumento de casos da enfermidade (ALMEIDA et al., 2019; STAPLES; MONATH, 2011). Os valores elevados de precipitação, por exemplo, podem favorecer a proliferação do mosquito e a temperatura elevada permitir a dispersão e transmissão do vírus (VASCONCELOS, 2010).

Transmitida por mosquitos pertencem ao Filo Arthropoda, Classe Insecta, Ordem Diptera, Subordem Nematocera, Família Culicidae (ALMEIDA, 2011) - do gênero *Haemogogus*, *Sabethes* – no ciclo silvestre - e *Aedes* – no ciclo urbano -(ALMEIDA et al., 2019; BRASIL, 2019; PAIVA et al., 2019; CAVALCANTE; TAUIL, 2016; MONATH; VASCONCELOS, 2015; MASCHERETTI et al., 2013).

Almeida et al. (2019) e Kaul et al. (2018) descrevem que nas Américas o vírus se mantém na natureza em ciclos que envolvem primatas não humanos (PNH) e hematófagos - principalmente *Haemogogus* e *Sabethes* -, como pode ser observado na figura 3, e possui uma faixa relativamente estreita de hospedeiros (MONATH; VASCONCELOS, 2015). Os seres humanos são infectados esporadicamente quando picados por mosquitos do ciclo silvestre que antes se alimentavam de um macaco (MONATH; VASCONCELOS, 2015).



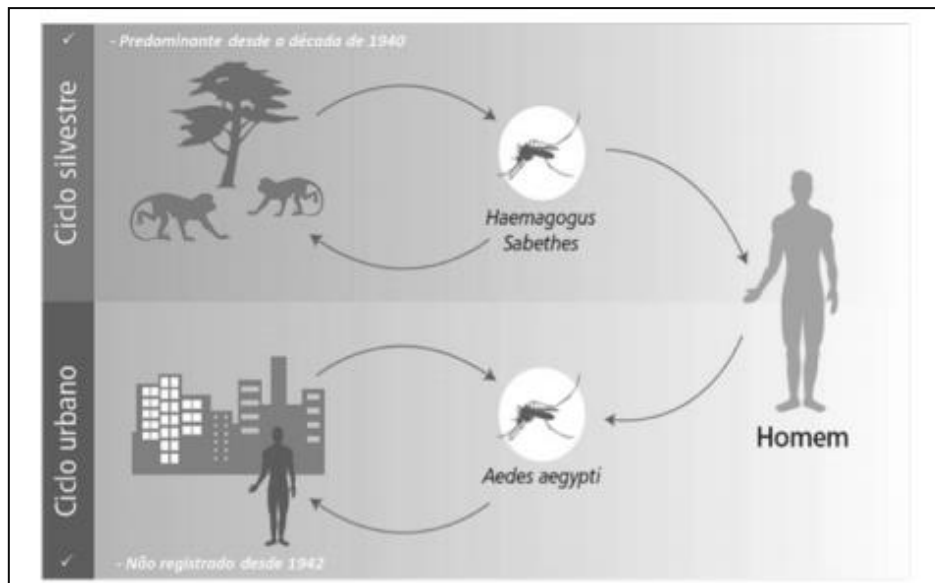
Figura 3. Mapa de áreas epidemiológicas de febre amarela 2001.



Fonte. VASCONCELOS (2003).

O ciclo urbano não é detectado no Brasil desde 1942 (BRASIL, 2019; MOUSSALLEM et al., 2019; CAVALCANTE; TAUIL, 2016; MASCHERETTI et al., 2013; COSTA et al., 2011). O homem também pode servir como hospedeiro para a transmissão inter-humana, principalmente pelo vetor *Aedes aegypti*, uma espécie que se reproduz dentro de habitações ou em áreas próximas a partir de reservatórios de água parada (MONATH; VASCONCELOS, 2015). O ciclo urbano pode ser observado na figura 4. Também deve-se considerar que os mosquitos irão adquirir o vírus através da alimentação sanguínea na infecção de vertebrados, os vetores também podem se infectar pela transmissão transovarial, sendo um importante mecanismo de manutenção do vírus (ALMEIDA et al., 2019; BRASIL, 2019).

Figura 4. Ciclo silvestre e urbano da Febre Amarela.



Fonte. Brasil (2019).

A transmissão do vírus da febre amarela desde 1942 passou a ser predominantemente silvestre. A circulação do vírus responsável pela febre amarela no ciclo silvestre é endêmica na região amazônica, com alguns surtos ocorrendo para além dessa área geográfica (MOUSSALLEM et al. 2019). Na fase silvestre passaram a predominar registros de epidemias cíclicas com intervalos regulares de cinco a sete anos, alternados com pequenas ocorrências de casos, sendo um padrão observado até 1997 (MASCHERETTI et al., 2013; VASCONCELOS, 2010).

A partir de 1998, observou-se uma mudança nesse padrão com o aumento de número de casos e uma expansão das áreas de transmissão da doença (MASCHERETTI et al., 2013). Moreno & Barata (2012) consideram a região amazônica endêmica até o ano de 1999, e a partir desse momento tem uma progressiva expansão pelo território com um aumento gradual dos casos relatados observado próximo aos limites tradicionais de zonas endêmicas. Complementando essa ideia Rezende et al. (2018) consideram que a disseminação da febre amarela silvestre para áreas externas do bioma Amazônia ocorre a partir de movimento de pessoas infectadas e portadoras do vírus ou pelo tráfico ilegal de primatas não humanos infectados.

A reemergência do modo silvestre da FA que se dá fora da região amazônica, a partir do ano de 1999 (REZENDE et al., 2018), expandiu a área de circulação do vírus (CAVALCANTE; TAUIL, 2016; MORENO; BARATA, 2012) para novas áreas do território brasileiro como as regiões Sudeste e Sul do país (CAVALCANTE; TAUIL, 2016;

KAUL et al., 2018), além da região Centro-Oeste (REZENDE et al., 2018). Isso provavelmente encontra-se relacionado às mudanças sociais e ambientais decorrentes do processo de urbanização acelerado e sem o processo de infraestrutura adequado (CAVALCANTE; TAUIL, 2016). Outro fator que também pode estar associado ao aumento dos casos da doença são mudanças nos fatores ambientais bióticos e abióticos (ALMEIDA et al., 2019). O risco de ocorrência de febre amarela em uma região se encontra relacionada à presença humana, de vetores e hospedeiros vertebrados (ALMEIDA et al., 2019; ROGERS et al., 2006).

Os primatas não humanos são os principais hospedeiros do vírus no ciclo silvestre, sendo que um único primata portador do vírus da febre amarela no sangue é capaz de infectar dezenas ou centenas de vetores que pode desencadear no aumento considerável na taxa de transmissão da doença (VASCONCELOS, 2010). As alterações em seus habitats com a proximidade das áreas de expansão agrícola e dos grandes urbanos, que são densamente ocupados e com baixa cobertura vacinal se tornam vulneráveis a uma endemia de febre amarela (PAIVA et al., 2019; CAVALCANTE; TAUIL, 2016).

Estas transformações no ambiente alteram os fatores climáticos que podem afetar a ocorrência da febre amarela, tais como o prolongamento dos períodos de precipitação e de altas temperaturas que foram associados aos surtos da doença. Além disso, as chuvas têm um papel importante na multiplicação e na densidade dos vetores (ALMEIDA et al., 2019).

Moreno & Barata (2012) consideram que a frequência da ocorrência da febre amarela é maior no período de janeiro a abril, onde se coincidem as elevadas chuvas e o aumento da população do vetor.

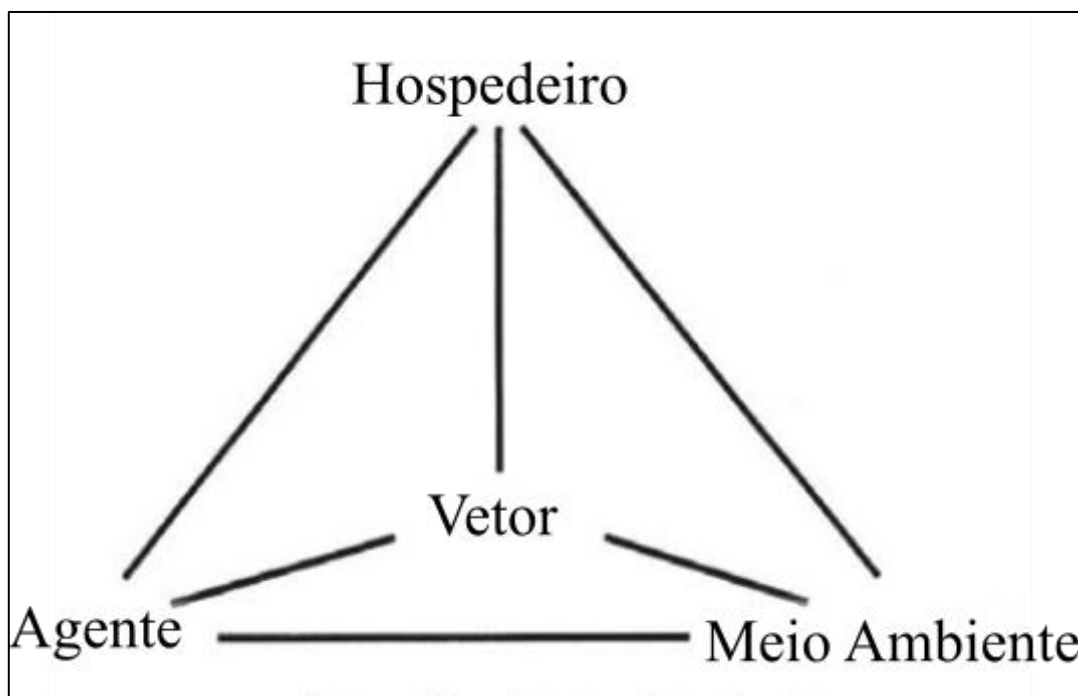
Outra questão refere-se às cidades com níveis importantes de infestação do *Aedes aegypti*, responsáveis pela transmissão de dengue (PAIVA et al., 2019; CAVALCANTE; TAUIL, 2016), Zika e chikungunya (VALLE; NACIF PIMENTA; AGUIAR, 2016), podendo ser também responsável pela disseminação de febre amarela no ciclo urbanos (ARDEN, 2005; VASCONCELOS, 2003).

#### 4.2 – PROCESSO EPIDÊMICO-EPIZOOTICO

A doença pode ser definida como qualquer desvio da saúde, que pode ser representada por qualquer deficiência que interfira ou modifique o desempenho das funções normais (WOBESER, 2007). A doença pode ser considerada o resultado da tríade de interação do hospedeiro, agente e ambiente (WOBESER, 2007; GORDIS, 2004), como pode ser observada na figura 5.

De acordo com Gordis (2004) essa tríade principal representa a interação do hospedeiro, um agente infeccioso ou de outro tipo, e o ambiente que promove a exposição, além disso considera a presença do vetor que costuma estar envolvido. Wobeser (2007) atenta que ao se tratar de um desfecho causado por agente unico, cada um dos pontos principais da triade passa a ter uma variedade de determinantes no qual pode ou não influenciar a doença de ocorrer. Além de considerar que para ocorrer a interação, o hospedeiro deve ser suscetível (GORDIS, 2004).

Figura 5. Ciclo silvestre e urbano da Febre Amarela.



Fonte. adaptado Gordis (2004).

Wobeser (2007) considera que a doença em uma determinada população se caracteriza pela relação de casos que ocorrem em um determinado período de tempo, em relação ao número de casos que seriam esperados ou que ocorreriam normalmente durante

esse período. Isso acarretaria a utilização de termos como: endêmico, epidêmico e pandêmico em uma perspectiva da relação da doença com o hospedeiro humano – epidemiologia - (GORDIS, 2004); e enzoótica e epizootica em uma perspectiva da relação da doença com o hospedeiro animal – epizootologia - (WOBESER, 2007).

A epidemiologia de uma maneira geral pode ser definida como o estudo da ocorrência de doenças em populações (WOBESER, 2007), no qual se acredita que o surgimento do termo provavelmente data-se a partir das grandes pragas ou epidemias que acarretaram à população humana (WOBESER, 2007). Além disso, a epidemiologia é utilizada para pesquisar as causas e outros fatores que influenciam na ocorrência de doenças e eventos relacionados à saúde (DICKER et al, 2012).

A epidemiologia trabalha com os níveis de ocorrência da doença como sendo: endêmico, epidêmico e pandêmico (DICKER et al, 2012; GORDIS, 2004). O nível endêmico pode ser considerado aquela que ocorre de forma constante e/ou prevalente em uma população dentro de uma determinada área geográfica (DICKER et al, 2012; GORDIS, 2004).

O nível epidêmico pode ser definido como o aumento, em alguns casos repentinos, do número de ocorrências de casos de uma doença em uma comunidade ou região (DICKER et al, 2012; GORDIS, 2004). De acordo com Dickers et al (2012) as epidemias ocorrem quando um agente e/ou hospedeiros suscetíveis estão presentes em números adequados, o agente podendo ser transportado de maneira efetiva de uma fonte para os hospedeiros que são suscetíveis. Além disso, para os mesmos autores uma epidemia pode ser resultada:

- I. Do aumento recente na quantidade ou virulência do agente;
- II. A recente introdução de um agente em um novo ambiente, onde esse não estava presente;
- III. Modo aperfeiçoado de transmissão, no qual pessoas mais suscetíveis sejam expostas;
- IV. Mudança na suscetibilidade da resposta do hospedeiro ao agente;
- V. Fatores que aumentam a exposição do hospedeiro ou que envolvem a introdução por meio de novos portais de entrada (DICKER et al, 2012).

Já o nível pandêmico ocorre quando a epidemia ultrapassa as fronteiras de um país, atingindo países e continentes antes não expostos a essas condições, atingindo elevado número de pessoas (DICKER et al, 2012; GORDIS, 2004).

A epizootiologia pode ser definida como sendo o estudo de doenças em animais com base em fenômenos de massa (SHAPIRO-ILAN et al, 2012). Ou seja, lida com o nível populacional e não individual da doença infecciosa ou não que afeta o grupo de patógenos (SHAPIRO-ILAN et al, 2012).

A epizootiologia trabalha com os níveis epizoóticos e enzoóticos (SHAPIRO-ILAN et al, 2012). O nível enzoótico pode ser considerado aquela que ocorre em uma população em uma taxa regular, previsível ou esperada, ou seja, se encontra constantemente na população (SHAPIRO-ILAN et al, 2012; WOBESER, 2007). Já o nível epizoótica ocorre quando em um momento ou local onde normalmente não se tem a ocorrência da doença, ou com uma frequência maior do que a esperada para o período de tempo (SHAPIRO-ILAN et al, 2012; WOBESER, 2007).

#### 4.3 - FATORES INDIVIDUAIS

Uma das melhores formas para a prevenção da febre amarela se dá através da vacinação (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2017b). A vacina 17D surgiu na década de 1930 (BARNETT, 2017; MONATH; VASCONCELOS, 2015; STAPLES; MONATH, 2011; ROGERS et al., 2006) como uma vacina heterogênea que mistura múltiplas subpopulações de vírus (STAPLES; MONATH, 2011) e com o vírus vivo e atenuado (BARNETT, 2017; MONATH; VASCONCELOS, 2015; VASCONCELOS, 2003).

A *World Health Organization* (WHO) em seu *website* recomenda a vacinação para os viajantes que irão para países ou áreas de risco para a transmissão da febre amarela, além de levar em consideração a exigência do país para a vacinação. No Brasil Vasconcelos (2003) considera que nas áreas endêmicas cerca de 95% da população se encontra vacinada, já nas áreas de transição, o valor foi um pouco inferior e nas áreas consideradas indene, a cobertura vacinal foi considerada muito baixa ou nula.

Nas figuras 3, 6 e 7 é possível verificar a transformação das áreas consideradas epidemiológicas da febre amarela no país, em 2001 tinham-se três áreas: endêmica, transição e indene (VASCONCELOS, 2003). Para o desenvolvimento desse mapeamento, o Ministério da Saúde teve a necessidade de estender a faixa de proteção para áreas de cobertura florestais rarefeitas e capões de matos, devido a mobilidade da população que permitiu o aumento da circulação do vírus (Vasconcelos, 2003).

Em 2010, esse mapeamento foi atualizado mantendo-se as três áreas – endêmica, transitória e não risco, mas com novos traçados para o mapeamento, como demonstrou Jentes

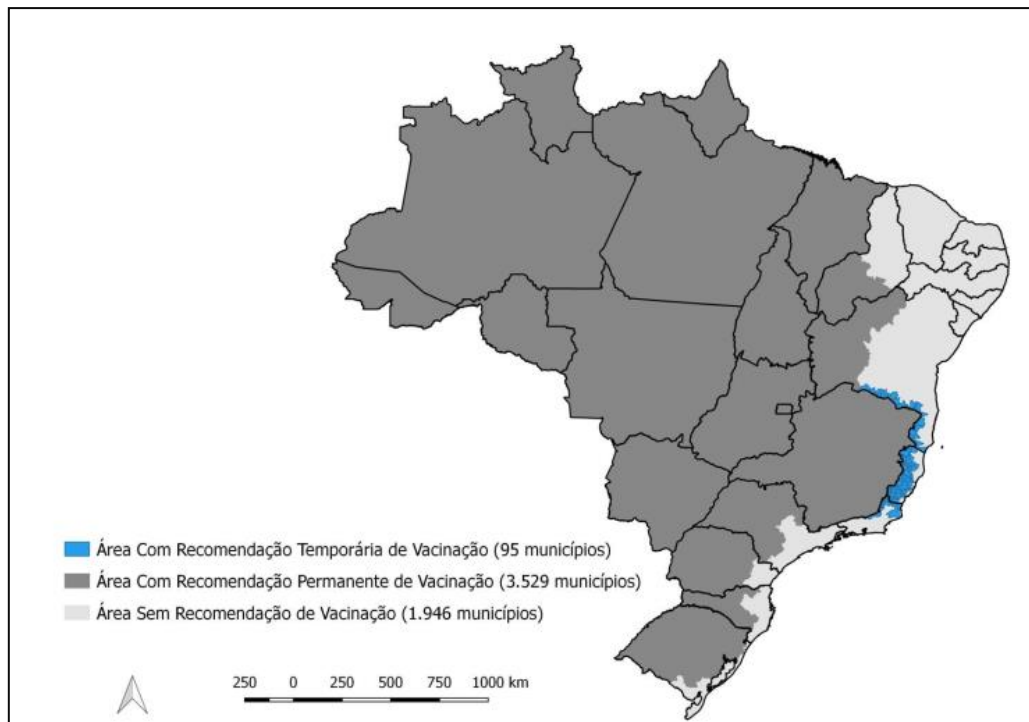
*et al.* (2011). Devido ao último processo endêmico-epizoótico, o Ministério da Saúde (2017b) atualizou o mapa estendendo a área endêmica para as áreas consideradas de transição, mantendo as áreas de não risco e criando uma área temporária de vacinação em alguns pontos da área sem risco devido a constatação de casos nesses.

Figura 6. Mapa de áreas de recomendação de vacinação contra a febre amarela 2010.



Fonte. JENTES et al. (2011)

Figura 7. Mapa de áreas de recomendação de vacinação contra a febre amarela 2017.



Fonte. MINISTÉRIO DA SAÚDE (2017b).

Possas et al. (2018) descreveu em seu texto, em uma perspectiva prática, que o pior surto da febre amarela silvestre dos últimos oitenta anos ocorridos entre Dez/2016 a Jul/2018, foi permeado por políticas e estratégias errôneas, entre as quais, a negligência na detecção precoce e notificação de epizootias, além da vigilância em áreas não endêmicas; a cobertura sanitária baixa e a falha no controle de vetores urbanos – *Ae. aegypti* e *Ae. albopictus* - que podem aumentar o risco da reurbanização da FA.

Além dessas questões, os autores anteriores abordam ainda a questão da vacinação, na qual consideram um atraso das autoridades brasileiras em dar uma resposta imunológica com a cobertura da vacinação, ou seja, um valor baixo da população vacinada o que gerou uma incidência elevada da doença em áreas consideradas rurais e periurbanas, elevando a demanda por vacina (POSSAS et al., 2018).



#### 4.4 - FATORES AMBIENTAIS

O homem necessita do meio ambiente para as suas práticas produtivas. As transformações do ambiente para atender as necessidades sociais irão gerar transformações físicas criando dinâmicas, e como resultantes desenvolve novas dinâmicas ecológicas e culturais para área (LEFF, 2007). O ambiente não deve ser apenas um resultado de interações sociais, no qual se encontra entendido como estrutura cultural exposta às dinâmicas econômicas e atividade sociocultural (ALVAREZ MUNARRIZ, 2011).

As atividades humanas, como processo de arar os campos, cortar lotes de madeira e construir estradas, geram a fragmentação do espaço, ou seja, divide um habitat, ecossistema ou algum tipo de uso da terra em parcelas menores. Dessa forma, diversos processos biológicos comuns modificam-se ou aprimoram-se em novos padrões que podem ser manchas, matrizes ou corredores que iram resultar em um mosaico espacial (FORMAN, 1995)

O ritmo de desmatamento, principalmente, das florestas tropicais, representa o crescimento da fragmentação das áreas remanescentes (TONHASCA JUNIOR, 2005), desta forma se criam manchas – uma área que não possui linearidade, relativamente homogêneas, que acaba por se diferenciar do que está ao seu redor (FORMAN, 1995) – que tendem a ter seu tamanho declinado com a ação humana, gerando uma área de borda – área exposta da mancha – maior e suscetível a intervenções externas ao sistema natural (VANWEY; OSTROM; MERETSKY, 2009).

De acordo com Tonhasca Junior (2005), os fragmentos podem ainda conectar os ecossistemas fragmentados que se encontram isolados, sendo um ponto intermediário para a dispersão, migração e colonização de plantas e animais. Os corredores ecológicos possuem funções importantes de conectar manchas e/ou fragmentos; ser uma barreira; e de habitat para algumas espécies de animais (FORMAN, 1995). Para Vanwey; Ostrom; Meretsky (2009) a conectividade representa a capacidade que a paisagem possui de suportar o movimento de uma dada espécie através da paisagem, mas os autores consideram que o aumento da conectividade humana tem reduzido à conectividade ambiental prejudicando a circulação de espécies de animais e por consequência as funções ecológicas que estes exercem.

A elevada densidade de habitação humana leve à perda, fragmentação, isolamento e a poluição de habitats naturais, além da introdução e disseminação de espécies exóticas, acúmulo de resíduos e alterações nos processos climáticos, edáficos e hidrológicos (KOTZE

et al., 2011). Ainda de acordo com os autores tudo isso impacta as comunidades de artrópodes e as suas contribuições para os ecossistemas.

As mudanças nas paisagens em função das ações humanas e climáticas afetam a vida dos primatas não-humanos que são os principais hospedeiros do vírus da febre amarela silvestre na natureza. Para os mamíferos, os numerosos aspectos de sua vida são reflexos de suas adaptações às paisagens onde vivem e qualquer alteração no seu habitat irá influenciar em seu período reprodutivo, conseqüentemente afetar o tempo dos ciclos epizooticos da FA (VASCONCELOS, 2010) - e seu padrão migratório, ou seja, sua forma de dispersar pelo ambiente. Ainda, deve-se considerar que os biomas não possuem mais continuidade, as áreas nucleares e de transição entre eles são frequentemente ocupadas por núcleos urbanos, agricultura e pecuária (VIVO, 2008).

Para Almeida et al. (2019) além da influência dos vetores, os fatores bióticos e abióticos afetam a distribuição de PNH na paisagem incluindo o limite de seus territórios, a movimentação pelo dossel das arvores, a sua composição de grupo, expectativa de vida, taxa de natalidade, nas atividades e na manutenção da FA em uma região. Além disso, os mesmos autores consideram que existem algumas variações na capacidade de dispersão dos hospedeiros da FA através de paisagens e fragmentos; o seu comportamento diurno que irá coincidir com o período de atividade dos vetores silvestres. De uma forma geral, tudo isso irá auxiliar nas possíveis formas de compreensão da circulação do vírus silvestre da FA e como ele se mantém nas epizootias (ALMEIDA et al., 2019).

Ao pensar nas alterações que o homem realiza no espaço, a ecologia da paisagem realiza o estudo nos padrões da cobertura da terra, nas suas causas e implicações (VANWEY; OSTROM; MERETSKY, 2009). Esse conceito considera que a cobertura da terra pode ser referida como comunidade de vegetação ou feições naturais, comunidade humana ou construções humanas, ou todos esses objetos (VANWEY; OSTROM; MERETSKY, 2009).

Os ambientes são irregulares, os fatores que realizam a influência no estado fisiológico ou comportamental dos indivíduos exibem descontinuidades em variadas escalas no tempo e no espaço; os padrões dessas descontinuidades produzem uma colcha de retalhos ambiental, ou como consideramos acima, um mosaico que exerce fortes influências nas distribuições dos organismos, em sua interação e em suas adaptações (WIENS, 2007).

A maior consequência das mudanças ambientais para o homem está relacionada à cobertura do solo, pois esses alteram a cobertura florestal que é responsável por serviços

ambientais que estabilizam o clima – que será discutido mais a frente -, e protegem espécies vegetais e animais (MORAN, 2009).

#### 4.5 - FATORES CLIMÁTICOS

Clima é o resultado de uma combinação de elementos do tempo, só que considerando um longo período de anos. Deste modo, reflete a média ou a sucessão habitual dos diversos tipos de tempo numa região. Em um sentido mais amplo é o estado incluindo, uma descrição estatística, do sistema climático (IPCC, 2007). O clima pode ser observado por escalas, como demonstra a figura 8 desenvolvida por Mendonça (2007) no qual cada uma dessa resultará em influências para o ambiente.

Figura 8. Organização das escalas espacial e temporal do clima.

Ordem de Grandeza	Subdivisões	Escala Horizontal	Escala Vertical	Temporalidade das variações representativas	Exemplificação Espacial
Macroclima	Clima Zonal Clima Regional	>2.000Km	3 a 12Km	Algumas semanas a vários decênios	O globo, um hemisfério, oceano, continente, mares etc.
Mesoclima	Clima Regional Clima Local	2.000Km a 10Km	12Km a 100m	Várias horas a alguns dias	Região Natural, montanha, região metropolitana, cidade etc.
Microclima	Topoclima	10Km a alguns metros	Abaixo de 100m	De minutos ao dia	Bosque, uma rua, uma edificação etc.

Fonte. (MENDONÇA, 2007).

Para Bustos Romero (2001) o estudo do clima deve ser compreendida a partir de seus fatores, elementos resultantes dos processos geomorfológicos e espaciais (sol, latitude, longitude, topografia, vegetação e solo) e elementos, como os componentes físicos do clima (temperatura, umidade relativa do ar, precipitação, movimento das massas de ar).

A radiação proveniente do sol é o *input* do sistema - entrada de energia -, e os processos de emissão, reflexão, transmissão e absorção são os responsáveis pelos fluxos que se efetuam

entre a superfície e a atmosfera, que por sua vez são responsáveis pelo aquecimento (MENDONÇA, 2007).

Já a umidade do ar se associa à quantidade de água encontrada no ar que resultará da evaporação da água de rios, mares e lagos, além da evapotranspiração da vegetação. Essa relação da água com o ar nos permite utilizar o termo umidade relativa do ar que é certamente o termo mais conhecido para representar a presença do vapor no ar representando uma relação de proporção relativa entre o vapor existente no ar e o ponto de saturação do mesmo (MENDONÇA, 2007).

A temperatura é considerada a condição que determina o fluxo de calor que passa de uma substância para outra (LIMA, 2009), e está associada à intensidade da radiação solar e a sua circulação e absorção pelos diferentes materiais, ou seja, ela será o resultado do calor sensível armazenado no ambiente. Esta pode ser medida em °C ou °F como exposto por Mendonça (2007).

Também vale ressaltar que a temperatura do ar varia de acordo com o período do dia e com resultado do aquecimento da superfície em função do ângulo de incidência da radiação (LIMA, 2009). Isso é consequência da velocidade de ação do aquecimento e resfriamento da superfície terrestre que influenciará na temperatura como exposto por Carvalho (2001).

A precipitação decorre do ciclo hidrológico, onde a água liberada do processo de evapotranspiração, e da evaporação de corpos hídricos, denominado circuito ladeira acima, movido pela energia solar; e o que se denomina circuito ladeira abaixo, no qual se libera energia para lagos, rios e pântanos e realiza um trabalho útil de benefício direto para o ser humano (ODUM, 1986). Além disso as atividades humanas passam a alterar o ciclo hidrológico, diminuindo o poder de recarga de água subterrânea (ODUM, 1986).

Almeida et al. (2019), Hamlet et al. (2018) e Possas et al. (2018) coloca a importância da inter-relação da temperatura e precipitação na questão da vida dos mosquitos e na questão da replicação viral, ou seja, a precipitação atua no processo de replicação e densidade do vetor, já que em períodos de seca são escassas as áreas para reprodução; e no caso da temperatura, o seu aumento reduz o tempo entre a ingestão do sangue infectado com o vírus e a possibilidade do vetor realizar a transmissão do vírus mordendo um hospedeiro.

As atividades humanas são determinantes para a modificação do ambiente (LEFF, 2007) e do clima no planeta (SALDIVA, 2008). A mudança climática pode ser definida como sendo uma alteração nas condições atmosféricas em um local particular ou em uma região específica (HUGGETT, 2010). As teorias que envolvem essa temática são diversas,

mas podem-se considerar quatro categorias principais (HUGGETT, 2010; GABLER; PETERSEN; TRAPASSO, 2006):

- I. Primeira está relacionada a questão astronômica, ou seja, ligada a variação orbital da Terra;
- II. Segunda está ligada a mudança da composição atmosférica, ou seja, variação na poeira atmosférica, proveniente de atividades vulcânicas, e na presença de gases estufas na atmosfera;
- III. Terceira teoria se relaciona as dinâmicas oceânicas, que afetam fenômenos climáticos de extensão global como o *El Niño* e *La Niña*;
- IV. Quarta que está relacionada a mudanças no uso da terra que afetam o albedo – coeficiente de reflexão de a luz solar - e a circulação oceânica.

Nas últimas décadas, o clima global tem sofrido mudanças em uma curta escala temporal. O relatório do IPCC aponta aumentos expressivos nas concentrações atmosféricas de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O como consequência das atividades humanas desde 1750, principalmente pela queima de combustíveis fósseis, além de mudanças no uso do solo e agricultura (IPCC, 2014).

As alterações climáticas se relacionam com o consumo excessivo de energia, que deriva principalmente da queima de combustíveis fósseis que promovem o acúmulo de gases estufas e como resultado conduz a um processo de aumento de temperatura do planeta (SALDIVA, 2008). Moran (2009) considera que são evidentes as transformações ambientais ocorrendo ao nosso redor, e que existem evidências claras de um aumento nos gases de efeito estufa que se tornam uma ameaça ao nosso clima pela circulação do ar e da água.

Os efeitos da mudança climática e da transformação espacial podem resultar em diversos efeitos para os ecossistemas terrestres. As mudanças climáticas afetam os processos da ciclagem de nutrientes (HUGGETT, 2010; OMETTO; MARTINELLI, 2008) que afetam as dinâmicas dos ecossistemas. Além disso, as mudanças no clima podem influenciar no surgimento e na disseminação de doenças infecciosas entre os animais e o homem em diferentes escalas (NAVA et al., 2017).

Nava *et al.* (2017) classifica as principais dinâmicas climáticas – *EL Niño* em suas diferentes escalas de intensidade, *La Niña*, ondas de calor, seca, inundação, ciclones, temperatura, precipitação - e ações antrópicas – desflorestamento, urbanização, uso da terra – como responsáveis por alterar a vida dos vetores. Assim, as mudanças na temperatura

aumentam a velocidade na pupação, a competência do sistema imunológico e a frequência das refeições, e reduz o período extrínseco de incubação do vírus, o que representa o tempo que o mosquito adquire a infecção e se torna infeccioso (HAMLET et al., 2018). A precipitação intensa representa o aumento dos vetores, mas também a expansão periódica das áreas endêmicas da FA (HAMLET et al., 2018; NAVA et al., 2017; MONATH; VASCONCELOS, 2015).

Agentes infecciosos, organismos vetores, reservatórios biológicos e a taxa de disseminação dos patógenos são afetados marcadamente pelo clima (POSSAS et al., 2018; CARVALHO et al., 2015; SALDIVA, 2008). Em termos gerais, bactérias e vírus proliferam mais rápido quando há o aumento de temperatura. Além disso, mudanças no clima podem transportar doenças para regiões de clima temperado como a dengue no pacífico sul (SALDIVA, 2008), ou no caso desse trabalho o aumento de casos de febre amarela em regiões antes não endêmicas (POSSAS et al., 2018; CAVALCANTE; TAUIL, 2016; MASCHERETTI et al., 2013).

O estudo dos impactos gerados pelas mudanças globais mostra a necessidade de interseção entre as disciplinas como Geografia, Ecologia e Epidemiologia, sendo de especial relevância para estudos referentes à saúde das populações humanas. As doenças transmissíveis por vetores envolvem interações ecológicas, além de envolver patógeno e hospedeiro. Nesse contexto, o, espaço torna-se um determinante do risco de transmissão para algumas doenças.

#### 4.6 – GEOPROCESSAMENTO E ANÁLISE ESPACIAL EM SAÚDE

Considera-se geoprocessamento o conjunto de tecnologia que envolve a coleta, tratamento, manipulação e apresentação de informações espaciais com um objetivo específico (CAVALCANTE, 2015). Ainda de acordo com o mesmo autor, visto como sendo uma tecnologia multidisciplinar, ou seja, através do processamento de dados geográficos de forma digital, conecta-se a múltiplas disciplinas, equipamentos, programas, processos, entidades, dados, metodologias e pessoas para a realização de coleta, tratamento, análise e apresentação de informações associadas a mapeamentos digitais, modelos tridimensionais entre outros produtos.

Filho & Iochpe (1996) consideram que o sistema de geoprocessamento classifica os sistemas computacionais que são capazes de capturar, processar e gerenciar dados georreferenciados, ou seja, objetos que possuem atributos como informações sobre

localização geográfica. Pode-se dizer de uma maneira mais sintética que o geoprocessamento tem o objetivo de integrar dados espaciais e não espaciais em estudos relacionados ao ambiente (HAMADA; GONÇALVES, 2007), sendo um conjunto de tecnologias designadas a coleta e tratamento de informações espaciais, além de desenvolver sistemas e aplicações (ROSA, 2013). De maneira geral, esse termo pode ser utilizado para pessoas que trabalham com cartografia digital, processamento de imagens e sistema de informação geográfica (SIG); mesmo as atividades sendo distintas, Rosa (2013) coloca que estas estão inter-relacionadas, pois em sua grande maioria utilizam-se de *hardwares* com mesmas características, mas em *softwares* distintos.

O SIG é um sistema destinado a tratar dados referenciados espacialmente, sendo esses dados manipulados de diversas fontes como mapas, imagens de satélite, cadastros, entre outras, no qual se permite realizar a recuperação, combinação de informações e efetivar análises sobre os dados (KURASZ, 2005) (HAMADA; GONÇALVES, 2007).

De acordo com Cavalcante (2015), os elementos geográficos em um SIG podem ser apresentados no formato:

- I. Vetorial – representa os elementos do espaço a partir de pontos, linhas e polígonos, onde são descritas propriedades e as coordenadas geométricas;
- II. Matricial ou *raster* – o espaço é representado por *pixels*, que formam imagens, no qual se associa um valor representando uma superfície contínua de um atributo de interesse.

Como exemplo da utilização do geoprocessamento na área da saúde Almeida et al. (2019) onde modelaram a adequação ambiental para FA a partir de dados epizootico de 2008/2009, distribuição dos PNH (*Alouatta spp.*), e do vetor (*Haemagogus leucocelaenus*) usando o algoritmo de entropia máxima (Maxent) no estado do Rio Grande do Sul. Paiva et al. (2019) também mapearam a adequação da FA silvestre na região sudeste brasileira; e Shearer et al. (2018) construíram mapas dos modelos da ocorrência de FA a partir de modelos estatísticos e de risco.

Possas et al. (2018) utilizam o SIG para explicar o processo de dispersão da FA pelos biomas brasileiros a partir do final dos anos de 1999 até 2016, além de realizar um desenho sobre a rota das epizootias entre as décadas de 1930 e 1940, quando se teve o fim dos registros de FA urbana no Brasil.

Hamrick et al. (2017) utiliza dados agregados de países para analisar a distribuição espacial de casos humanos de febre amarela e a sua relação com os fatores geográficos e o

meio ambiente – denominada pelos autores de geoambientais. O banco de dados, realizado por país, é geocodificado utilizando-se de fontes de informação e as variáveis foram modeladas e geoprocessadas a partir de fontes originais de cartografia digital e relatórios de países; foram também realizadas, análises estatísticas dos dados de fatores geoambientais associados a presença da febre amarela; outro método utilizado foi o método de autocorrelação espacial para a detecção de *cluster* ou agrupamentos de casos.

O *clustering* ou análise de agrupamento é considerado um grupo de técnicas computacionais no qual o propósito consiste em separar objetos em grupos se baseando nas características dos objetos (COLUMBIA UNIVERSITY SCHOOL, [s.d.]; LINDEN, 2009; RODRIGUES, 2009). Para Dicker et al (2012) o *cluster* se refere a uma agregação de casos. O objetivo é colocar no mesmo grupo objetos que são similares (LINDEN, 2009; RODRIGUES, 2009), em outras palavras, os *clusters* são agrupados no local e no tempo no qual são suspeitos de serem maiores do que o número esperado, mesmo que o número esperado possa não ser conhecido (DICKER et al, 2012). Linden (2009) considera que o critério se baseia, em geral, em uma função de dissimilaridade, no qual essa função recebe dois objetos e retorna a distância entre eles.

Outra ferramenta importante é o sensoriamento remoto (SR). A crescente disponibilidade de imagens de SR trouxe novas perspectivas, mas também a desafios metodológicos para a análise dos processos endêmico-epidêmicos relacionados às doenças transmitidas por vetores (ALMEIDA; WERNECK; RESENDES, 2014; CORREIA et al., 2004; HUGH-JONES, 1989).

O sensoriamento remoto pode ser definido como captura e interpretação de dados mediante o uso de instrumentos à distância, como sensores a bordo de satélites ou câmeras fotográficas métricas a bordo de aeronaves. No sensoriamento remoto orbital, sensores a bordo de satélites captam energia eletromagnética emitida ou refletida da superfície terrestre. Essa informação é então armazenada em matrizes, cada elemento de imagem, chamado de “*pixel*” tendo um valor proporcional à reflectância do solo para a área imageada (SANTOS, 2013; AEB, 2008).

Os sensores apresentam variações em sua capacidade de discriminar feições da superfície da terra e entre as principais características dessas imagens cita-se a **resolução espectral**, que é o número e largura de bandas do espectro eletromagnético captadas pelo sensor; a **resolução espacial** - nível de detalhamento dos objetos na superfície terrestre - e a **resolução**



**temporal** - que é o intervalo entre duas passagens do satélite pelo mesmo ponto (SANTOS, 2013; AEB, 2008).

A produção de mapas de uso e cobertura do solo a partir de informações de imagens de satélite pode ser realizada por meio de interpretação visual ou por procedimentos de classificação automática (supervisionada ou não supervisionada) (CORREIA et al., 2007).

Para prever áreas de maior abundância de vetores alguns artigos têm usado índices de vegetação derivados de imagens de satélite. Sabe-se que o índice mais comumente utilizado, o NDVI (Normalized-Difference Vegetation Index), varia de -1 a +1, sendo valores positivos mais típicos de vegetação densa (BEZERRA et al., 2018; ZANZARINI et al., 2013), mas outros como o EVI (Enhanced Vegetation Index) também são utilizados (HAMLET et al., 2018).

Nessa perspectiva de uso de imagens ou de produtos da classificação das imagens de satélite, tem-se o Projeto MapBiomas, sendo este uma iniciativa multi-institucional do Observatório do Clima que gera mapas anuais de cobertura e uso do solo a partir da classificação automática de imagens orbitais (ATDB, 2019). Possui propósito de contribuir para a compreensão da dinâmica do uso do solo de países tropicais, como o Brasil, tendo como uma de suas bases o desenvolvimento e implementação de novas metodologias para a geração de mapas anuais de uso e cobertura do solo (ATDB, 2019).

O projeto *ERA-Interim*, da ECMWF – *European Center for Medium-Range Weather Forecasts* -, faz a reanálise atmosférica abrangendo o período de 1979 até 2019 (DEE et al., 2011). Com o intuito de melhorar o processo de reanálise que havia iniciado com o projeto ERA-40, que durou de 1957 a 2002, o *ERA-Interim* surgiu com o objetivo de melhorar aspectos como a representação do ciclo hidrológico, a qualidade da circulação estratosférica e o manejo de vieses e mudanças no sistema de observação (BERRISFORD et al., 2011).

As reanálises do ERA-Interim estão relacionadas com a recuperação de informações coletadas sobre a superfície terrestre e dos oceanos através de navios, aviões, radiossondas e satélites, desta forma as informações são coletadas por meio de um sistema de assimilação de dados constantemente atualizado, sendo o atual o 4DVAR (ROCHA; ARAVÉQUIA; RIBEIRO, 2016). Os modelos de reanálise de dados atmosféricos são considerados uma alternativa para cobrir ausência ou falhas de séries históricas dos dados meteorológicos, além de servir para cobrir áreas que não apresentam dados meteorológicos de superfície (APARECIDO et al., 2019). Embora, o *Era-Interim* forneça dados com uma resolução de ~14km usando método de interpolação, originalmente sua resolução é ~80km e novas

reanálises tem sido proposta para substituir esses dados, como o ERA5 com resolução de ~20 km e *ERA5 land* com resolução ~9km.

#### 4.7 - ESTUDO ECOLÓGICO

De acordo com Lopes (2013), Medronho (2009) e Rothman et al. (2011) o estudo ecológico, também denominado de estudo agregado, se utiliza da população ou grupo para realizar suas análises, se diferenciando dos outros estudos que possui o indivíduo como unidade de análise. Além disso, Medronho (2009) considera que essa análise da população ou grupo pertence a uma área geográfica definida e Rothman et al. (2011) considera também a importância de que as informações sobre a população de estudo estejam disponíveis para mensuração da distribuição da exposição e do desfecho em cada grupo.

Lopes (2013); Rothman et al. (2011) ponderam que os dados utilizados referentes aos grupos ocorrem devido à ausência de dados individuais e a maioria dos estudos ecológicos refere-se à análise de estatísticas oficiais divulgadas ou dados disponíveis em órgãos oficiais do sistema. Esses dados podem ser sobre as condições socioeconômicas, dados de censo e ambientais, no qual permite mensurar o nível de exposição dos grupos (ROTHMAN et al., 2011).

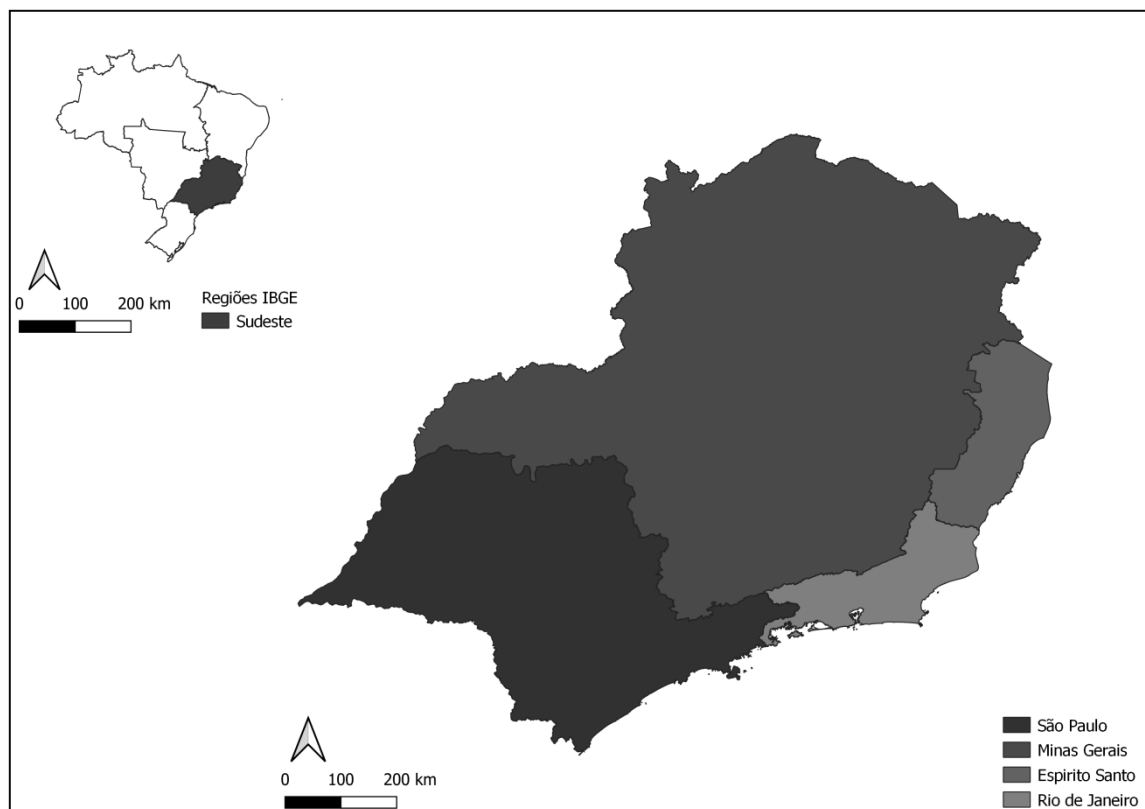
De uma maneira geral, o estudo ecológico visa avaliar como os contextos sociais e ambientais podem interferir na saúde de populações ou grupos (MEDRONHO, 2009). Além de se mostrarem úteis para estudar a relação entre incidência de doenças e potenciais fatores etiológicos, seja no campo da análise exploratória visando definir hipóteses ou apontar medidas de prevenção. (ROTHMAN et al., 2011).

## 5 - METODOLOGIA

### 5.1 - ÁREA DE ESTUDO

A região sudeste brasileira é composta pelos estados de Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo, como demonstra a figura 9. De acordo com Paiva et al. (2019), esta região é uma área de importância econômica para o país, e de acordo com o Censo Demográfico de 2010, a região abrange aproximadamente de 80,4 milhões de pessoas, ou seja, 42,1% da população do país. Apresenta ainda uma diversidade econômica no qual se encontra a produção agrária e industrial, além da presença dos grandes setores de comércio e prestação de serviço.

Figura 9. Mapa de localização da região Sudeste brasileira.



Fonte. própria.

O clima da área de estudo pode se classificado como Aw<sup>1</sup>, Af<sup>2</sup>, BSh<sup>3</sup> e Cfa<sup>4</sup>, onde predomina verões quentes e chuvosos e invernos secos (DE PAIVA et al., 2019). De uma maneira menos geral, pode-se dizer que o clima é classificado como tropical úmido-seco ou tropical do Brasil central (MENDONÇA, 2007), no qual apresenta diversidade conforme os sistemas atmosféricos atuam, além dos fatores geográficos (CONTI; FURLAN, 2009). Existe alternância entre a estação seca e a estação chuvosa, e o período de estiagem não é a mesmo para as áreas que abrange esse clima (CONTI; FURLAN, 2009; MENDONÇA, 2007).

Essa região encontra-se no domínio da floresta de encosta e semidecidual do planalto atlântico; no domínio da floresta tropical semidecidual na bacia do Paraná nos terrenos de basalto, no domínio de cerrados – savanas – tropicais semiúmidas nas chapadas das bacias sedimentares do Paraná, Parecis e Parnaíba, e no domínio dos cerrados tropicais semiúmidas nos terrenos cristalinos, como pode ser observado na figura onde essa classificação leva em consideração a geologia, geomorfologia, clima e o bioma que será influenciado por estes (ROSS, 2006). De acordo com este autor, esses sistemas naturais foram sendo intensamente transformados pelas atividades humanas.

A floresta tropical atlântica que ocupa o litoral oriental da região nordeste e segue até o norte-nordeste do estado do Rio Grande do Sul – na região sul do país , ocupavam de forma contínua os tabuleiros costeiros como os morros e serras da faixa atlântica brasileira, com condições climáticas predominantemente quentes e úmidas em ambientes de relevos montanhosos; a cobertura vegetal natural encontra-se quase totalmente convertida em pastagens, cultivo de café e silvicultura, mineração e urbanização ao longo de pelo menos cinco séculos de ocupação; nas áreas dos tabuleiros costeiros a mata tropical atlântica foi sendo substituída ao longo do tempo por plantações de cana-de-açúcar, pastagem, silvicultura de eucaliptos, entre outros (ROSS, 2006).

Os campos de cerrados nas bacias sedimentares, a vegetação arbustiva se entende ao longo dos estados de Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Tocantins, Distrito Federal, Piauí e Maranhão; ocorrem duas estações bem definidas. uma muito chuvosa durante o verão e outra bem seca no inverno. Já os campos de cerrados nos terrenos cristalinos se estendem ao longo dos estados de Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso, Mato

---

<sup>1</sup> Aw – Clima de savana (MENDONÇA, 2007).

<sup>2</sup> Af – Clima tropical chuvoso de floresta (MENDONÇA, 2007).

<sup>3</sup> BSh – Clima quente de estepe (MENDONÇA, 2007).

<sup>4</sup> Cfa – Úmido em todas as estações, verões quentes (MENDONÇA, 2007).

Grosso do Sul, Tocantins, Distrito Federal e Bahia; ocorre o clima tropical semiúmido, com déficit hídrico entre os meses de maio a setembro. De modo geral, esse bioma tem sofrido com a conversão de sua vegetação em campos agrícolas com o cultivo de grãos e fibras, pelo menos nos últimos quarenta anos (ROSS, 2006), se aproxima do início do programa PRODECER – Programa Nipo-brasileiro de Cooperação para o Desenvolvimento do Cerrado – no ano de 1974 para a expansão da soja na região do cerrado brasileiro (DE OLIVEIRA, 2009).

A floresta tropical semidecidual da bacia do Paraná se estende pelo norte do estado do Paraná, interior do estado de São Paulo, parte do Triângulo Mineiro e no extremo sul de Goiás e Mato Grosso do Sul; apresenta condições climática com períodos secos de até 3 meses; a área revela-se propícia a atividade agrícola - mecanizada – e a pecuária – cria e corte; os fragmentos florestais existentes encontram-se em propriedade particulares com características de degradação (ROSS, 2006).

## 5.2 - DESENHO DE ESTUDO

Trata-se de um estudo epidemiológico do tipo ecológico, cuja unidades de análise espacial foram os municípios da região Sudeste. Foram utilizados os registros de casos humanos e epizootias do último processo epidêmico-epizoótico da febre amarela silvestre que ocorreu no ano de 2016-2018.

## 5.3 - FONTE DE DADOS E VARIÁVEIS

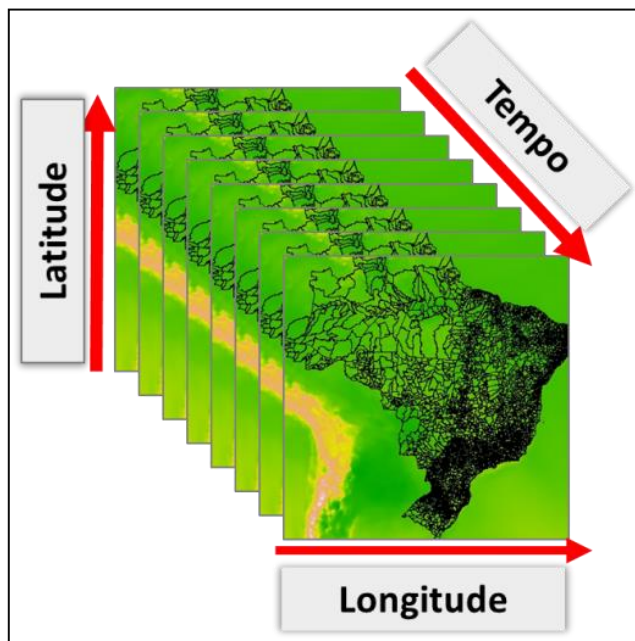
Os dados epidemiológicos utilizados neste trabalho foram oriundos do Serviço de Vigilância em Saúde – SVS –, de responsabilidade do Ministério da Saúde do Brasil. Sendo estes os registros de casos humanos e epizootia, vale ressaltar que os dados de epizootias não compreendem a toda população de PNH existente na região Sudeste, estes dados são com base da coleta de primatas que se encontram em áreas de borda florestal e de áreas acessíveis aos pesquisadores.

Os dados sobre a cobertura vacinal da FA foram obtidos a partir do Sistema de Informação do Programa Nacional de Imunizações (SI-PNI/CGPNI/DEIDT/SVS/MS), selecionados por unidade da federação, no caso deste trabalho os estados pertencentes a região sudeste, dos anos do processo epidêmico-epizoótico de 2016-2018.

As variáveis climáticas (temperatura e precipitação), obtidas do conjunto de dados de reanálises ERA5-Land gerados pelo *Copernicus Climate Change Service Information*, com resolução  $0,1^\circ \times 0,1^\circ$  (com resolução de 9km). Os elementos climáticos são observados no período de ocorrência das notificações de casos humanos e epizootias de PNH (2016-2018), e em um período climatológico de 20 anos que abrange de 1996-2018. Esse período foi selecionado, pois como demonstra a literatura sobre febre amarela se disseminou para outras regiões do país no final da década de 1990, deixando de ser assim endêmica ao bioma amazônico <sup>5</sup>(SABATER, 2019).

Os dados foram modelados a partir de observações realizadas e disponibilizados no formato NetCDF (*Network Common Data Form*). Os arquivos nesse formato foram *arrays* que armazenam metadados em um mesmo arquivo constituído pelas variáveis tempo, latitude e longitude (em pontos de grade) e as variáveis meteorológicas. Assim, um arquivo NetCDF que contém informações diárias de temperatura durante um mês contém 30 grids. Cada célula ou *pixel* da imagem remete um valor da variável, e equivale a um quadrado com lado correspondente a resolução (Figura 10).

Figura 10. Representação gráfica da estrutura dos dados do tipo NetCDF para o no Brasil, variando no tempo.



Fonte do mapa. Mapa elaborado por Oliveira, Beatriz Fatima Alves. Ph.d em Saúde Pública e Meio Ambiente, ENSP/FIOCRUZ.

<sup>5</sup> Os dados podem ser obtidos diretamente pelo endereço eletrônico <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-land?tab=form>

Os fatores ambientais foram obtidos do programa MapBiomas<sup>6</sup>, no qual foi considerado as características dos biomas e os usos e cobertura do solo, como exemplo uso agrícola, urbano, fragmentos florestais. Os dados do programa MapBiomas, reconhecido programa de mapeamento à nível nacional, foram utilizados para apresentar um panorama dos estados do uso e cobertura do solo dos anos de 2000 a 2018, e as imagens classificadas no período de 2016-2018 foram sobrepostas aos *clusters* de casos humanos e as epizootias do processo epidêmico-epizootico de 2016-2018.

Nesse estudo utilizou-se a classificação de imagens da quarta coleção do programa MapBiomas, onde a classificação ocorre até o ano de 2019 e são acrescentadas novas classes em relação a coleção anterior.

#### 5.4- ANÁLISE DOS DADOS

A análise dos dados foi realizada por meio de cinco diferentes abordagens:

- I. Análise situação epidemiológica da FA e descrição dos casos humanos de febre amarela e a cobertura vacinal nos estados;
- II. Aplicação da abordagem espacial para identificação de *clusters* de casos humanos de FA;
- III. Caracterização da distribuição das epizootias de PNH de FA dentro dos *clusters*;
- IV. Extração dos dados ambientais e climáticos dentro nos *clusters* de maior risco identificados;
- V. Análise da correlação entre o risco relativo observado em cada *cluster* e os fatores ambientais e climáticos.

Primeiramente, foi construído um banco de dados com as informações de casos humanos e epizootias de primatas não humanos por município da região Sudeste e realizada a análise da situação epidemiológica da FA. Com base nesses dados secundários foram reportadas as medidas de tendência central e dispersão dos casos humanos e epizootias de primatas não humanos, de acordo com as unidades federativas e ano de notificação. A apresentação dos resultados foi realizada por meio de tabelas descritivas, gráficos e mapas temáticos.

Com os dados de casos humanos foram realizados os cálculos das taxas de incidência e a taxa bayesiana global por ano do processo epidêmico-epizootico. A taxa de incidência bruta que levou em consideração o número de eventos ocorridos na área e o número de

---

<sup>6</sup> acessível no sítio <https://mapbiomas.org/>

pessoas expostas à ocorrência do evento (SANTOS; RODRIGUES; LOPES, 2005), o que representou os casos de FA por município, dividido pela população de referência do município<sup>7</sup>, para colocar os valores em uma mesma unidade, foram multiplicados por 100.000 habitantes.

Para a taxa bayesiana global, que representa uma média ponderada entre a taxa de incidência e a taxa global da região – razão entre o número de casos e a população total - (SANTOS; RODRIGUES; LOPES, 2005), utilizou-se o programa GeoDa para o cálculo. No programa foram utilizados os dados de número de eventos ocorridos de casos de FA, por município e suas respectivas populações multiplicados por 100.000 habitantes.

Vale ressaltar que as taxas corrigidas se tornam menos instáveis que as brutas, pois em seus cálculos leva-se em consideração as informações da área e também de seus vizinhos (SANTOS; RODRIGUES; LOPES, 2005). A taxa de incidência e a bayesiana foram apresentadas em mapas temáticos.

Para a realização dos *clusters* de casos humanos utilizou-se o programa *SatScan*, onde os mesmos foram identificados para cada estado, esta decisão baseou-se pela organização dos serviços saúde e de vigilância epidemiológica que são descentralizados para esferas estaduais e municipais.

Os *clusters* foram detectados a partir do espaço-tempo, onde utilizou-se os dados de caso, população e coordenadas de latitude e longitude<sup>8</sup>, e período da ocorrência dos casos (1/01/2016 a 31/12/2018). Na análise foi mantida a proporção de 50% da população, pois dessa forma evita-se gerar o que alguns autores denominam de *clusters* negativos, ou seja, áreas externas aos círculos com baixas taxas de incidência (RIBEIRO, 2012). Além disso, foram testados diferentes tamanhos de raios, sendo ao final selecionado raio de 40Km, no qual apresentou melhor resultado nos testes realizados. Para este trabalho considerou-se os *clusters* que apresentaram um p-valor menor que 0,05.

Com os *clusters* de casos humanos foram identificados e separados por ano, para a realização da análise dos fatores ambientais e climáticos dos anos referentes ao processo epidêmico-epizootico da FA. Para os fatores ambientais, utilizou-se a classificação de imagens da quarta coleção do programa MapBiomas. Com a sobreposição dos *clusters* nas imagens foi realizado o corte da classificação para cada conjunto de *cluster* por ano e, posteriormente, calculada a área em Km<sup>2</sup> para cada uma das classificações presentes nos

---

<sup>7</sup> Os dados de população foram extraídos do DataSUS

<sup>8</sup> Dados extraídos dos centroides dos polígonos que delimitam as áreas municipais.



*clusters*. Como resultado obteve-se as imagens das figuras 29 e a tabela 7 (ES), figuras 30A e 30B tabela 8 (MG), figura 31 e tabela 9 (RJ) e figuras 32A e 32B e tabela 10 (SP).

Com a identificação dos *clusters*, foi realizada análise dos fatores climáticos e ambientais. Para a análise dos dados ambientais foi utilizada a classificação de imagens da quarta coleção do programa MapBiomas. As imagens do programa são classificadas em duas etapas. Na primeira são classificadas em 6 classes de cobertura e uso do solo – Florestal, Formação não florestal, agricultura, área não vegetada, água e não observada – e após este processo classificadas em 16 subclasses e estas podem ser subdivididas.

As imagens encontram-se divididas por ano e estado, com isso realizou-se a sobreposição das bordas dos *clusters*, referente a cada estado e ano. As imagens foram cortadas de acordo com os limites geográficos dos *clusters* e calculada, de modo aproximado, a área em quilômetros quadrados de cada classificação de uso e cobertura presentes nos agrupamentos por ano. Os *clusters* como apresentado na metodologia foram detectados com base nas coordenadas de latitude e longitude dos centroides dos municípios. Desta forma, alguns municípios não possuem território inteiro dentro do *cluster*, por este motivo não se computa o valor do uso e cobertura total do município. Em outra situação, quando abrange um único município, os valores do uso e cobertura do solo não são específicos da área do *cluster*.

Considerando as variáveis climáticas durante o período do processo epidêmico – 2016 a 2018, os *clusters* foram ranqueados<sup>9</sup>, de acordo com o risco de 1 a 37, sendo 37 o *cluster* com maior risco. Depois para cada cluster foi observada a distribuição das variáveis climáticas temperatura - média, mínima e máxima - e precipitação.

Foi realizado o cálculo da Matriz de Correlação de *Spearman* para analisar a relação entre o risco relativo, dos *clusters* de casos humanos de FA identificado, e os fatores climáticos – temperatura média, temperatura mínima, temperatura máxima e precipitação - e ambientais – uso e cobertura do solo.

---

<sup>9</sup> Tabela 11

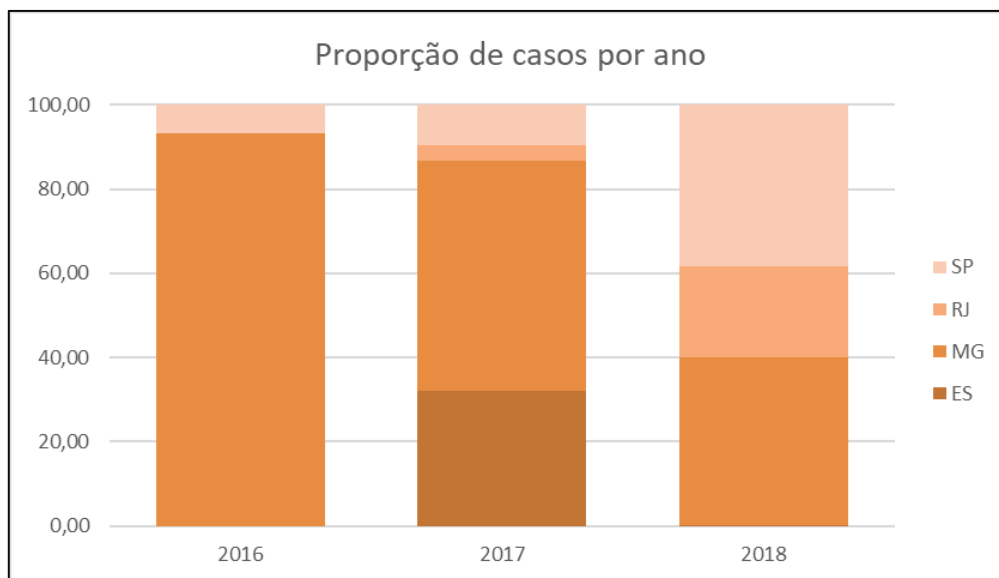
## 5.5 – CONSIDERAÇÕES ÉTICAS

O estudo envolveu somente dados secundários agregados por município e utilizará como fontes o Sistema de Vigilância em Saúde do MS e o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Todas as fontes referidas são de acesso público, disponíveis na internet, nos quais não há a identificação individual dos casos e a localização exata do caso ou da epizootia de PNH. Assim, a presente pesquisa obedece aos critérios da Resolução 466, de 12 de dezembro de 2012.

## 6- RESULTADOS

Durante o processo epidêmico-epizoótico da febre amarela na região sudeste brasileira foram registrados 2.101 casos humanos. Como pode ser observado na figura 11, no ano de 2016, apenas dois estados apresentaram casos de FA no ano de 2016, MG com a maior proporção de casos 93,18% seguido de SP com 6,82%. No ano de 2017, todos os quatro estados da região Sudeste apresentaram casos, sendo MG a maior proporção, com 54,52%, enquanto o ES representou 32,17% dos casos, seguido de SP, 9,69% e RJ, 3,62%. No ano de 2018 observou-se uma redução da proporção de casos no ES, com percentual de casos de 0,23%, enquanto MG e SP apresentam aproximadamente 40% dos casos e o RJ 22% dos casos.

Figura 11. Distribuição percentual dos casos humanos de febre amarela nos estados da região Sudeste nos anos e no período do processo epidêmico-epizoótico (2016-2018).



Fonte. própria.

No ano de 2016, os estados de ES e RJ não apresentaram casos humanos de febre amarela; o estado de MG teve cerca de 17 municípios apresentando casos de FA representando um total de 41 casos, sendo, o de menor valor encontrado é um caso e podendo a chegar ao máximo de sete casos por município; em SP neste mesmo ano houve apenas três municípios que apresentaram um caso por município, como pode ser observado na figura 12A e na tabela 1.

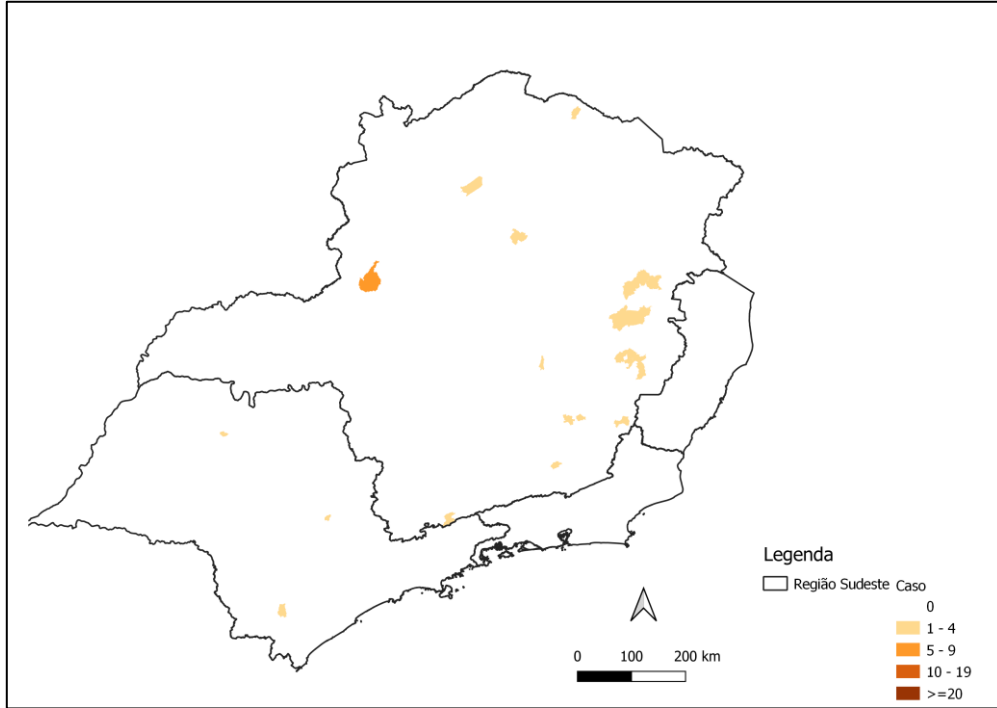
Em 2017, o estado de ES apresentou cerca de 37 municípios com casos de FA, totalizando 249 casos, com valor mínimo de um caso e máximo de 36 casos por município. Em MG cerca de 84 municípios apresentaram casos, contabilizando 421 casos com um mínimo de um caso e o máximo de 46 casos por localidade. No estado do RJ, cerca de 12 localidades tiveram casos de FA, com um total de 28 casos que variaram de um a oito casos por local. Em SP, foram 23 localidades com FA, sendo um total de 75 casos que variaram de um a 28 casos por local, como pode ser observado na figura 12B e na tabela 1.

O ano de 2018 representa o pico de casos de FA na região Sudeste brasileira, com os maiores números de casos humanos em três dos quatro estados, como apresentado anteriormente, o ES teve o menor número de casos, enquanto no RJ e SP os casos apresentaram um elevado crescimento.

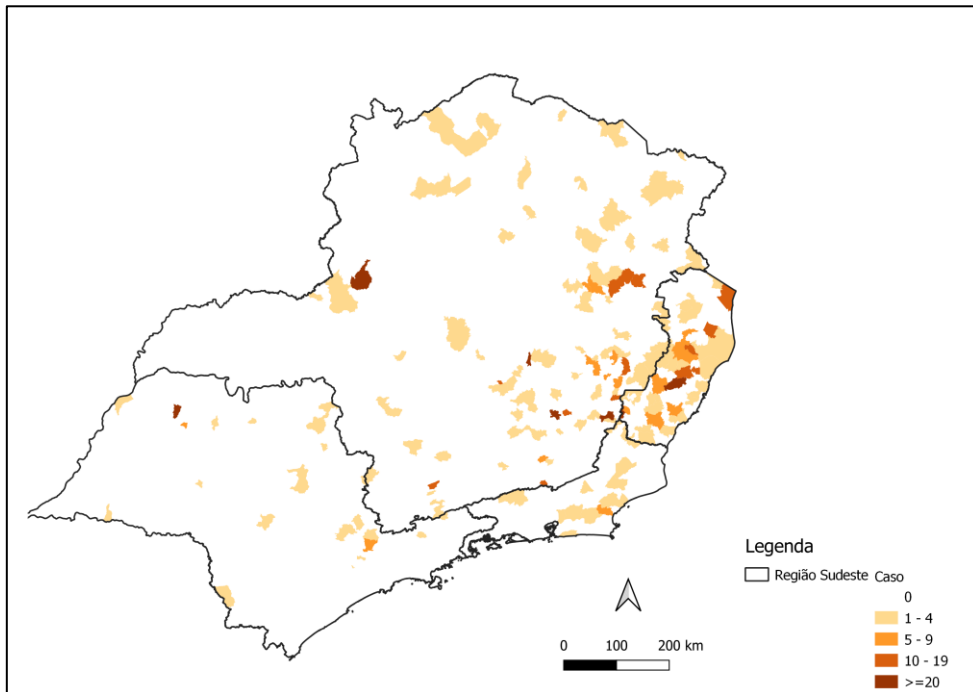
No estado de ES registrou apenas três casos em três municípios. Em MG, 114 municípios apresentaram casos representando 512 casos ao total, variando de um a 40 casos por localidade. No RJ foram 39 municípios com a presença de casos representando um total de 275 casos, com variação de no mínimo um e no máximo 65 casos por local. No estado de SP, foram 74 municípios com FA, totalizando 493 casos que variam de um a 136 casos por local, como pode ser observado na figura 12C e na tabela 1.

Figura 12. Mapa de distribuição de casos humanos de febre amarela nos estados região Sudeste nos anos (A)2016, (B)2017; (C)2018.

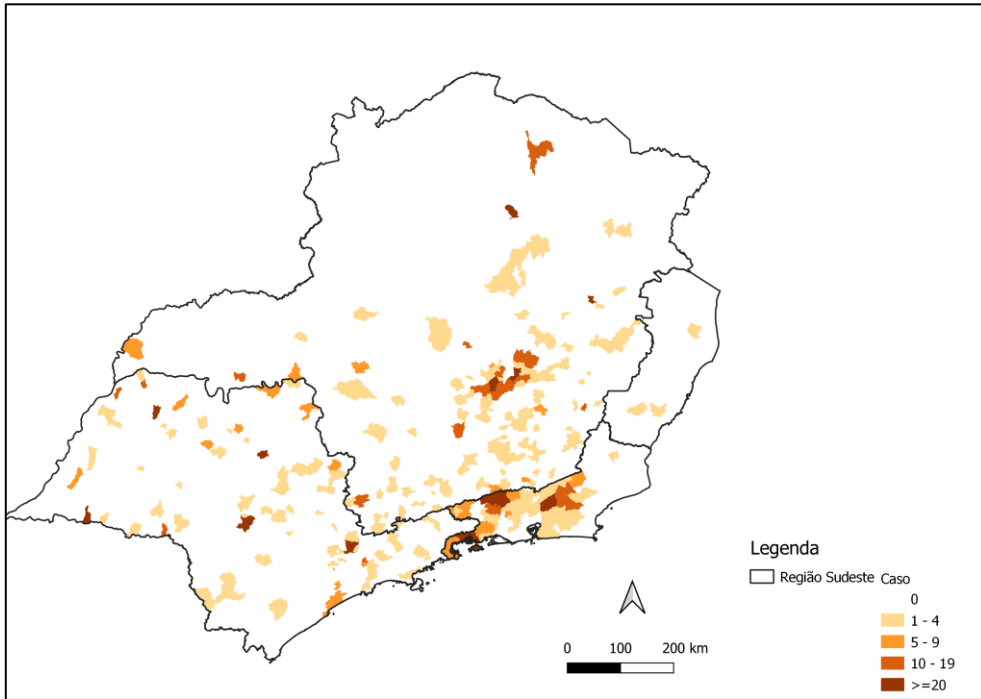
A)



B)



c)



Fonte. Própria.

Tabela 1. Medidas de resumo dos casos humanos de febre amarela nos estados região Sudeste nos anos do processo epidêmico-epizoótico (2016-2018).

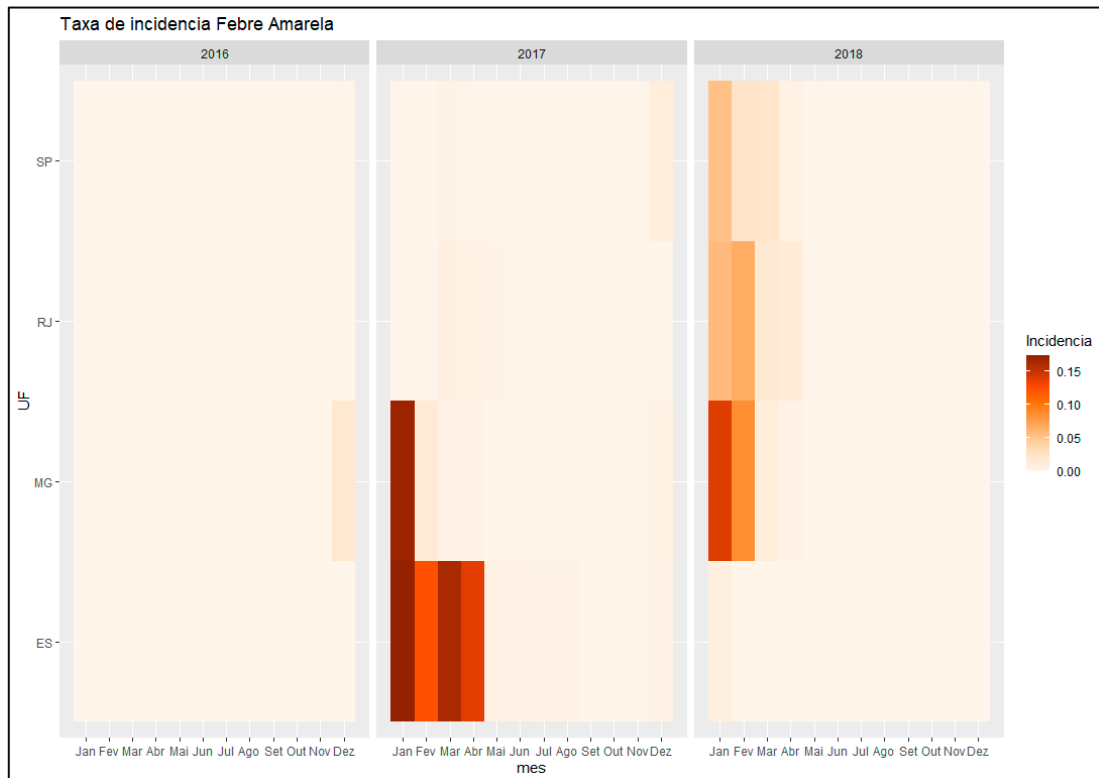
2016									
Estados	Municípios	Casos	Média	SD	Mínimo	Máximo	P25	P50	P75
Espírito Santo	0	-	-	-	-	-	-	-	-
Minas Gerais	17/853	41	2,41	1,58	1,00	7,00	1,00	2,00	3,00
Rio de Janeiro	0	-	-	-	-	-	-	-	-
São Paulo	3/645	3	1	0	1	1	1	1	1
2017									
Estados	Municípios	Casos	Média	SD	Mínimo	Máximo	P25	P50	P75
Espírito Santo	37/78	249	6,73	7,37	1,00	36,00	2,00	5,00	9,00
Minas Gerais	84/853	422	5,02	7,84	1,00	46,00	1,00	2,00	5,00
Rio de Janeiro	12	28	2,33	2,15	1,00	8,00	1,00	1,50	2,50
São Paulo	23/645	75	3,26	5,80	1,00	28,00	1,00	1,00	2,00
2018									
Estados	Municípios	Casos	Média	SD	Mínimo	Máximo	P25	P50	P75
Espírito Santo	3	3	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Minas Gerais	114/853	512	4,49	6,92	1,00	40,00	1,00	2,00	4,00
Rio de Janeiro	39/92	275	7,05	11,62	1,00	65,00	1,00	4,00	6,00
São Paulo	74/645	493	6,66	13,84	1,00	136,00	1,00	2,00	5,50

Fonte: própria.

Pode-se observar no *heatmap* da figura 13 a distribuição da taxa de incidência bruta por 100.000 habitantes de casos de febre amarela nos anos. A distribuição dos casos ocorreu principalmente nos primeiros meses<sup>10</sup> dos anos de 2017 e 2018. Em ES, no ano de 2017, taxas foram acima de um no período de janeiro a abril enquanto maio, junho, julho, agosto e dezembro do mesmo ano não houve confirmação de casos. Em MG as taxas de incidência foram maiores nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro do período estudado. No RJ as taxas foram menores nos meses de março, abril, maio e dezembro de 2017, enquanto no período de janeiro a abril de 2018 variou entre 0,1 e 0,5 a cada 100 mil habitantes. Em SP de dezembro de 2017 a março de 2018 a taxa de incidência variou de 0,1 a 0,5/100 mil habitantes, registrando o período com maior ocorrência da doença.

<sup>10</sup> janeiro, fevereiro, março e abril.

Figura 13. *Heatmap* da taxa de incidência bruta por 100.000 habitantes de casos humanos de febre amarela na região Sudeste nos anos 2016-2018 do processo epidêmico-epizootico.



Fonte. própria.

A figura 14 apresenta os mapas de taxa de incidência bruta e bayesiana de FA por 100.000 habitantes na região Sudeste nos três anos do processo epidêmico-epizootico, no estado do ES o ano de 2017 apresentou 27 municípios com casos da doença, sendo a taxa de incidência bruta em 41 municípios igual a zero; quatro (4) municípios se encontram abaixo de um; 33 municípios encontram taxas acima de um, sendo Santa Leopoldina, o município com a maior taxa de incidência (279,31 casos/100 mil habitantes). No ano seguinte, Alfredo Chaves, Cariacica e Serra, apresentaram taxa bruta abaixo de um caso a cada 100 mil habitantes.

Em relação ao estado de MG, o ano de 2016 apresentou 17 municípios com casos de FA, sendo a taxa de incidência bruta em Governador Valadares abaixo de um caso a cada 100 mil habitantes (0,36/100 mil hab.); 16 municípios encontram taxas acima de 1 caso/100 mil habitantes, sendo Piau com a mais alta taxa de incidência do ano com 139,91 casos/100 mil habitantes. No ano de 2017, 84 municípios apresentaram casos, sendo a taxa de incidência bruta em cinco municípios com registros abaixo de 1 caso/100 mil habitantes; 80



municípios com taxas acima de 1 caso/10 mil habitantes, dentre estes, 12 municípios apresentaram taxas acima de 100 casos/100 mil habitantes, destacando-se Simão Pereira com taxa de 452,66 casos/100 mil habitantes, Nova União com 585,80 casos/100 mil habitantes e Lagamar 590,12 casos/100 mil habitantes. Em 2018, os municípios com casos de FA foram 114, sendo a taxa de incidência bruta em três municípios com valores abaixo de 1 caso/100 mil habitantes; 111 municípios encontram-se com taxas acima de 1 caso/100 mil habitantes, dentre estes, 14 municípios apresentaram taxas acima de 100 casos/100 mil habitantes, destacando-se Juramento (926,78) e Marilac (943,40) com taxas acima de 900 casos/100 mil habitantes, 926,78 casos/100 mil habitantes e 943,40 casos/100 mil habitantes.

O estado do RJ, no ano de 2017, apresentou 12 municípios com casos FA, sendo todos com a taxa de incidência bruta com mais de 1 caso/100 mil habitantes; sendo dois municípios com taxas acima de 10 casos/100 mil habitantes, onde Comendador Levy Gasparian registrou a maior taxa de incidência com 95,97 casos/100 mil habitantes. Em 2018, foram 39 municípios com casos de FA, dentre os quais cinco apresentaram taxa bruta abaixo de 1 caso/100 mil habitantes e 34 com taxa acima de 1 caso/100 mil habitantes, sendo a maior taxa de incidência registrada em Duas Barras com 113,50 casos/100 mil habitantes.

Os mapas da taxa de incidência por 100.000 habitantes do estado de SP mostram o registro de FA em três municípios, sendo a taxa de incidência bruta em dois municípios com valores abaixo de 10 caso/100 mil habitantes e o município de Ribeirão Grande com uma taxa de 13 casos/100 mil habitantes. No ano de 2017, 23 municípios tiveram casos, sendo a taxa de incidência bruta em cinco municípios com valores abaixo de 1 caso/100 mil habitantes; 18 municípios com taxas acima de 1 caso/100 mil habitantes, sendo dois municípios com taxas acima de 200 casos/100 mil habitantes, destacando-se Magda com 879,12 e Monções com 266,79 de taxa de incidência bruta. Em 2018, foram 73 municípios com casos de FA, sendo a taxa de incidência bruta em nove municípios com menos de 1 caso/10 mil habitantes; 64 municípios com taxas acima de 1 caso/100 mil habitantes, entre os quais, 4 municípios apresentaram taxas acima de 200 casos/100 mil habitantes, sendo estes Piqueroibi (244,23), Narandiba (603,04), Turmalina (625,36) e Magda (4336,73).

Os estados de MG e SP se destacaram como os estados da região Sudeste com maiores taxas brutas. As altas taxas nesses estados ocorreram em municípios com baixa densidade populacional, como exemplo, o município de Magda no ano de 2017 que apresentou 28 casos para uma população de 3.185. No ano seguinte foram 136 casos para uma população de 3.136. O mesmo acontece com a maioria dos municípios com taxa acima

de 200 nesses dois estados.

Santos; Rodrigues; Lopes (2005) ressaltam que uma localidade possuir uma população grande, sua população apresentará pequena variabilidade; no caso contrário, a população sendo pequena, a estimativa da taxa de incidência bruta terá uma elevada variância e pouco peso será atribuído a taxa instável, o que trona a taxa bayesiana mais próxima do valor esperado de uma área ao acaso (SANTOS; RODRIGUES; LOPES, 2005).

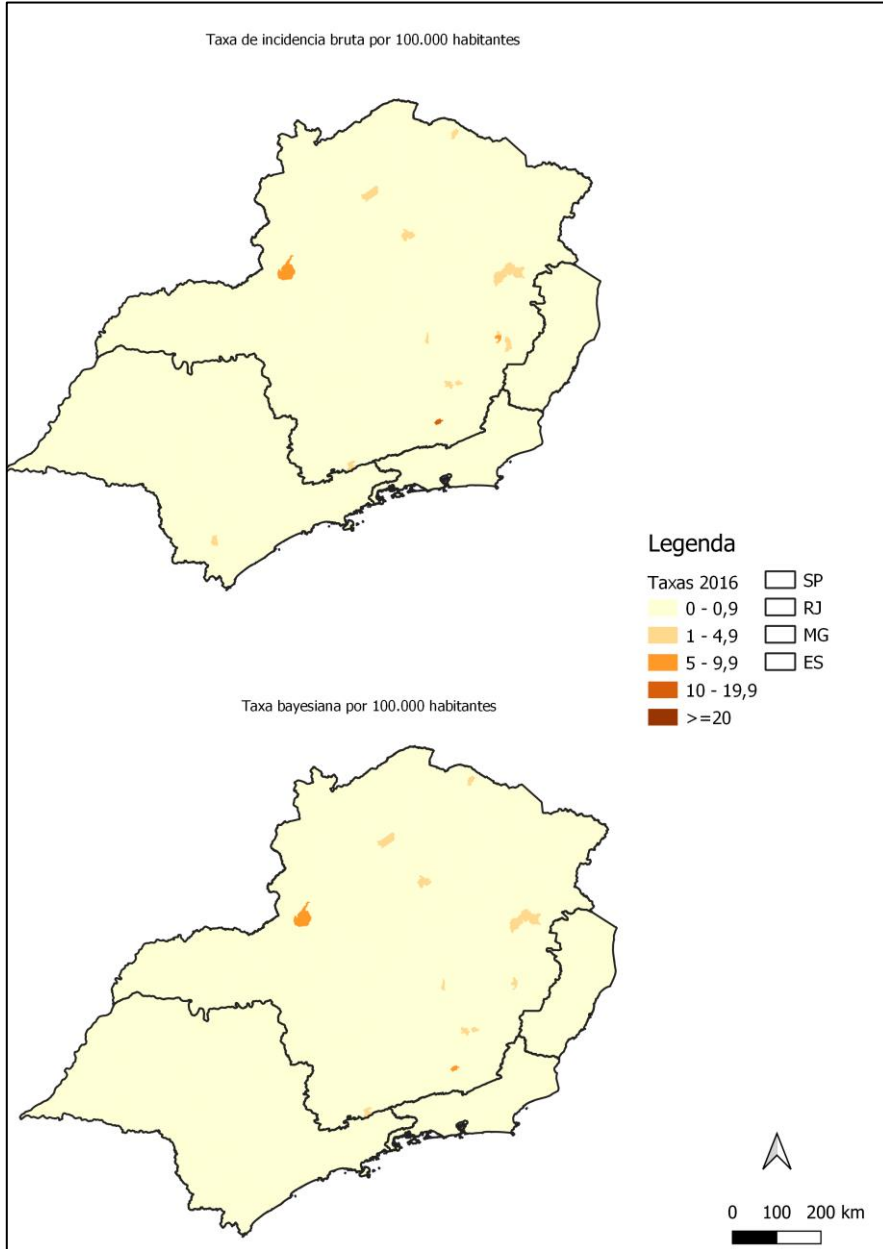
No mapa da taxa bayesiana global da FA dos estados, observa-se um padrão semelhante à taxa de incidência bruta, pois apenas poucas localidades alteram de faixa (intervalo de classe).

Destaca-se no ES no ano de 2017, apenas em Divino São Lourenço com diferença entre as taxas. Em MG no ano de 2016, os municípios apresentaram diferenças em relação às taxas foram Imbé de Minas, Ipanema e Piau. Em 2017 dois municípios do ano anterior possuem o mesmo comportamento, Imbé de Minas e Piau, além dos municípios de Douradoquara e Conceição das Pedras; em 2018, municípios que se destacaram foram Pratinha, Pedro Teixeira, Acaiaca e santo Antônio do Aventureiro.

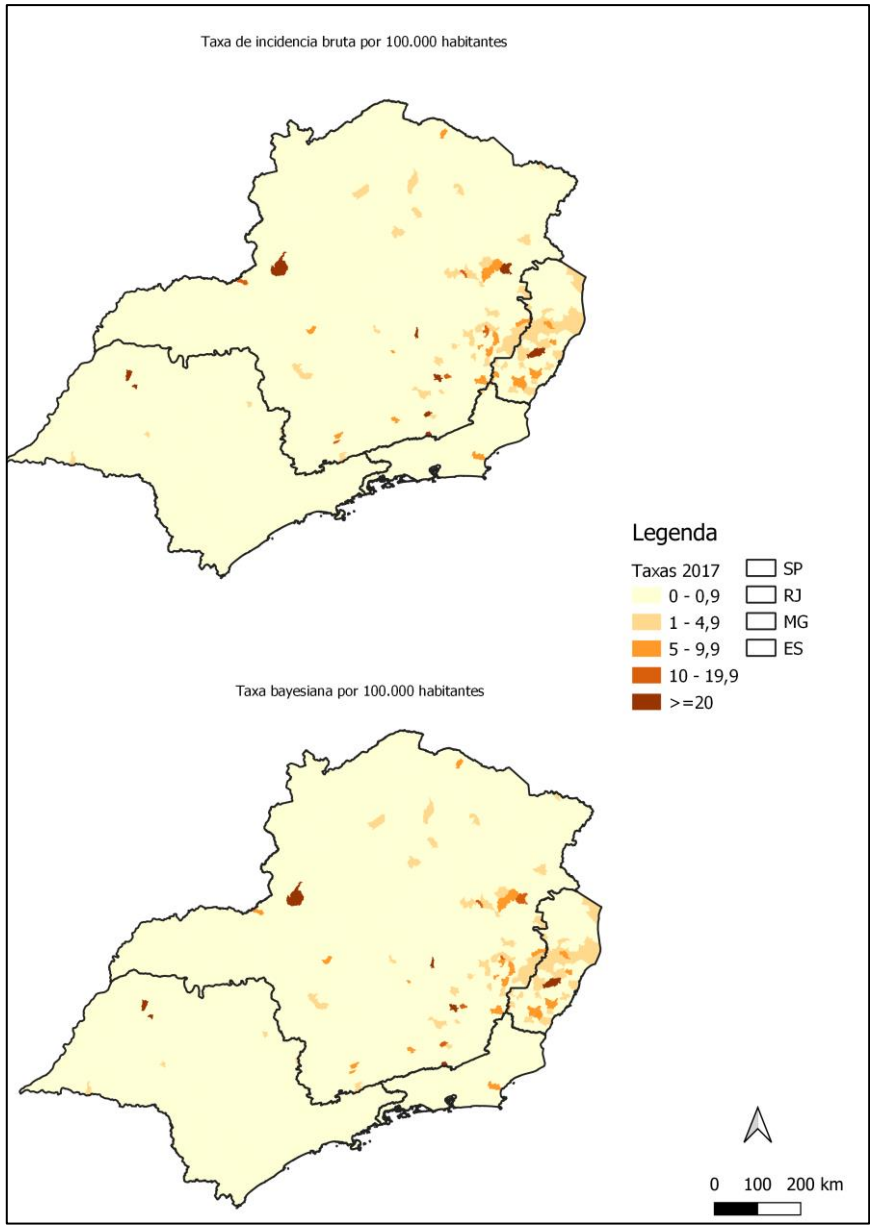
Já no RJ, no ano de 2017 o município Porciúncula apresenta diferença entre as taxas, enquanto em 2018 o mesmo pode ser observado nos municípios de Cantagalo, Rio das Flores, Duas Barras e Piraí. Em SP a diferença entre as taxas pode ser observada em Ribeirão Grande no ano de 2016 e Torrinha em 2018.

Figura 14. Distribuição espacial da incidência bruta e bayesiana global da FA por 100.000 habitantes na região Sudeste. (A) 2016; (B) 2017; (C) 2018.

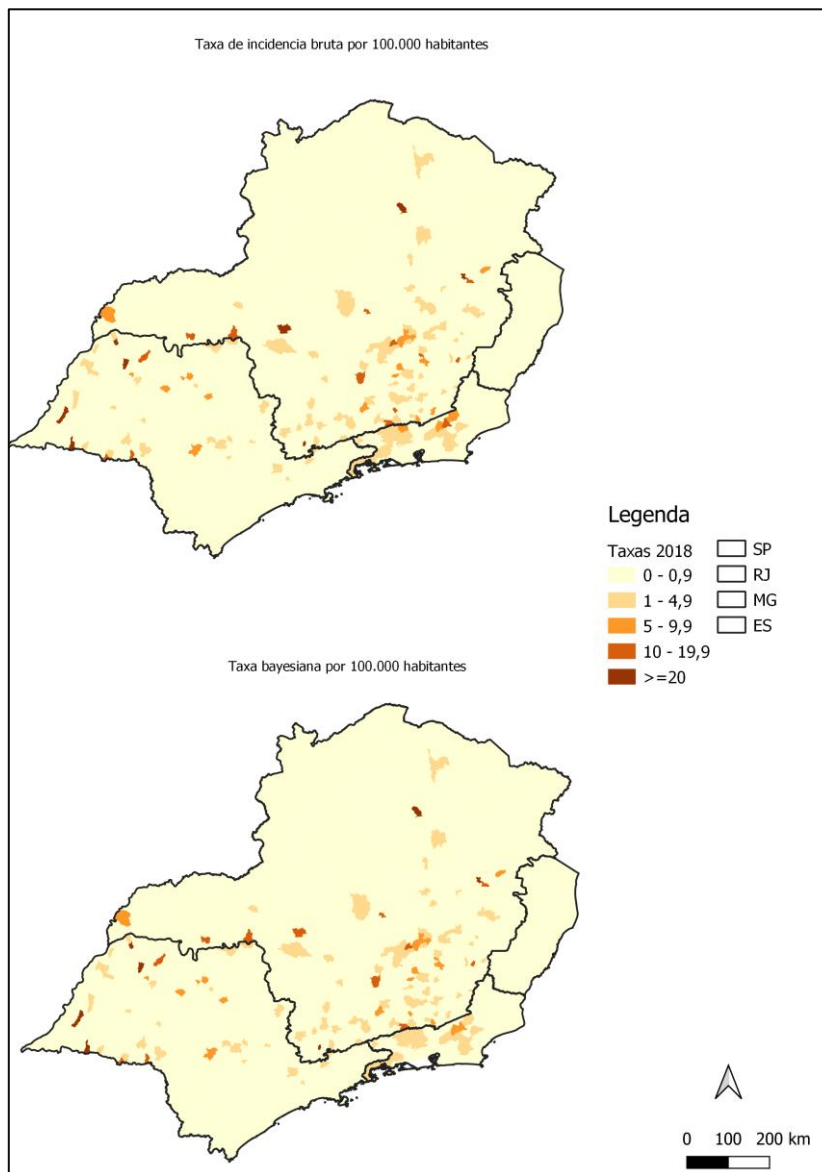
A)



**B)**



C)



Fonte. própria.

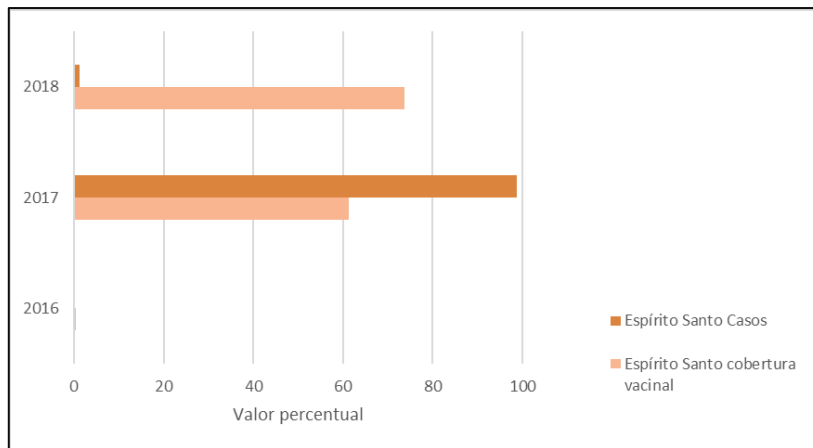
Em relação a cobertura vacinal nestes estados, observa-se na figura 15 (A) que no estado do ES a vacinação foi de 61,3 em 2017 e 73,8 em 2018. O incremento da cobertura em 2016, 2017 e 2018 também foi observado em RJ e SP (Figura 15C e 15D). No entanto, mesmo com o aumento da cobertura nestes dois estados foram verificados incremento do número de casos de FA.

Analisando os valores dos outros estados pode-se observar também um aumento na cobertura vacinal, com exceção de Minas Gerais que no ano de 2017 (Figura 15B) apresenta uma redução em sua cobertura em relação ao ano anterior. Ainda assim, mesmo com o aumento da cobertura da vacina os estados apresentam um aumento no número de casos.

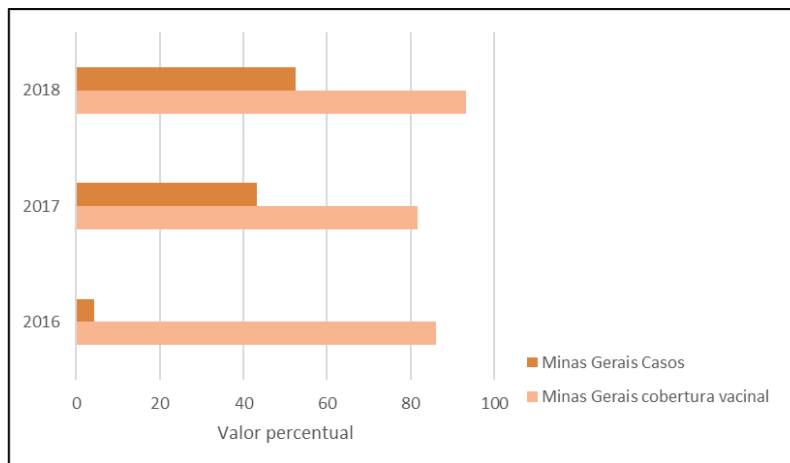
Figura 15. Descrição dos casos humanos de febre amarela nos estados região Sudeste nos anos do processo epidêmico-epizootico e a cobertura vacinal de cada um destes:

A) Espírito Santo; B) Minas Gerais; C) Rio de Janeiro; e D) São Paulo.

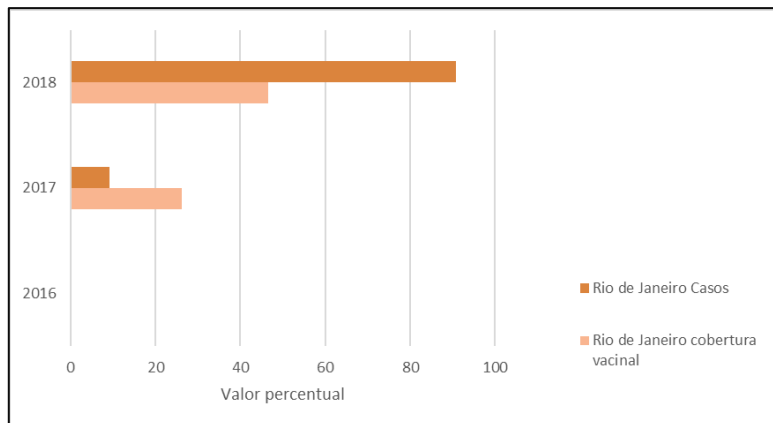
**A)**



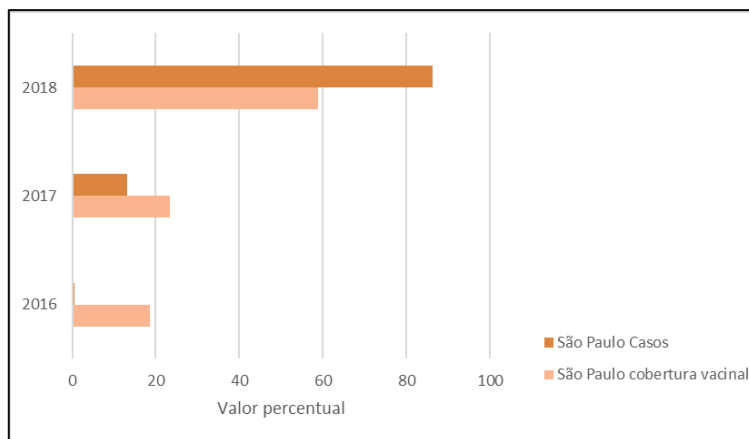
**B)**



C)



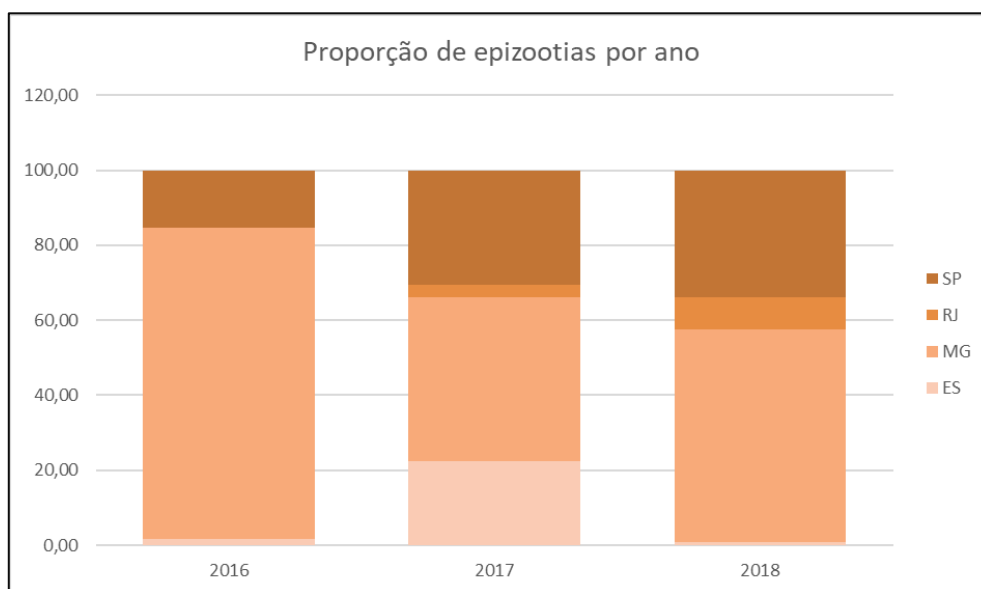
D)



Fonte. própria.

O processo epidêmico-epizoótico da febre amarela que ocorreu no período de 2016 a 2018 na região Sudeste brasileira foram registradas 6.395 epizootias em primatas-não humanos. Em relação às epizootias em PNH, como pode ser observado na figura 16, apenas o estado do RJ não notificou em 2016. Do total de epizootias em 2016, 83% foram no estado de MG 15% em SP e 2% em ES. No ano de 2017, os quatro estados apresentaram registros de epizootias, sendo MG o estado com a maior proporção, 43,74%, enquanto o SP representou 30,65% dos casos, seguido de ES, 22,42%, e RJ, 3,19%. No ano de 2018, observou-se uma redução da proporção de casos no ES, com 0,89%, enquanto MG apresentou 56,76%, SP 33,74% e o RJ 8,60% dos casos.

Figura 16. Distribuição percentual das epizootias de febre amarela nos estados da região Sudeste nos anos e no período do processo epidêmico-epizoótico (2016-2018).



Fonte. própria.

No ano de 2016, o estado do RJ não apresentou epizootias de FA; ES teve um município com cinco epizootias e MG apresentou 43 municípios com casos de PNH contaminados de FA com um total de 261 epizootias, com registro máximo de 42 PNH contaminados por município. Enquanto em SP, ocorreram 48 epizootias em 23 municípios, com valor máximo de seis (6) epizootias por município (Tabela 2).

No ano de 2017, o estado do ES apresentou 46 municípios com epizootias de FA com um total de 962 primatas contaminados, onde o valor máximo foi de 190 primatas por município; em MG foram 404 municípios com registros de primatas contaminados, representando 1.878 epizootias com máximo de 132 epizootias por localidade; no RJ foram 34 localidades com a presença de epizootias representando um total de 137 primatas contaminados com valor máximo de 25 primatas por local; em SP foram 128 localidades com primatas contaminados por FA representando 1.315 casos com valor máximo de 205 primatas por local (Tabela 2).

No ano de 2018 (tabela 2), o estado do ES registrou 16 epizootias, com distribuição em 11 municípios, com máximo de três por município. Em MG, cerca de 270 municípios apresentaram epizootias, com total de 1.016 PNH e valor máximo de 88 epizootias por localidade. No RJ foram 31 municípios com epizootias, correspondendo a um total de 154 registro e máximo de 48 epizootias por município. Em SP foram 125 localidades com epizootias de FA representando 604 epizootias que variam de um a 78 PNH por município.



Tabela 2. Medidas de resumo das epizootias de febre amarela nos estados região Sudeste nos anos do processo epidêmico-epizoótico (2016-2018).

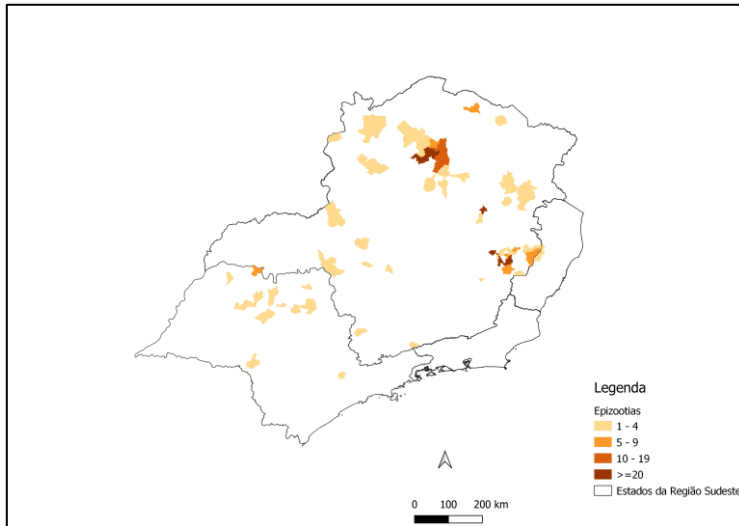
2016									
Estados	Municípios	Epizootias	Média	SD	Mínimo	Máximo	P25	P50	P75
Espírito Santo	1	5	-	-	-	-	-	-	-
Minas Gerais	43/853	261	6,07	8,73	1,00	42,00	2,00	3,00	6,00
Rio de Janeiro	-	-	-	-	-	-	-	-	-
São Paulo	23/645	48	2,09	1,41	1,00	6,00	1,00	2,00	3,00
2017									
Estados	Municípios	Epizootias	Média	SD	Mínimo	Máximo	P25	P50	P75
Espírito Santo	46/78	962	20,91	33,16	1,00	190,00	3,25	9,50	22,25
Minas Gerais	404/853	1877	4,65	9,29	1,00	132,00	1,00	2,00	4,25
Rio de Janeiro	34/92	137	4,03	6,07	1,00	25,00	1,00	2,00	3,00
São Paulo	128/645	1315	10,27	26,43	1,00	205,00	1,00	2,00	5,00
2018									
Estados	Municípios	Epizootias	Média	SD	Mínimo	Máximo	P25	P50	P75
Espírito Santo	11	16	1,46	0,69	1,00	3,00	1,00	1,00	2,00
Minas Gerais	270/853	1016	3,76	7,18	1,00	88,00	1,00	2,00	4,00
Rio de Janeiro	31/92	154	4,97	9,81	1,00	48,00	1,00	2,00	3,00
São Paulo	125/645	604	4,83	10,60	1,00	79,00	1,00	1,00	3,00

Fonte. própria.

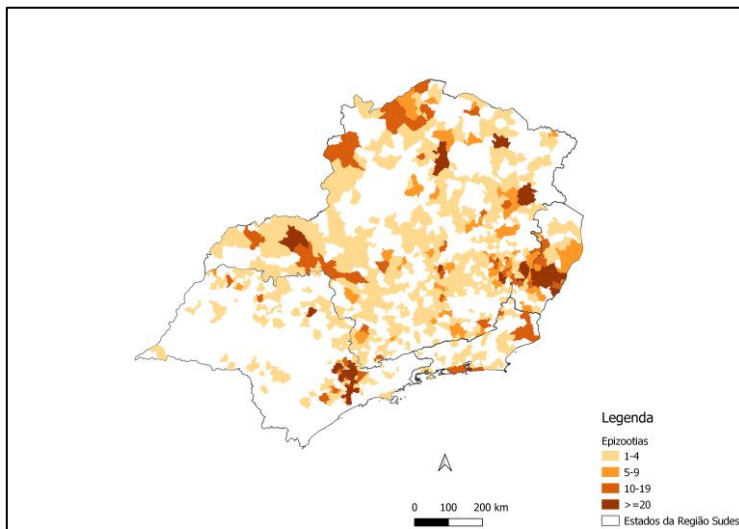
As figuras 17A, 17B e 17C evidenciam os registros de epizootias na região Sudeste, segundo os anos de 2016, 2017 e 2018, respectivamente. Os municípios com epizootias se concentraram nas áreas norte dos estados de SP (noroeste) e MG (noroeste, norte e nordeste); o ES apresenta um município com registro na região de fronteira com MG. No ano de 2017, as epizootias atingem todos os estados da região, sendo o ES com maior percentual dos municípios atingidos, 59%. Em MG, o percentual foi 48%, em RJ foi de 37% e em SP foi de 20% do território. Em 2018, observou-se que as epizootias seguiram para as regiões sul dos estados. Observou-se que em MG, RJ e SP, onde as áreas que possuíam menos casos de PNH com FA aumentaram e/ou novas áreas são atingidas pela epizootia. No entanto, MG ainda apresenta PNH com FA em outras áreas/regiões do estado.

Figura 17. Mapa das epizootias de febre amarela na região Sudeste nos anos: A)2016,  
B) 2017 e C)2018.

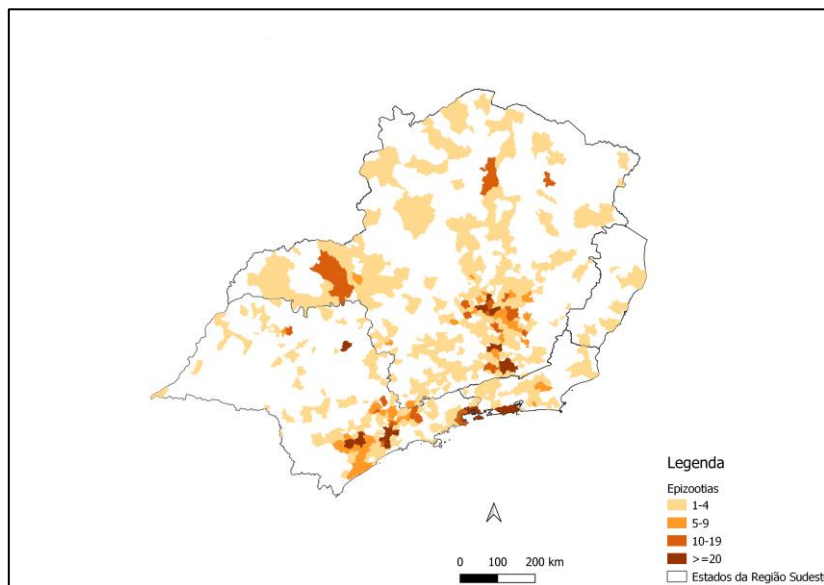
A)



B)



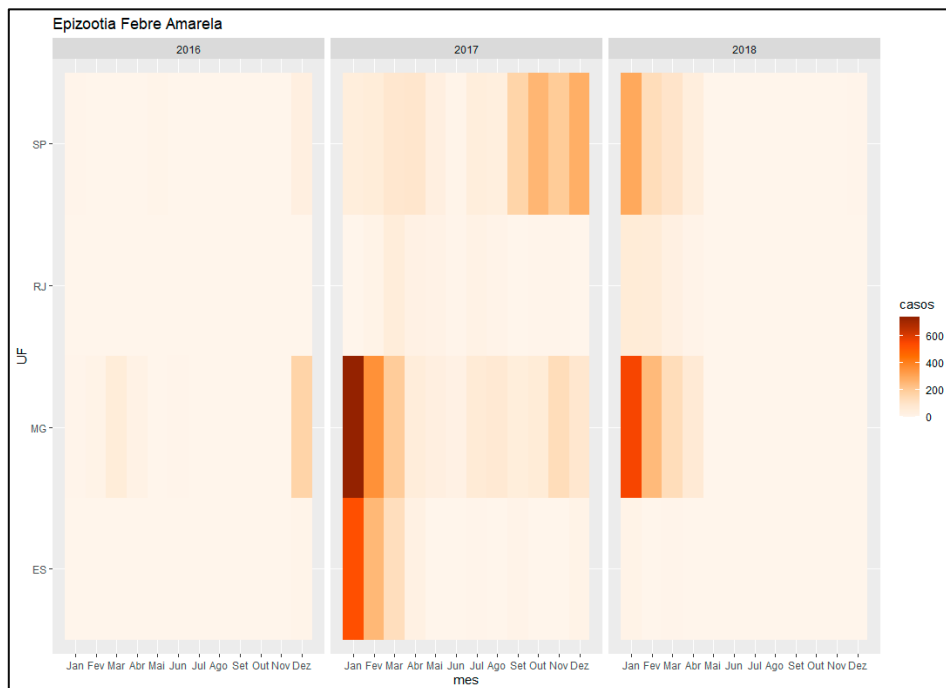
c)



Fonte. própria.

Como pode-se observar no *heatmap*, figura 18, o ES nos três primeiros meses do ano se destaca com casos de epizootias, variando aproximadamente entre 400 e 200 primatas registros. Em MG, é possível observar que no ano de 2017 existe casos de FA em PNH durante todo ano, mas a maior concentração de epizootias ocorreu nos três primeiros meses do ano; no ano de 2016 encontra-se em destaque dezembro e no ano de 2018, os quatro primeiros meses do ano. Dos estados do Sudeste, o RJ apresentou os menores números de epizootias, com o mês de março de 2017 e janeiro e fevereiro de 2018, com os maiores registros. No estado de SP, em 2017, os registros de epizootia ocorreram ao longo do ano, mas a maior concentração ocorreu nos últimos quatro meses do ano; no ano de 2016 encontra-se em destaque dezembro e no ano de 2018 os quatro primeiros meses do ano.

Figura 18. *Heatmap* das epizootias de febre aarela na região Sudeste nos anos 2016-2018 do processo epidêmico-epizoótico.



Fonte. dados da CVS.

Na identificação dos *clusters* espaço-temporais de casos de FA, a figura 19A demonstra os *clusters* por ano de ocorrência e na figura 19B se tem a sobreposição dos *clusters* na distribuição das epizootias no período de 2016-2018; a tabela 3 observa-se as principais informações dos *clusters* significativos ( $p$ -valor $<0,05$ ). O estado do ES apresentou três *clusters* no ano de 2017, localizados na região centro-sul do estado (Figura 19A). Um ponto importante de se ressaltar no estado é que os *clusters* ocorreram no ano em que o estado apresentou o maior número de casos de FA do processo epidêmico-epizoótico.

Na tabela 3 observa-se a descrição de cada *cluster*. No estado do Espírito Santo foram identificados três *clusters* somente no ano de 2017. Pode-se notar que a razão entre observado/esperado no *cluster* ES1 foi de 33.83, ou seja, a população encontra-se 33.83 vezes mais exposta à doença do que deveria estar. Este *cluster* teve maior risco relativo - RR (61.14), sendo o de maior número de casos (114) e foi conglomerado mais verossímil (LLR. 320,33), o que representa que está mais distante de ser um *cluster* gerado pelo acaso. Os outros dois significativos, tiveram RR próximo a 10 e a razão entre o observado/esperado acima de 8.

Na figura 19B tem-se a sobreposição dos *clusters* no mapa de epizootias. Observa-se que no *cluster* ES1, a maioria dos municípios sob influência de seu raio apresenta mais de 20 PNH infectados no período de 2016 a 2018; já no *cluster* ES2, dois municípios sob a influência do raio apresentam mais de 20 epizootias, o mesmo para a faixa de 10 a 20; e o *cluster* ES3 apresenta pelo menos um município em cada faixa dentro do seu raio.

As estatísticas de varredura detectaram no estado de MG 21 *clusters*, sendo apenas 17 agrupamentos representativos, ou seja, obteve-se um p-valor menor que 0,05 (Figura 19A e tabela 3). Os agrupamentos se encontram em sua maior concentração na porção leste e sudeste do estado, isso representa uma proximidade das fronteiras do estado com ES e RJ.

No ano de 2017 foram detectados sete *clusters*, sendo o *cluster* MG4 foi o mais verossímil (LLR=353093,77) e obteve o maior número de casos estimados (5,45); o *cluster* MG1 apresentou o maior número de casos (123), além disso obteve o maior risco relativo (87,42) e a maior razão entre os casos observados/estimados (87,42). Já no ano de 2018 foram detectados nove *clusters*, sendo o *cluster* MG7 o mais verossímil (LLR=698094,38) e o maior número de casos estimados (10,77); o *cluster* MG2 apresentou o maior número de casos observados (145); o *cluster* MG9 apresenta um único município (São Thomé da Letras) que possui a maior razão de casos observados/esperados (110,28) e o maior risco relativo (111,65). Ressalta-se que o estado apresentou casos de FA no ano de 2016, mas não foram constatados agrupamentos nas análises espaço-temporal (significativos e não significativos) (Tabela 3).

Na Figura 19B tem-se a sobreposição dos *clusters* no mapa de epizootias do período de 2016-2018, observa-se que as epizootias se distribuem por quase todo o território estadual, conseqüentemente os *clusters*, em sua maioria, se encontram sob áreas que apresentam epizootias. Os *clusters* MG4 e MG10, do ano de 2017, se encontram próximo à fronteira do RJ e foram os que apresentam a maior concentração de epizootias; em contrapartida os *clusters* de 2018 (MG2, MG3, MG16 e MG11) se encontram em uma área com concentração de epizootias na área leste e sudeste do estado.

O estado do RJ apresentou nove *clusters*, sendo sete deles com significância estatística (p-valor<0,05) (Figura 19A e tabela 3). Dentre estes, um *cluster* ocorreu no ano de 2017 e seis no ano de 2018. Quatro *clusters* localizam-se na região ao sul do estado e três ao norte do estado.

No ano de 2017 o *cluster* RJ4 é o único de ocorrência nesse ano. Este apresenta apenas um município (Casimiro de Abreu), possui verossimilhança de 32,75, razão de casos observados/esperados 159,90 e risco relativo de 164,21. No ano de 2018 tem-se seis *clusters*, sendo o *cluster* RJ2 o que apresenta o maior número de casos observados (81) e esperados (3,24); já o *cluster* RJ1 apresenta dois municípios da Costa Verde Fluminense (Angra dos Reis e Paraty), sendo este o agrupamento mais verossímil (LLR=232,25), além de apresentar uma razão de casos observados/esperados de 51,76, ou seja, a população desses municípios encontra-se 51,76 vezes mais exposta à doença do que deveria estar (Tabela 3).

Na Figura 19B tem-se a sobreposição dos *clusters* no mapa de epizootias do período de 2016-2018, observa-se a maioria dos raios de influência dos *clusters* tiveram sob áreas que apresentam pelo menos um município com presença de epizootias, com exceção do *clusters* RJ4, que se localiza em área que não possuem epizootias de PNH, como *cluster* de raio zero, ou seja, apresentam apenas um município de local, e o maior risco relativo.

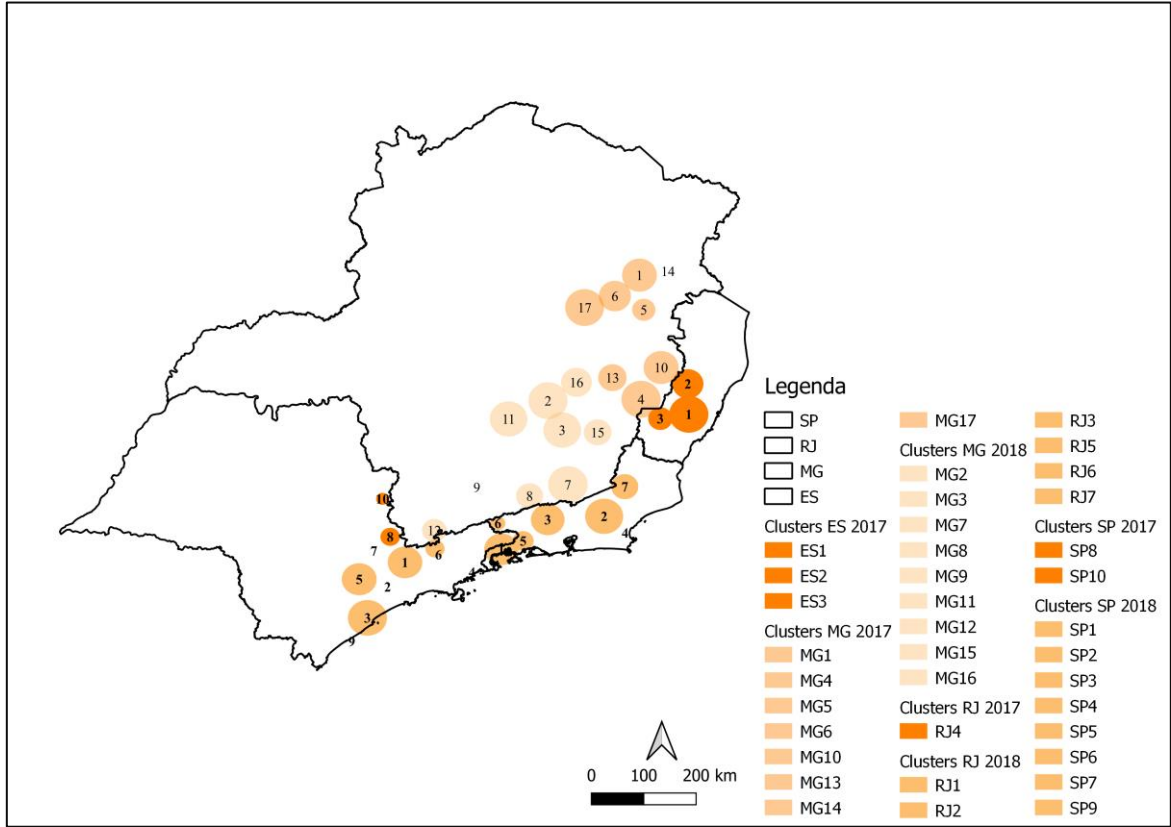
A estatística de varredura espaço-temporal detectou 17 *clusters* de FA em diferentes pontos de SP (Figura 19A e tabela 3), sendo entre estes apenas 10 agrupamentos significativos. Três agrupamentos encontram-se na área litorânea do estado (3, 4 e 9), quatro próximos a divisa de SP com MG (1, 6, 8 e 10), dois próximos a capital paulista (2 e 5) e um próximo ao município de campinas (7).

No ano de 2017 foram detectados dois *clusters*, sendo o *cluster* SP8 o mais verossímil (LLR= 22,84) e com o maior número de casos observados (12) e esperados (0,70); enquanto o *cluster* SP10 possui a maior razão de casos observados/esperados (65,35) e o maior risco relativo (65,70). Já no ano de 2018 foram detectados oito agrupamentos, sendo o *cluster* SP1 o mais verossímil (LLR= 1.023,64) e com o maior número de casos observados (269) e esperados (2,95); enquanto o *cluster* SP4, composto apenas pelo município de Ubatuba, onde a população encontra-se 423,30 vezes mais exposta à doença e o maior risco relativo (431,64). Ressalta-se que o estado apresentou casos de FA no ano de 2016, mas não foram constatados agrupamentos nas análises espaço-temporal (significativos e não significativos).

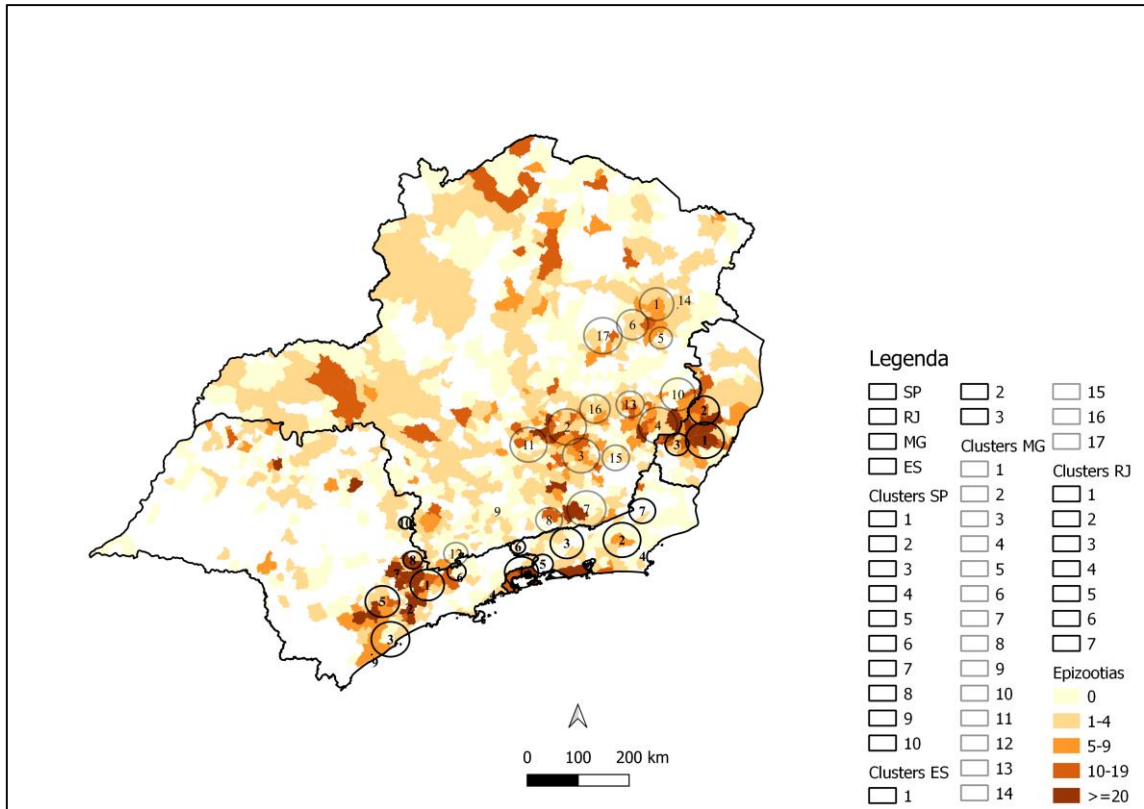
Na Figura 19B tem-se a sobreposição dos *clusters* no mapa de epizootias do período de 2016-2018, observa-se a maioria dos raios de influência dos *clusters* encontram-se sob áreas que apresentam epizootias. Os *clusters* SP1, SP2 e SP8 possuem municípios que apresentam elevados números de epizootias, sendo 539, 189 e 129 respectivamente, no período de 2016-2018.

Figura 19. Distribuição espacial das epizootias de FA em PNH na região Sudeste com sobreposição dos *clusters* de casos humanos de FA.

A)



B)



Fonte. própria.



**Tabela 3.** Descrição dos *clusters* da região Sudestes no período de 2016 a 2018.

CLUSTER	ANO	Nº de municípios	LLR	Observado	Esperados	Razão (observado/esperado)	RR
ES1	2017	8	320,33	114	3,37	33,83	61,14
ES2	2017	7	66,06	51	6,33	8,05	9,85
ES3	2017	4	42,86	32	3,64	8,78	9,92
MG1	2017	5	91068,1	123	1,41	87,42	99,92
MG2	2018	10	491583,74	145	7,6	19,07	22,23
MG3	2018	16	195038,81	105	3	35,03	39,14
MG4	2017	17	353093,77	119	5,45	21,83	24,73
MG5	2017	5	42884,3	26	0,66	39,2	40,25
MG6	2017	6	68874,32	28	1,07	26,24	26,98
MG7	2018	22	698094,38	64	10,77	5,94	6,29
MG8	2018	6	38865,3	19	0,59	32,02	32,64
MG9	2018	1	7077,97	12	0,11	110,28	111,65
MG10	2017	7	90863,52	22	1,41	15,64	15,98
MG11	2018	14	138658,59	24	2,14	11,21	11,47
MG12	2018	8	75533,53	18	1,16	15,52	15,79
MG13	2017	10	98825,04	15	1,53	9,81	9,95
MG14	2017	1	141222,19	16	2,18	7,33	7,44
MG15	2018	12	168869,84	16	2,59	6,18	6,26
MG16	2018	9	290001,35	20	4,46	4,49	4,56
MG17	2017	11	77200,08	9	1,2	7,53	7,59
RJ1	2018	2	232,25	75	1,45	51,76	68,46
RJ2	2018	10	194,01	81	3,24	24,98	33,74
RJ3	2018	10	163,67	69	2,76	24,96	32,03
RJ4	2017	1	32,75	8	0,05	159,9	164,21
RJ5	2018	3	19,82	10	0,54	18,4	19
RJ6	2018	2	14,48	10	0,97	10,36	10,68
RJ7	2018	5	10,94	7	0,59	11,81	12,07
SP1	2018	11	1023,64	269	2,95	91,18	172,31
SP2	2018	1	127,02	29	0,14	210,5	221,77
SP3	2018	6	77,14	24	0,37	65,23	68,07
SP4	2018	1	55,66	11	0,03	423,3	431,64
SP5	2018	14	54,95	33	2,54	12,97	13,71
SP6	2018	3	29,85	11	0,28	39,6	40,37
SP7	2018	1	27,05	7	0,05	127,71	129,29
SP8	2017	6	22,84	12	0,7	17,04	17,38
SP9	2018	1	19,24	5	0,04	125,85	126,96
SP10	2017	2	9,59	3	0,05	65,35	65,7

Fonte. própria.

Na Figura 20, observa-se a classificação de uso e cobertura do solo de cada estado da região Sudeste desde 2000 até 2018. A partir do ano 2000 é possível perceber uma diminuição pequena das áreas de agropecuária e um pequeno aumento das áreas florestais, mas a partir de 2010 essas mudanças foram quase imperceptíveis. Vale destacar que a maior área dos estados é destinada a agropecuária, o que representa mais de 50% de uso e cobertura nos estados, de acordo com a classificação do MapBiomass; em segundo encontra-se a classificação florestal; e a menor porcentagem está a infraestrutura urbana. Ou seja, conjunto de atividades socioeconômicas parece não ter impactado espacial o período de análise.

Observando os tipos de uso e cobertura dentro de cada estado, no estado do ES o aumento da área florestal ocorre gradativamente, principalmente, com o aumento das florestas plantadas. A área de agropecuária possui uma redução gradativa. A área de pastagem diminui ao longo dos anos, a área de culturas perenes tende a aumentar gradativamente e a partir de 2012 o mosaico de agricultura e pastagem passa a ter pequenos aumentos.

As alterações no estado de MG foram quase imperceptíveis quanto ao aumento da área florestal. Esta ocorreu gradativamente com o aumento das florestas plantadas. A área de pastagem diminui ao longo dos anos, a área de culturas temporárias tende a aumentar gradativamente e o mosaico de agricultura e pastagem passa a ter pequenos aumentos, mas com pequenas estabilidades. Isso representa a redução gradativa da área de agropecuária.

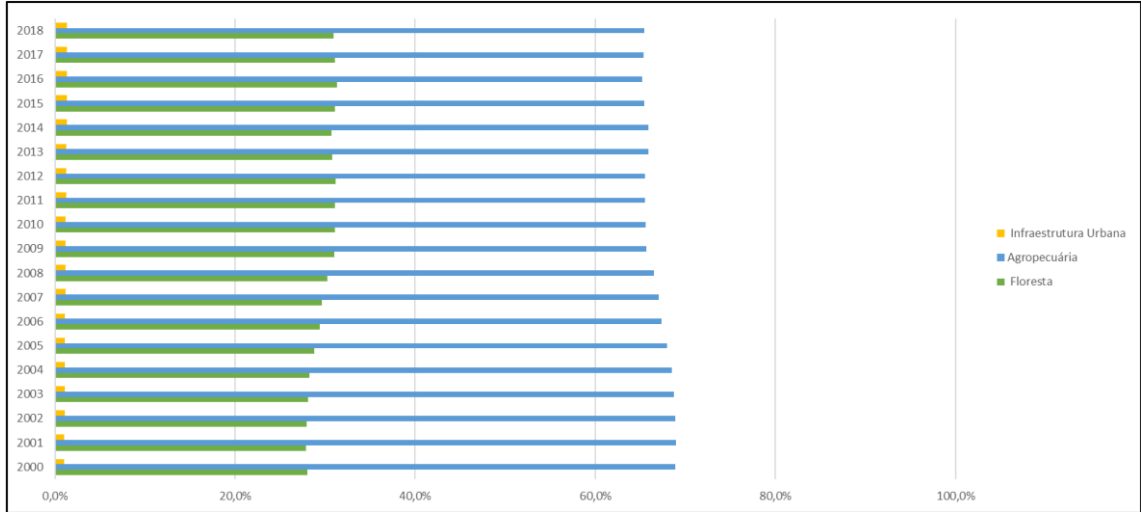
No estado do RJ, a área florestal teve um leve incremento na área de formação florestal natural. Já com relação a agropecuária, em geral tende a reduzir gradativamente; partir de 2012 o mosaico de agricultura e pastagem passa a ter pequenos aumentos, culturas temporárias, apontando um leve aumento, a partir de 2016. Assim como os outros estados a área de pastagem reduz todos os anos.

O estado de SP o aumento da área florestal ocorre gradativamente principalmente com o aumento das florestas plantadas e pequenos aumentos (0,1%) na área de formação florestal natural. Com relação a agropecuária, em geral tende a reduzir gradativamente; culturas temporárias, soja e cana de açúcar tende a aumentar gradativamente, assim como a diminuição das áreas de pastagem.

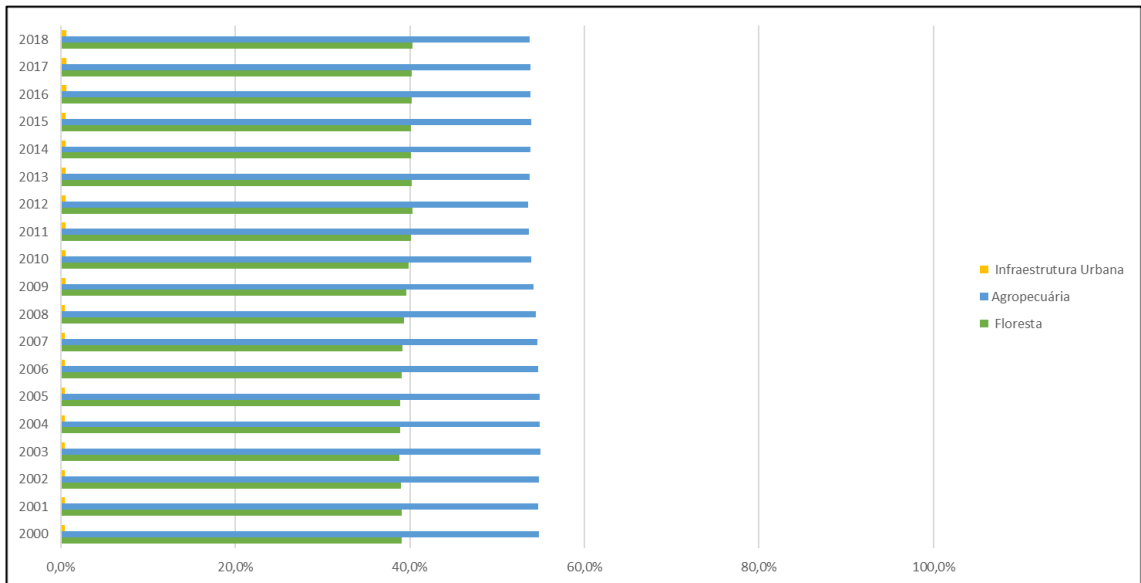
Figura 20. Descrição do percentual de uso e cobertura do solo nos estados região Sudeste nos anos de 2013 até 2018. A) Espírito Santo; B) Minas Gerais; C) Rio de Janeiro; e D)

São Paulo

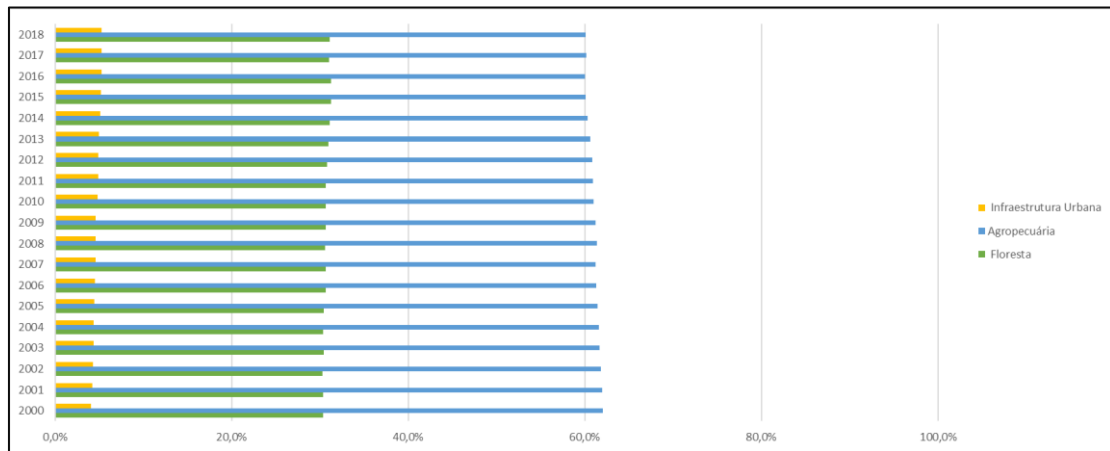
A)



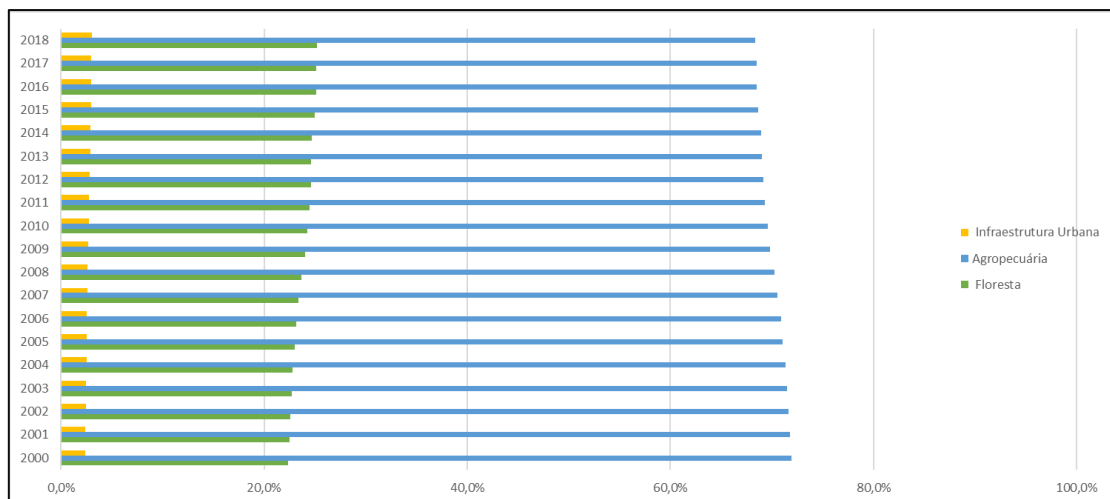
B)



C)



D)

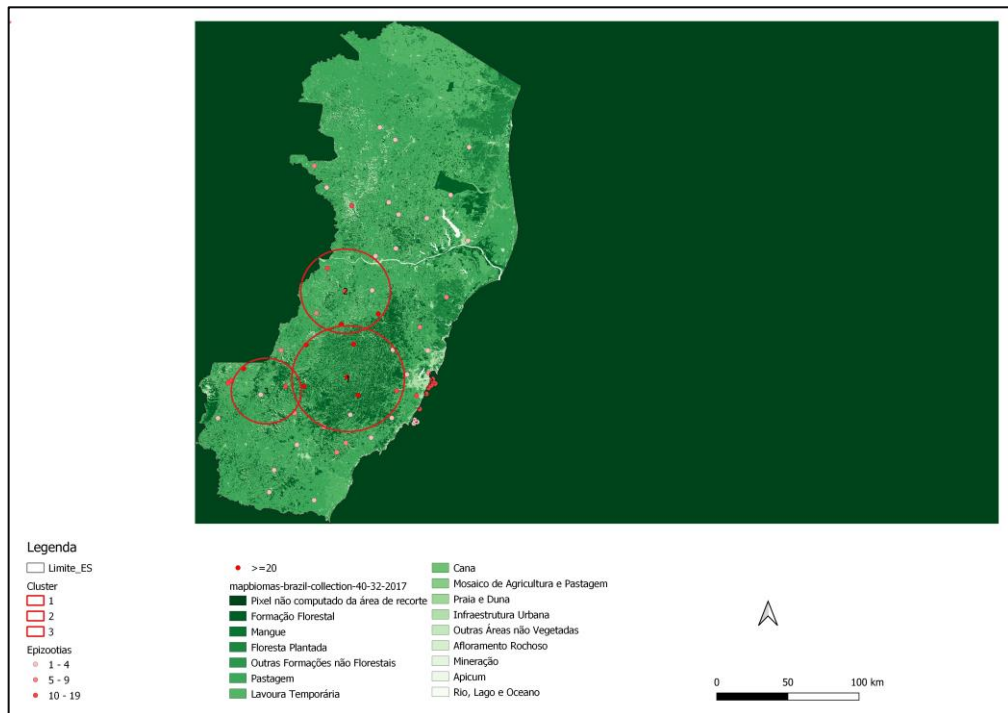


Fonte. própria.

O estado do ES, como apresentado anteriormente possui três agrupamentos no ano de 2017 (Figura 21), o conjunto de *clusters* apresentou 11 classificações (tabela 4), sendo a maior área a de pixel não computado da área de recorte. As áreas de formação florestal representam 3.655,34Km<sup>2</sup>, sendo a formação floresta representando 3.510,92Km<sup>2</sup> e floresta plantada com 144,7Km<sup>2</sup>, mas a área de pastagem representa um valor maior do que a área florestal, representando 3.657,54Km<sup>2</sup> essa área juntamente com o mosaico de agricultura e pastagem representam um total de área 5.688,66Km<sup>2</sup>.

Como também pode ser observado na Figura 21, nos *cluster* apresenta nos pontos verde escuros, caracterizado com as formações florestais, os maiores números de epizootias, e quando o uso se altera, ficando mais claro, os valores de epizootias reduzem.

Figura 21. Mapa de *clusters* humanos, epizootias e uso e cobertura do solo no Espírito Santo no ano de 2017.



Fonte. própria.

Tabela 4. Uso e cobertura do solo e área em Km<sup>2</sup> no ES.

Nomenclatura	Km <sup>2</sup>
Mineração	0,317
Outra Formação Natural não Florestal	2,193
Outra Área não Vegetada	6,672
Rio, Lago e Oceano	17,254
Infraestrutura Urbana	33,484
Afloramento Rochoso	104,880
Floresta Plantada	144,719
Mosaico de Agricultura e Pastagem	2031,118
Formação Florestal	3510,915
Pastagem	3657,539

Fonte. própria.

O estado de MG possui oito agrupamentos no ano de 2017, o conjunto de *clusters* (Figura 22A) apresentou 14 classificações (Tabela 5), sendo a maior área a de pixel não computado da área de recorte. As áreas de formação florestal representam 7.540,60Km<sup>2</sup>, tendo a formação floresta representando 6.664,10Km<sup>2</sup> e floresta plantada com 876,50Km<sup>2</sup>, mas a

área de pastagem representa um valor maior do que a área florestal, representando 11.322,44Km<sup>2</sup>.

No ano de 2018, possui a ter nove agrupamentos e apresentou 14 classificações, sendo a maior área a pixel não computado da área de recorte. Já em relação as áreas de formação florestal representam 9.352,05Km<sup>2</sup>, tendo a formação floresta representando 7.880,07Km<sup>2</sup> e floresta plantada com 1.471,98Km<sup>2</sup>, mas a área de pastagem representa um valor maior do que a área florestal, representando 13.254,73Km<sup>2</sup> (Figura 22B e Tabela 5).

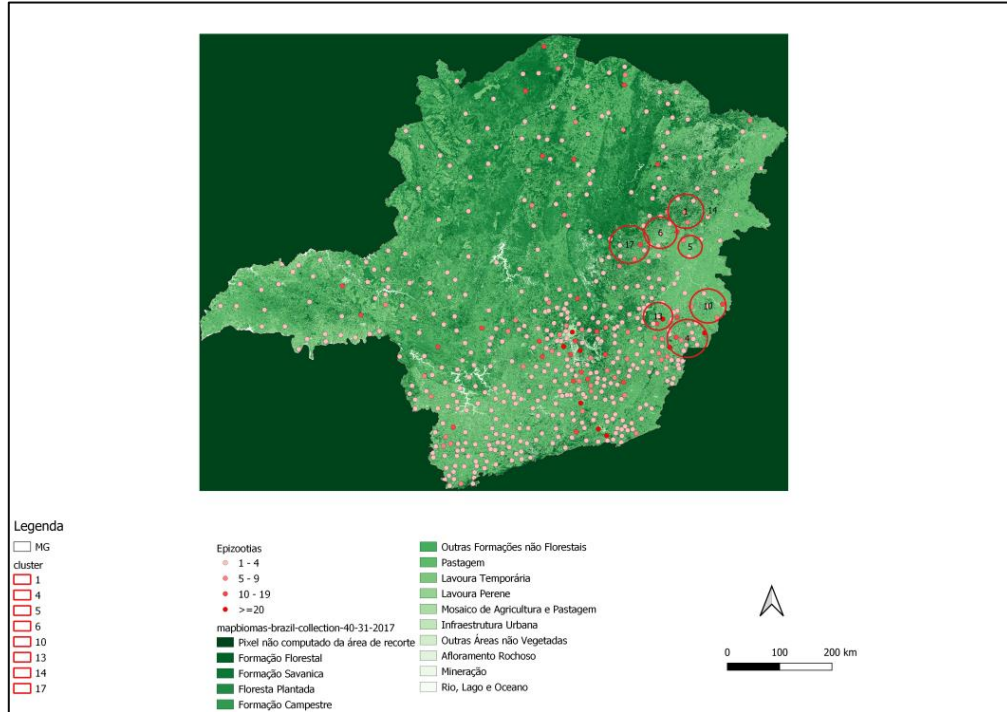
Considerando a área de pastagem, juntamente com o mosaico de agricultura e pastagem e a presença de cultura temporária, em 2017, representam um total de área 17.069,01Km<sup>2</sup>. Em 2018 a área de pastagem, mosaico de agricultura e pastagem, a presença de cultura de cana e cultura temporario representando 17.643,08Km<sup>2</sup> (Figura 22B e Tabela 5).

De acordo com a classificação do MapBiomas, a formação savânica dentro da classificação florestal, mas de acordo com Ribeiro et al. (1998) essa formação do cerrado brasileiro refere-se à área com árvores e arbustos espalhados sobre um estrato gramíneo, sem a formação do dossel contínuo, por esse motivo não estamos levando em consideração como área florestal.

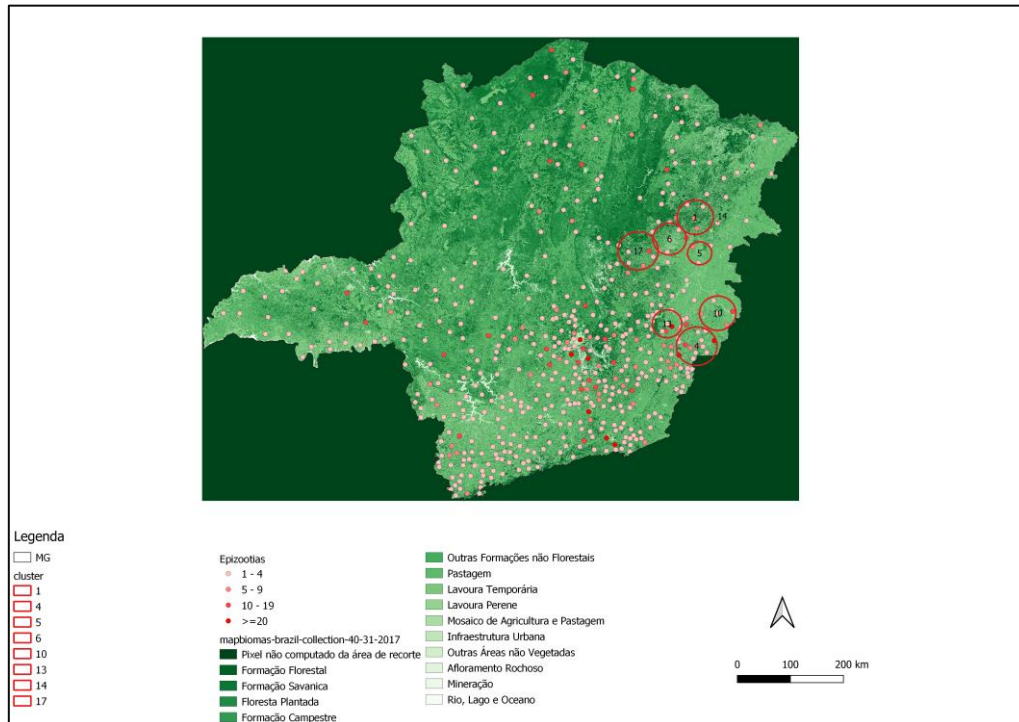
Como também pode ser observado na figura 22, nos *cluster* do estado apresentam baixos valores de epizootias, o que pode ser caracterizado pela baixa, mas com diversos pontos, já que a maioria dos *clusters* abrangem diversos municípios.

Figura 22. Mapa de *clusters* humanos, epizootias e uso e cobertura do solo em Minas Gerais. (A) 2017; (B)2018.

A)



B)



Fonte. própria.

Tabela 5. Uso e cobertura do solo e área em Km<sup>2</sup> em MG.

2017		2018	
Nomenclatura	Km <sup>2</sup>	Nomenclatura	Km <sup>2</sup>
Mineração	0,071	Cana	0,33
Outra Formação Natural não Florestal	0,162	Mineração	4,16
Lavoura Temporária	1,556	Formação Campestre	43,3
Outra Área não Vegetada	26,758	Lavoura Temporária	43,62
Formação Campestre	71,615	Rio, Lago e Oceano	73,46
Rio, Lago e Oceano	80,765	Outra Área não Vegetada	101,66
Infraestrutura Urbana	88,659	Formação Savânica	125,18
Afloramento Rochoso	134,948	Afloramento Rochoso	409,08
Formação Savânica	153,874	Infraestrutura Urbana	415,35
Floresta Plantada	876,495	Floresta Plantada	1.471,98
Mosaico de Agricultura e Pastagem	5.745,018	Mosaico de Agricultura e Pastagem	4.344,40
Formação Florestal	6.664,103	Formação Florestal	7.880,07
Pastagem	11.322,436	Pastagem	13.254,73

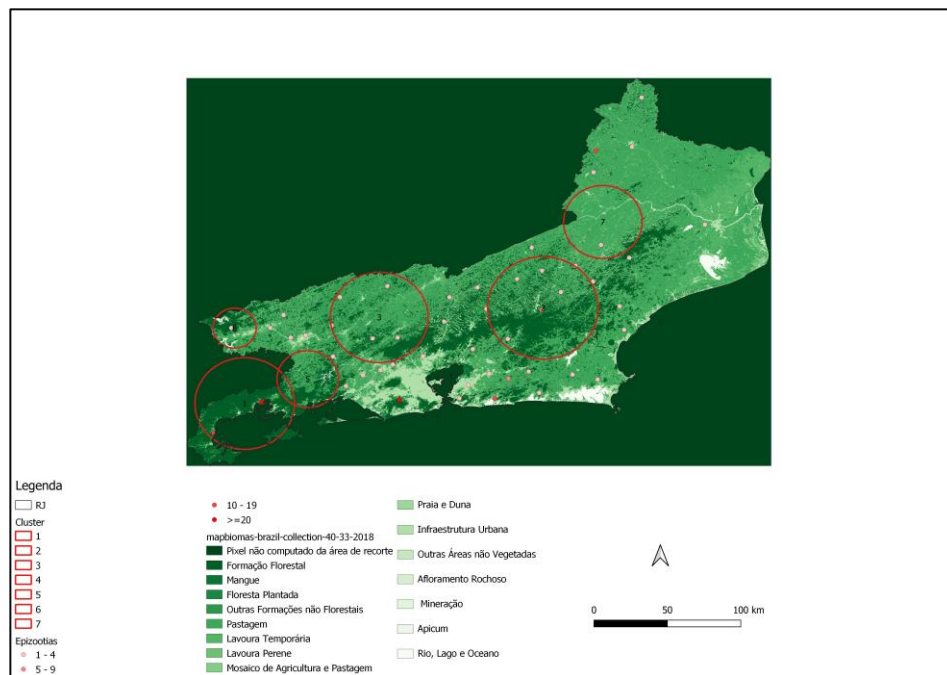
Fonte. própria.

O estado do RJ possui um agrupamento no ano de 2017, mas como já explicado na metodologia, esse agrupamento possui apenas um município e seus dados referentes a área interna do seu centroide, por este motivo ele foi adicionado ao ano de 2018. O ano de 2018 apresentou seis agrupamentos (Figura 23), além do de 2017 formando um total de oito *clusters*, o conjunto de *clusters* apresentou 15 classificações (Tabela 6), sendo a maior área a pixel não computado da área de recorte. As áreas de formação florestal representam 5.702,28Km<sup>2</sup>, tendo a formação floresta representando 5.664,17Km<sup>2</sup>, e floresta plantada com 33,42Km<sup>2</sup> e mangue 4,69Km<sup>2</sup>, mas a área de pastagem representa um valor maior do que a área florestal, representando 5.764,17Km<sup>2</sup>, essa área juntamente com o mosaico de agricultura e pastagem e cultura temporário representam um total de área 7.404,34Km<sup>2</sup>.

Como também pode ser observado na figura 23, no *cluster* RJ1 encontram-se os maiores registros de epizootias do estado, enquanto os outros *clusters* apresentam baixos valores de epizootias.



Figura 23. Mapa de *clusters* humanos, epizootias e uso e cobertura do solo no Rio de Janeiro no ano de 2018.



Fonte. própria.

Tabela 6. Uso e cobertura do solo e área em Km<sup>2</sup> no RJ.

2018		
Código	Nomenclatura	Km <sup>2</sup>
30	Mineração	0,035
32	Apicum	0,064
23	Praia e Duna	0,354
13	Outra Formação Natural não Florestal	0,757
19	Lavoura Temporária	3,78
5	Mangue	4,693
25	Outra Área não Vegetada	10,322
9	Floresta Plantada	33,419
29	Afloramento Rochoso	53,816
33	Rio, Lago e Oceano	80,769
24	Infraestrutura Urbana	156,728
21	Mosaico de Agricultura e Pastagem	1.635,986
3	Formação Florestal	5.664,172
15	Pastagem	5.764,576
0	Pixel não computado da área de recorte	47.403,614

Fonte. própria.

O estado de SP possui dois agrupamentos (Figura 24A) no ano de 2017, o conjunto de clusters apresentou 12 classificações (Tabela 7), sendo a maior área a pixel não computado da área de recorte. As áreas de formação florestal representam 376,33Km<sup>2</sup>, tendo a formação floresta representando 290,48Km<sup>2</sup> e floresta plantada com 85,84Km<sup>2</sup>, mas a área de pastagem representa um valor maior do que a área florestal, representando 752,35Km<sup>2</sup>.

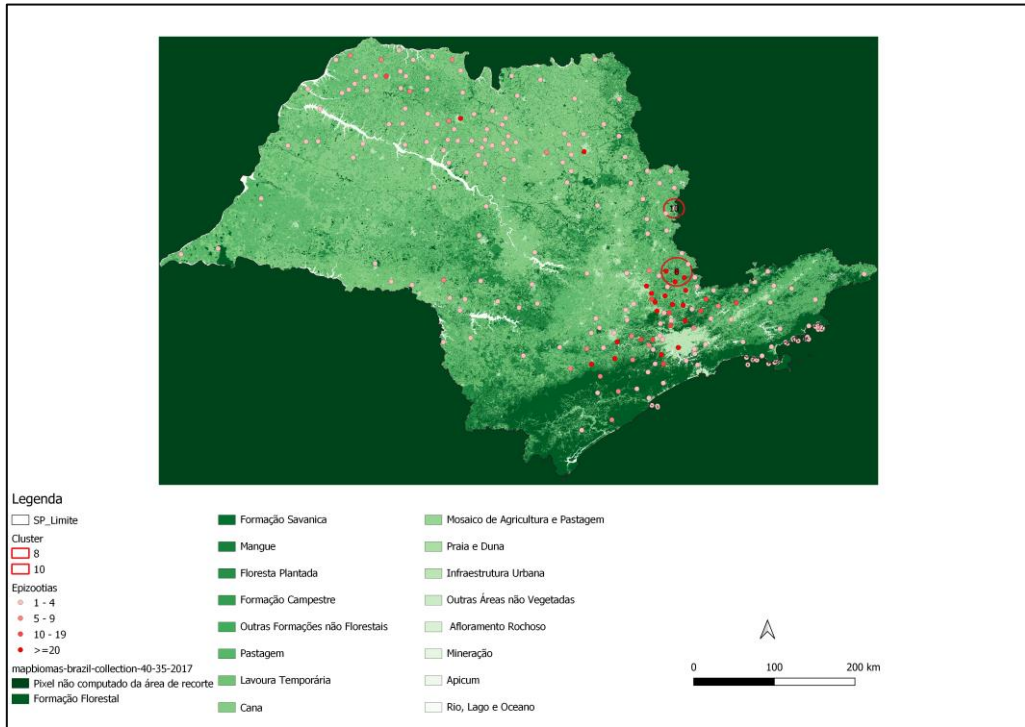
No ano de 2018 (Figura 24B), possui oito agrupamentos e apresentou 15 classificações, sendo a maior área a pixel não computado da área de recorte. Em relação as áreas de formação florestal representam 6.342,60Km<sup>2</sup>, tendo a formação floresta representando 5.942,99Km<sup>2</sup>, floresta plantada com 386,15Km<sup>2</sup> e mangue 13,45Km<sup>2</sup>, esse conjunto de dados é o único que apresenta a área formação florestal maior do que a área de pastagem em toda região sudeste.

Em relação a área de pastagem, essa área juntamente com o mosaico de agricultura e pastagem, a presença de cultura temporária e cultura de cana, em 2017, representam um total de área 1.151,77Km<sup>2</sup>. Em 2018 a área de pastagem, mosaico de agricultura e pastagem, a presença de cultura de cana e cultura temporária representando 4.551,95Km<sup>2</sup>, sendo um dado menor que a área de formação florestal e do total de área florestada (Figura 24 e Tabela 7).

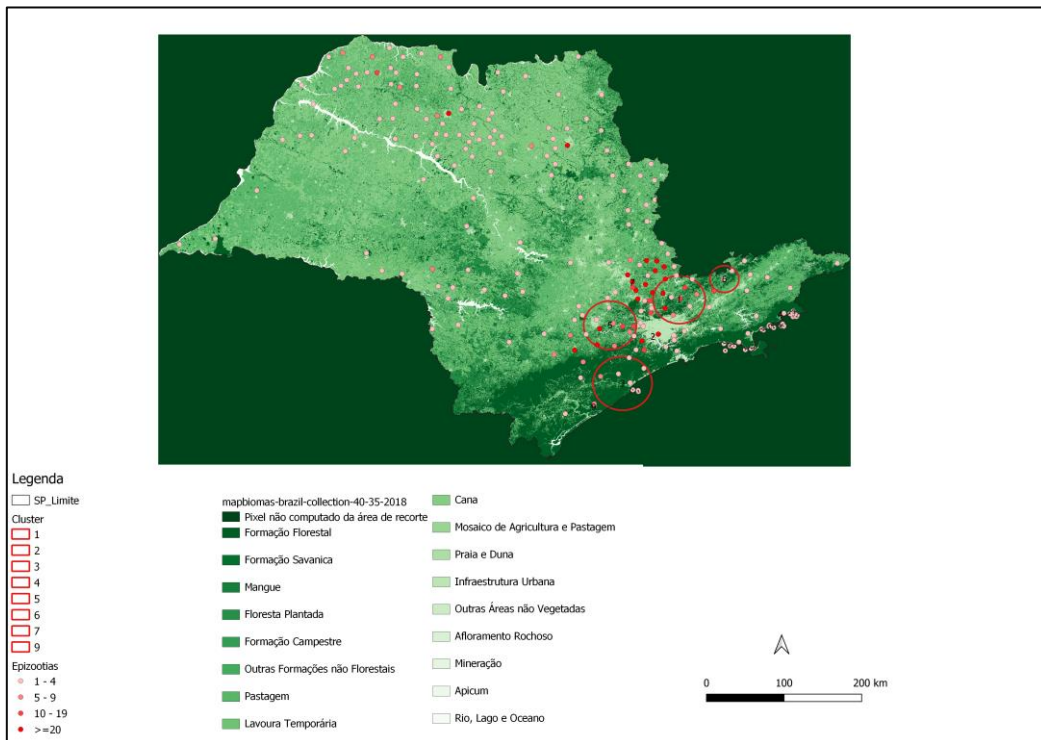
Como também pode ser observado na figura 24, no *cluster* SP10 encontram-se os maiores registros de epizootias do estado, o *cluster* SP7 que se encontra próximo ao SP10, apresenta elevado número de epizootias. Vale ressaltar o cinturão feito pelos *clusters* SP1, SP2, SP3, SP5, SP6 e SP7, como pode ser observado no mapa apresentam maior concentração de epizootias.

Figura 24. Mapa de *clusters* humanos, epizootias e uso e cobertura do solo em São Paulo.  
(A) 2017; (B)2018.

A)



B)



Fonte. própria.

Tabela 7. Uso e cobertura do solo e área em Km<sup>2</sup> no SP.

2017		2018	
Nomenclatura	Km <sup>2</sup>	Nomenclatura	Km <sup>2</sup>
Mineração	0,14191	Outra Formação Natural não Florestal	0,62
Afloramento Rochoso	0,54500	Praia e Duna	0,703
Outra Área não Vegetada	1,69941	Mineração	2,547
Rio, Lago e Oceano	2,36868	Afloramento Rochoso	5,550
Cana	6,51013	Mangue	13,454
Lavoura Temporária	38,39196	Outra Área não Vegetada	21,530
Infraestrutura Urbana	41,75111	Cana	33,070
Floresta Plantada	85,84192	Rio, Lago e Oceano	151,645
Formação Florestal	290,48407	Lavoura Temporária	176,613
Mosaico de Agricultura e Pastagem	354,51932	Floresta Plantada	386,15
Pastagem	752,351	Infraestrutura Urbana	817,910
		Mosaico de Agricultura e Pastagem	1.777,01
		Pastagem	2.565,26
		Formação Florestal	5.942,99

Fonte. própria.

Na figura 25A pode-se perceber o comportamento da temperatura em um período de 20 anos - 1996 a 2015 - e a temperatura no processo epidêmico-epizoótico de 2016-2018, e o comportamento da precipitação nesses mesmos períodos. É possível perceber a curva gerada pelas estações do ano, onde os meses mais quentes foram os da estação verão e os mais frios no inverno, com as estações de transição - primavera e outono - fazendo a transição da elevação e queda da curva, para os dados de temperatura e precipitação de um modo geral.

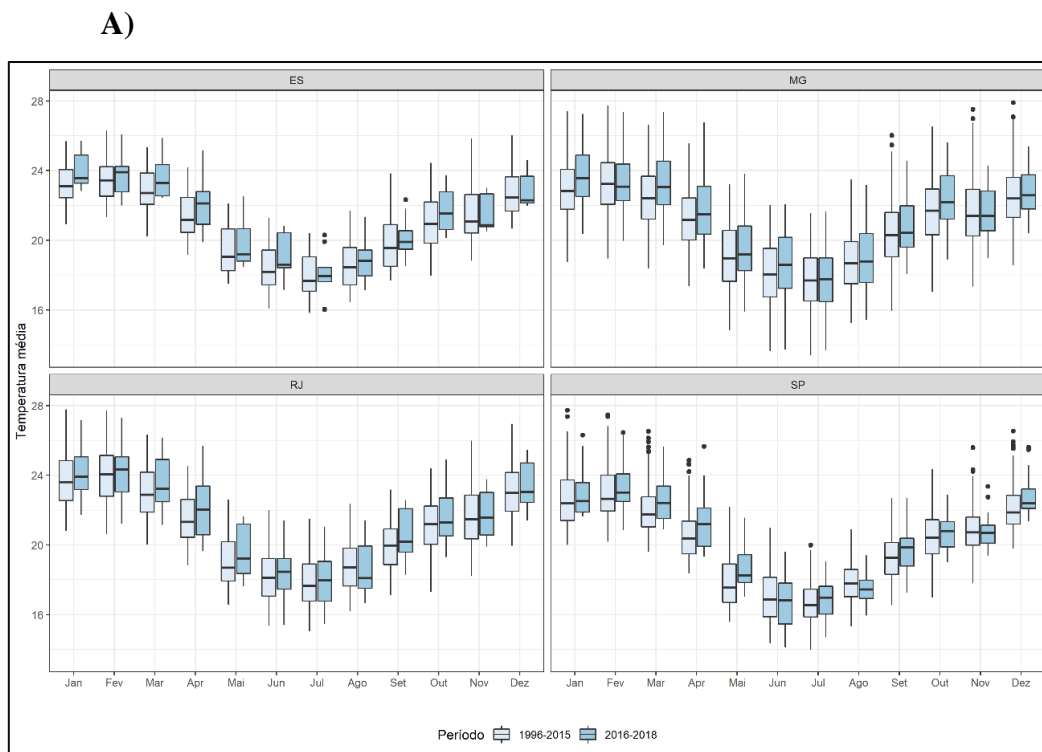
No conjunto de dados, o mês de janeiro apresentou temperaturas médias maiores no período epidêmico-epizoótico em todos, exceto SP que nesse mês a temperatura foi menor que no período de 20 anos. No mês fevereiro o P75 se encontra no mesmo nível de ambos os períodos de análise em todos os estados da região.

Em MG no mês de julho, a temperatura foi igual em ambos os períodos; no ES julho, agosto e setembro as temperaturas do período de 20 anos foram maiores e no mês de novembro, o P75 esteve no mesmo nível; no RJ no mês de junho, o P75 ficou no mesmo nível, nos outros meses o período epidêmico-epizoótico possui a maior temperatura; SP os meses de agosto e novembro seguem a mesma tendência do mês de janeiro, ou seja, menores no período epidêmico-epizoótico do que nos 20 anos climatológicos.

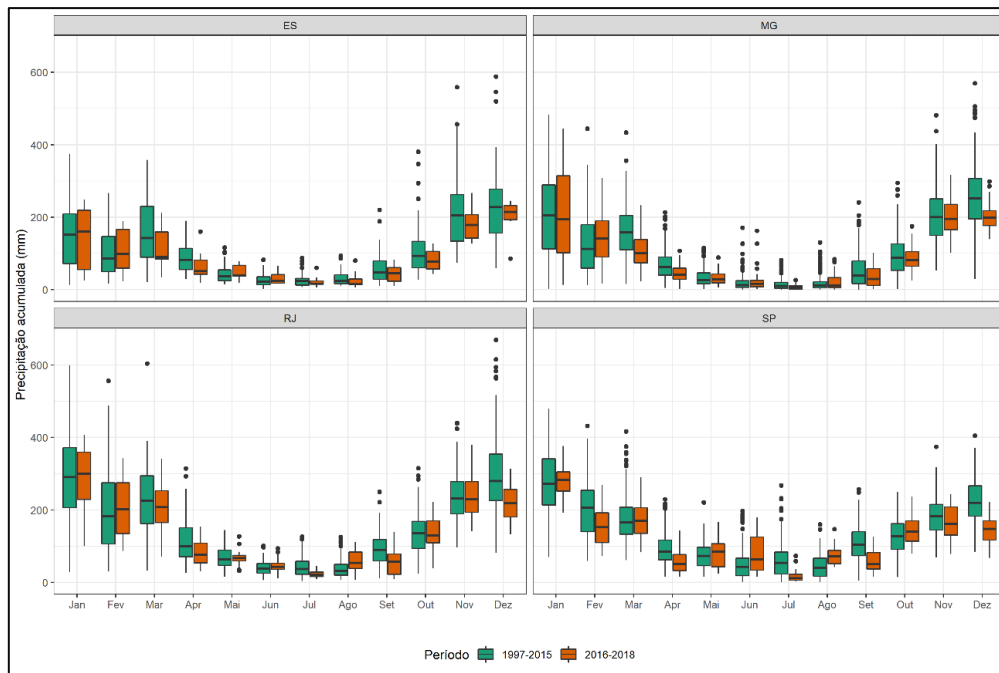
Ao observar os dados de precipitação, figura 25B, em sua maioria os dados de 20 anos foram maiores que o período epidêmico-epizoótico, mas vale ressaltar que janeiro no ES e em MG, os dados de precipitação do período de 20 anos foram menores que os do período epidêmicos-epizoótico. O mesmo ocorre com o estado de SP nos meses de maio e junho.

Esses dados ajudam a compreender o que foi verificado no *heatmap* de casos humanos e as epizootias, onde a maior concentração ocorreu nos períodos mais quentes e chuvosos, como foi o caso do mês de janeiro, e os outros meses de verão. Os casos humanos tendem a continuar ocorrendo nos meses de abril e maio que são estações de transição para o inverno e se caracterizam com temperaturas amenas e baixa pluviosidade, reduzindo a ocorrência de casos humanos e epizootias, representando a diminuição da reprodução dos vetores.

Figura 25. Temperatura média e precipitação durante o processo epidêmico-epizoótico (2016-2018) e no período de 20 anos (1996-2015) nos estados da Região Sudeste. A) temperatura média e B) precipitação.



## B)



Fonte. própria.

Ao observar a série histórica climática dos *clusters* do estado do ES (Figura 26 e 27), percebe-se que o *cluster* ES2 possui a maior média de temperatura do período, enquanto os *clusters* ES1 e ES3 possuem semelhanças nas medidas de temperatura. Ao levarmos em conta o risco relativo, o *cluster* ES1 apresenta-se com o maior risco e possui a segunda maior série histórica de temperatura. Com relação a precipitação, o *cluster* ES1 apresenta as maiores médias de precipitação, ES2 que teve a maior temperatura possui a menor média de precipitação no período, compreende-se que os eventos nos *clusters* do ES foram inversamente proporcionais, ou seja, maior média de temperatura menor média de precipitação e vice-versa.

No ano de 2016, o estado começou a apresentar epizootias (5) em dezembro, onde as temperaturas nos *clusters* ficaram 22,5°C (ES1), 24,59°C (ES2) e 22,30°C (ES3), em contrapartida a precipitação ficou com média acima de 200mm nos *clusters* ES1 e ES3, enquanto no ES2 a média foi de 85,38mm.

Ao levar em consideração o ano de 2017, no qual o estado apresenta o maior número de casos (249) e epizootias (962), o mês de janeiro apresentou os maiores números de casos (70) e epizootias (533). Esse mês também foi o que apresentou maiores médias de temperatura nos *clusters* (ES 23,58°C; ES2 25,72°C; ES3 23,94°C), mas baixa concentração

de precipitação (ES 55,28mm; ES2 25,43 mm; ES3 43,92 mm), o baixo volume de precipitação pode estar relacionado ao evento de *El Niño*<sup>11</sup> que perdurou de 2014 (SON<sup>12</sup>) até 2016 (MAM<sup>13</sup>), de acordo com o monitoramento do NOAA<sup>14</sup> (Center [s.d.]), que tem reflexos na região Sudeste no aumento das temperaturas médias (LUCENA et al. 2020).

No ano de 2018, o estado apresenta três casos e dezesseis epizootias, os casos se concentraram no mês de janeiro. As epizootias nos meses foram: janeiro (12), fevereiro (1) e março (3). Ao observar os dados climáticos a temperatura varia entre 22 e 25°C nos *clusters* nesses três meses, enquanto a média de precipitação encontra-se variando entre 150 e 215mm, com exceção do mês de janeiro no ES2 que a média é de 95,10mm (Figura 26 e 27).

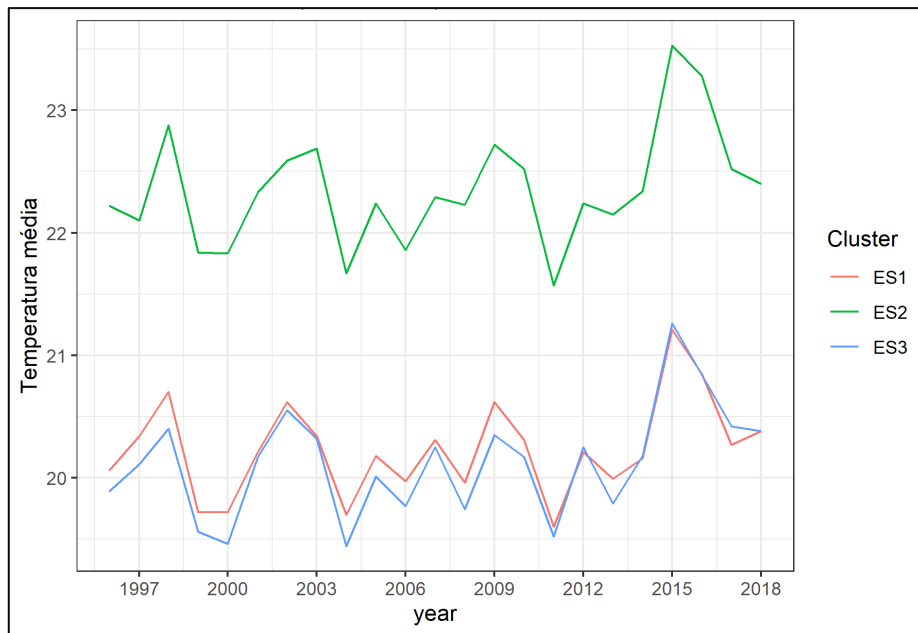
---

<sup>11</sup> De acordo com o NOAA para a classificação de um episódio de *El Niño* (maior ou igual a +0,5°C) ou *La Niña* (maior ou igual a -0,5°C) os limites devem ser por um período de cinco temporadas consecutivas de 3 meses sobrepostos (exemplificados nas notas 6 e 7)

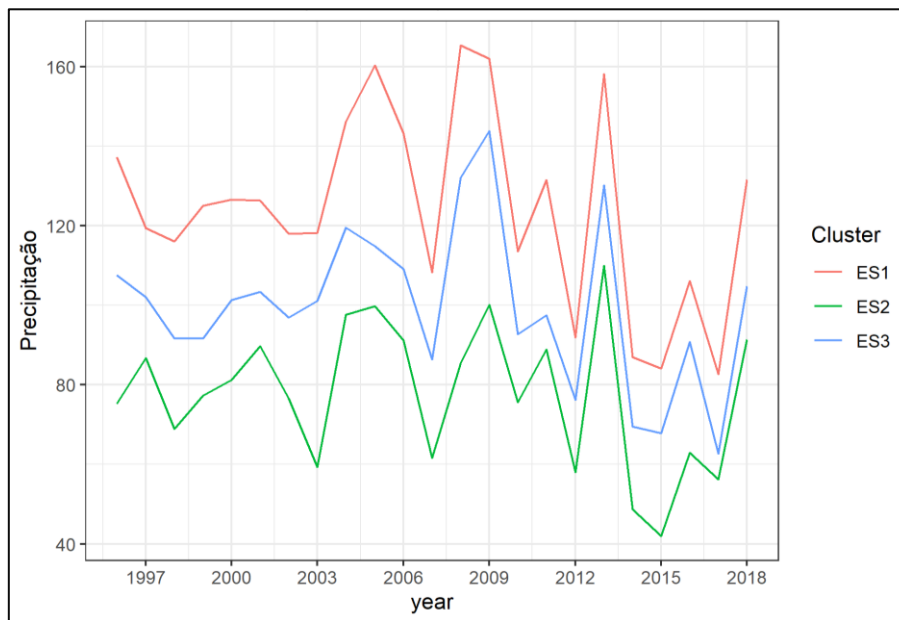
<sup>12</sup> SON – Setembro, Outubro, Novembro

<sup>13</sup> MAM – Março, Abril, Maio

<sup>14</sup> NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration.

Figura 26. Gráfico de temperatura nos *clusters* do ES de 1996 a 2018

Fonte. própria.

Figura 27. Gráfico de precipitação nos *clusters* do ES de 1996 a 2018

Fonte. própria.



No estado de MG, como já apresentado possui 17 *clusters*, por esse motivo os dados foram dividido em figuras 28A e 28B para temperatura e 29A e 29B para precipitação, respeitando os *clusters* existentes no ano de 2017 e 2018 para melhor compreensão dos dados.

Na figura 28A, pode-se perceber que o *cluster* MG5 possui a maior média de temperatura do período, tendo proximidade de média de temperatura com o *cluster* MG10, enquanto o *cluster* MG4 possuem uma média de temperatura mais amena. Já no segundo (referente aos *clusters* encontrados em 2018), pode-se perceber que o *cluster* MG16 possui a maior média de temperatura do período, tendo proximidade de média de temperatura com os *clusters* MG7, enquanto o *cluster* MG12 possuem uma média de temperatura mais amena (Figura 28A).

Com relação a precipitação, a figura 29A pode-se perceber que o *cluster* MG17 possui a maior média de precipitação do período, tendo proximidade de média de precipitação com os *clusters* MG5, MG6 e MG14, enquanto o *cluster* MG4 possuem uma média de precipitação mais baixa. Na figura 27B, pode-se perceber que *clusters* como MG2, MG12 e MG15 uma possui uma variação ao longo dos anos maior média de precipitação do período, enquanto o *cluster* MG9 possuem uma média de precipitação mais baixa.

Ao levarmos em conta o risco relativo, no ano de 2017 o *cluster* MG1 tem maior risco e possui a sexta maior série histórica de temperatura e a quinta de precipitação, enquanto no ano de 2018 o *cluster* MG9 maior risco, destacando-se que apresenta apenas um município, e possui a sétima maior série histórica de temperatura e a oitava de precipitação.

No ano de 2016, o estado começou a apresentar casos (41) em dezembro, e epizootias (261) ao longo dos meses de janeiro até junho com um total de 91 PNH infectados e em dezembro o número de epizootias chega a 170. Nesse período as temperaturas médias nos quatro primeiros meses do ano ficam na variação dos 20,72°C até 26,76°C nos *clusters* do estado, com relação a precipitação janeiro foi um mês de chuvas onde as médias de precipitação ultrapassam os 300mm (com exceção do MG3, MG7, MG9 e MG11 que ficaram acima de 200mm, mas não ultrapassam o valor de 300mm); a temperatura nos mesmos nos meses de maio e junho diminuem variando entre 13,73°C até 23,83°C, caracterizando o período do outono-inverno, onde também existe a redução da precipitação<sup>15</sup>, no qual poucos

---

<sup>15</sup> período de seca de até 6 meses no cerrado brasileiro que ocorre entre os meses de março até agosto, a partir de setembro até fevereiro se considera o período de chuva no cerrado.

casos ultrapassam os valores de 100mm (em março os *clusters* MG1, MG2, MG7, MG 12, MG13, MG14, MG15 e MG17 ultrapassaram esse valor); em dezembro a temperatura fica acima dos 20°C, mas não ultrapassa os 25°C nos *clusters*, assim como a precipitação aumenta, na qual ultrapassa os 100mm em todos os *clusters*. Lembrando que parte do ano de 2016 esteve sob a influência do *El Niño*.

Ao levar em consideração o ano de 2017, no qual o estado apresenta 422 casos e o maior número de epizootias (1878), o mês de janeiro apresentou os maiores números de casos (360), enquanto os outros casos ficaram distribuídos nos meses de fevereiro (35), março (9), abril (4), junho (2) e dezembro (12). Com relação a epizootias elas ocorreram ao longo de todos os meses do ano, sendo nos meses de chuva os maiores números de PNH contaminados (1436) e no período de menor intensidade de chuva e seca foram 442 PNH contaminados. O comportamento da temperatura se mostra similar ao ano anterior onde a menor temperatura foi de 13,67°C, no inverno (as médias não ultrapassam os de 24,3°C), e a maior 27,24°C, no verão (sempre mantendo as médias acima de 20°C). Com relação a precipitação o mês de janeiro pode ser considerado atípico, pois a precipitação não ultrapassa os 200mm em 15 *clusters* (MG14 – 244,26 – e MG17 – 279,73 -), no mês de fevereiro 12 *clusters* possuem média de precipitação acima de 100mm, a parti do mês de março até outubro a precipitação não ultrapassa os 100mm, com exceção do MG17 que ultrapassa em março e outubro esses valores de 100mm, a partir de novembro a média fica acima de 100mm (Figura 28 e 29).

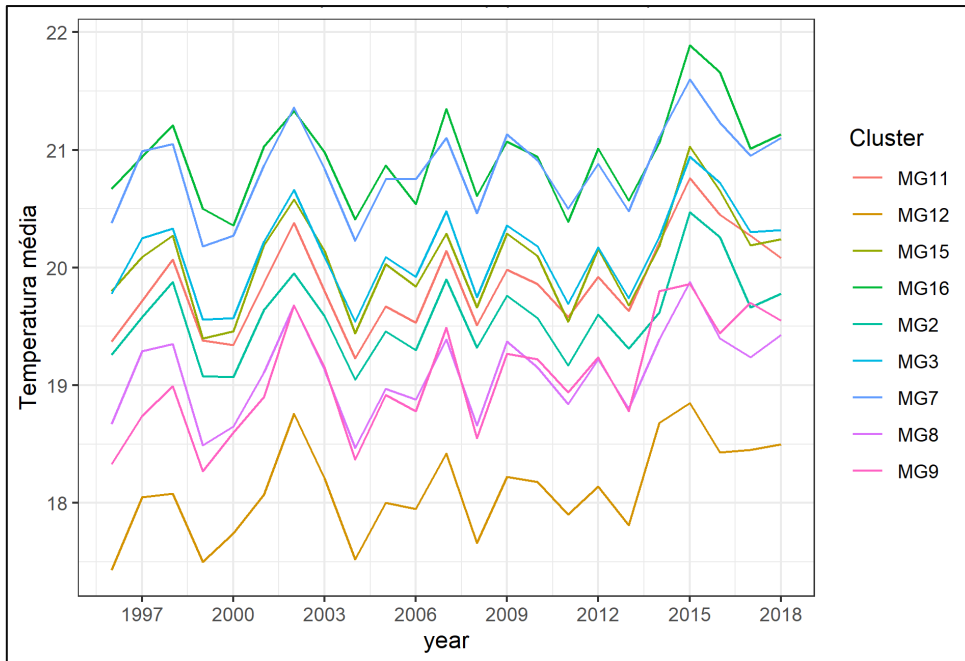
No ano de 2018, o estado apresenta número o maior número de casos (512) e 1016 epizootias, os casos se concentraram nos quatro primeiros meses do ano, enquanto as epizootias ocorrem nos três primeiros meses do ano. A temperatura média nos três primeiros meses fica acima dos 21,5°C em todos os *clusters*, enquanto em abril varia de 18°C até 22,5°C. Em relação a precipitação, a média de precipitação fica acima dos 100mm nos três primeiros meses do ano, na maioria dos *clusters*, em abril já é possível perceber a redução da precipitação, onde os *clusters* não ultrapassam 100mm (Figura 28 e 29).

Figura 28. Gráfico de temperatura nos *clusters* do MG de 1996 a 2018. A) *Cluster2017* e  
B) *Cluster2018*

A)



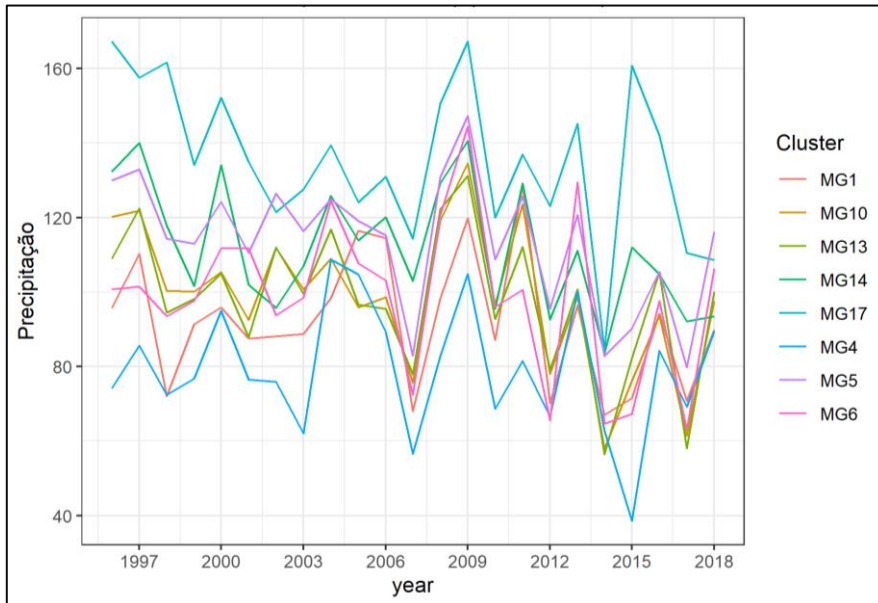
B)



Fonte. própria.

Figura 29. Gráfico de precipitação nos *clusters* do MG de 1996 a 2018. A) *Cluster2017* e B) *Cluster2018*.

A)



B)



Fonte. própria.

No estado do RJ, percebe-se que o *cluster* RJ4 possui a maior média de temperatura do período, tendo proximidade de média de temperatura com o *cluster* RJ7, enquanto o *cluster* RJ1 possuem uma média de temperatura mais amena. Com relação a precipitação, o *cluster* RJ6 possui a maior média, enquanto RJ7 possui a menor média. Assim como o anterior, o RJ4 também possui uma baixa média de precipitação, o que leva a se considerar que os valores de temperatura e precipitação são inversamente proporcionais, ou seja, maior média de temperatura menor média de precipitação e vice-versa (Figura 30 e 31).

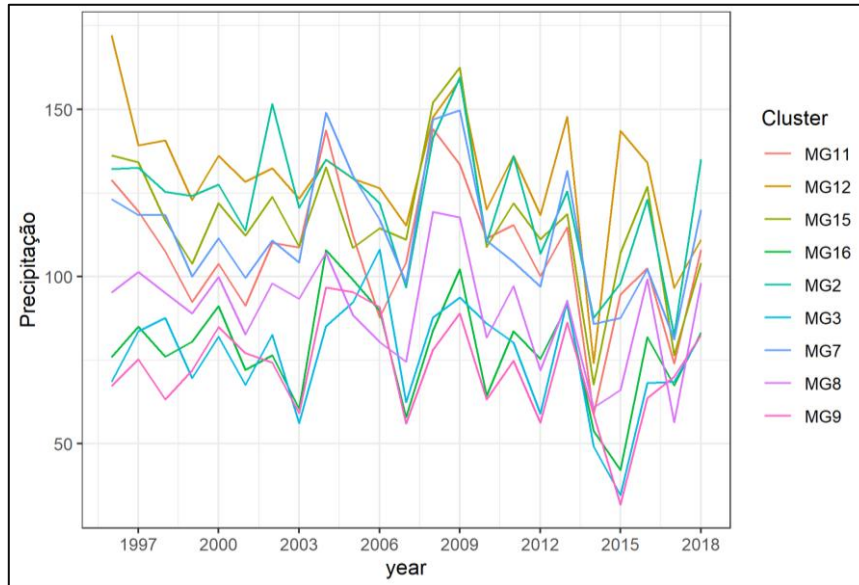
Ao levarmos em conta o risco relativo, no ano de 2017 o *cluster* RJ4 maior risco e possui a maior série histórica de temperatura, mas deve-se levar em consideração que o *cluster* apresenta apenas um município, ou seja, não possui outros municípios para interferir na média de temperatura; enquanto no ano de 2018 o *cluster* RJ1 maior risco, destacando-se que apresenta apenas um município, e possui a sétima maior série histórica de temperatura.

No ano de 2016, o não apresenta casos ou epizootias de FA. Ao observar o ano de 2017, no qual o estado apresenta o número de casos (28) e epizootias (137), os casos ocorrem nos meses de fevereiro até julho (26) e voltam a ser confirmados em dezembro novamente (2). Já as epizootias ocorrem durante todo o ano, com exceção do mês de setembro que não apresenta PNH contaminado. A média de temperatura não fica abaixo dos 20°C no período do verão, e no inverno a variação da média fica entre 15°C podendo chegar em 22°C. A precipitação fica acima dos 100mm em todos os *clusters* nos meses de janeiro, fevereiro e março, com exceção do RJ7 que se mantém abaixo de 100mm (86,8 e 71,64). Em abril começa a redução da precipitação em três *clusters*, mantendo a média abaixo de 100mm. Como característica local, no período do inverno a precipitação reduz podendo chegar em até dois meses de seca, o que resulta em alguns períodos valores abaixo de 50mm por mês. O aumento da precipitação ocorre em outubro, com a maioria dos *clusters* ultrapassando os 100mm de precipitação.

No ano de 2018, no qual o estado apresenta o maior número de casos (275) e epizootias (154). Os casos de FA ocorrem entre os meses de janeiro a junho, sendo que os dois primeiros meses concentram a maior parte, 98 e 115 respectivamente. Já em relação as epizootias de PNH, observa-se a ocorrência entre os meses de janeiro a abril. Ao observar os dados climáticos, a temperatura varia entre 17,78°C (no inverno) a 26,45°C (no verão) nos *clusters*, enquanto a média de precipitação encontra-se variando acima dos 200mm nos meses de janeiro, fevereiro e março, com exceção do RJ7 que fica com 145,97mm, 190,99mm e 165,48mm respectivamente. Em abril nota-se redução da precipitação, as

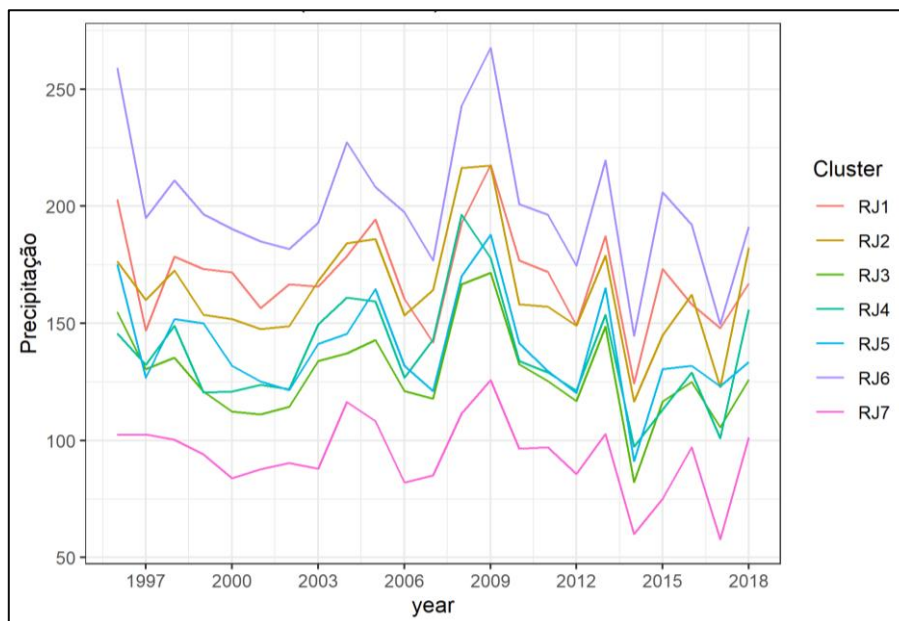
médias chegam no máximo a 154,2mm, em maio e junho e a precipitação não ultrapassa a marca de 80mm (Figura 30 e 31).

Figura 30. Gráfico de temperatura nos *clusters* do RJ de 1996 a 2018



Fonte. própria.

Figura 31. Gráfico de precipitação nos *clusters* do RJ de 1996 a 2018



Fonte. própria.

No estado do SP, percebe-se que o *cluster* SP9 possui a maior média de temperatura do período, tendo proximidade de média de temperatura com os *clusters* SP7, SP3 e SP4, enquanto o *cluster* SP2 possuem uma média de temperatura mais amena. Com relação a precipitação, o *cluster* SP4 possui a maior média, enquanto SP7 possui a menor média (Figura 32 e 33). Ao levarmos em conta o risco relativo, no ano de 2017 o *cluster* SP10 maior risco e possui a sexta maior série histórica de temperatura; enquanto no ano de 2018 o *cluster* SP4 maior risco, destacando-se que apresenta apenas um município, e possui a quarta maior série histórica de temperatura. Mas deve-se levar em consideração que o *cluster* SP9 apresenta apenas um município, ou seja, não possui outros municípios para interferir na média de temperatura.

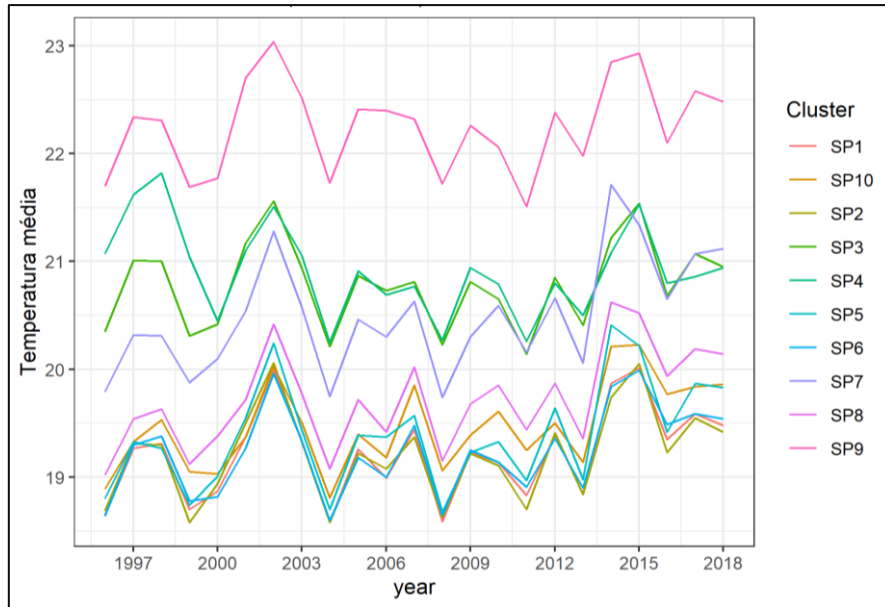
No ano de 2016, o estado começou a apresentar casos (3) em março (1) e dezembro (2), e epizootias (48) ao longo dos meses de janeiro até junho com um total de 12 primatas infectados e em dezembro o número de epizootias chega a 36. Neste período as temperaturas médias nos quatro primeiros meses do ano ficam na variação dos 21,18°C até 25,65°C nos *clusters* do estado, com relação a precipitação de janeiro a março os valores ficam acima de 150mm de precipitação, com exceção de SP9 que marca 95,5mm em março; a temperatura nos mesmos nos meses de maio a novembro reduz variando entre 15,88°C até 22,74°C, a redução da precipitação, ocorre a partir do mês de abril, o mês de junho os valores sobem para acima de 100mm em todos os *clusters*, observa-se também que alguns *clusters* apresentam valores acima de 100mm; em dezembro a temperatura fica acima dos 20°C, mas não ultrapassa os 25°C nos *clusters*, assim como a precipitação aumenta, na qual ultrapassa os 100mm em todos os *clusters*, a partir do mês de outubro. Lembrando que parte do ano de 2016 esteve sob influência do *El Niño*.

Ao levar em consideração o ano de 2017, no qual o estado apresenta 75 casos e o maior número de epizootias (1315). Os casos ocorrem nos meses de janeiro, março, abril, maio, setembro, outubro, novembro e dezembro; já as epizootias ocorrem em todos os meses do ano. Nesse período as temperaturas médias nos três primeiros meses do ano ficam na variação dos 20,90°C até 26,35°C nos *clusters* do estado, nos meses de abril a agosto a variação da temperatura fica entre 14,92°C até 22,87°C, a partir de setembro volta a ficar acima dos 20°C em todos os *clusters*. Com relação a precipitação o mês de janeiro a precipitação ultrapassa os 200mm nos *clusters*, no mês de fevereiro a precipitação fica acima de 100mm, com exceção dos SP5, SP7 e SP8 que ficam abaixo disso, a parti do mês de

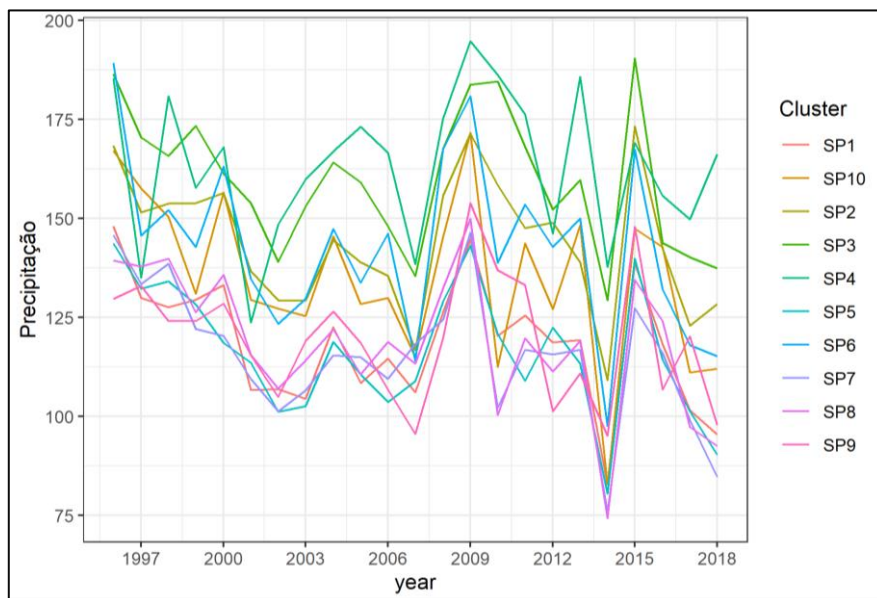
março todos ficam acima de 100mm, de abril até outubro a precipitação não ultrapassa os 100mm, com exceções, a partir de novembro a média fica acima de 100mm.

No ano de 2018, o estado apresenta número o maior número de casos da doença (493 casos) e 604 epizootias. Os casos se concentraram nos quatro primeiros meses do ano, além de ocorrerem em outubro e dezembro; enquanto as epizootias ocorrem nos quatros primeiros meses do ano e em dezembro. A temperatura média nos três primeiros meses fica acima dos 20,5°C em todos os *clusters*, enquanto em abril e outubro varia de 19°C até 22°C, em dezembro volta a ficar acima dos 22°C. Em relação a precipitação, a média de precipitação fica acima dos 100mm nos três primeiros meses do ano, na maioria dos *clusters*, em abril já é possível perceber a redução da precipitação, onde os *clusters* não ultrapassam 100mm, com exceção de SP3 e SP4, no mês de outubro a média fica acima de 100mm em todos e dezembro oscila entre 75mm a 130mm de precipitação (Figura 32 e 33)



Figura 32. Gráfico de temperatura nos *clusters* do SP de 1996 a 2018

Fonte. própria.

Figura 33. Gráfico de precipitação nos *clusters* do SP de 1996 a 2018

Fonte. própria.

Com os *clusters* de casos humanos em ranking de risco relativo (Tabela 8) para o período do processo epidêmico (2016-2018), foram organizadas as temperaturas médias, mínimas e máxima como pode ser observado nas figuras 34A, 34B e 34C. O ES2 (6°) possui a maior temperatura média em relação aos outros *clusters* do estado, incluindo o que tem maior risco ES1 (26°). Em MG, *cluster* o MG12 (13°) possui a menor média de temperatura e MG14 (4°), MG13 (8°), MG10 (14°) e MG5 (24°) possuem as maiores médias de temperatura. O *cluster* de maior RR do estado, MG9 (31°) possui um média de temperatura menor que a do MG1 (30°). No estado do RJ, o *cluster* RJ4 (34°) possui o maior RR e apresenta a maior média de temperatura, lembrando que este possui apenas um município em seu *cluster*. O RJ7 (11°) apresenta a segunda maior média de temperatura e o RJ1 (29°) possui a temperatura mais amena. Em SP, o *cluster* SP9 (32°) possui a maior média de temperatura, seguido pelo SP3 (28°) e SP4 (37°) - que tem o maior RR e foi composto apenas por um município -, SP5 (12°) possui a temperatura mais amena.

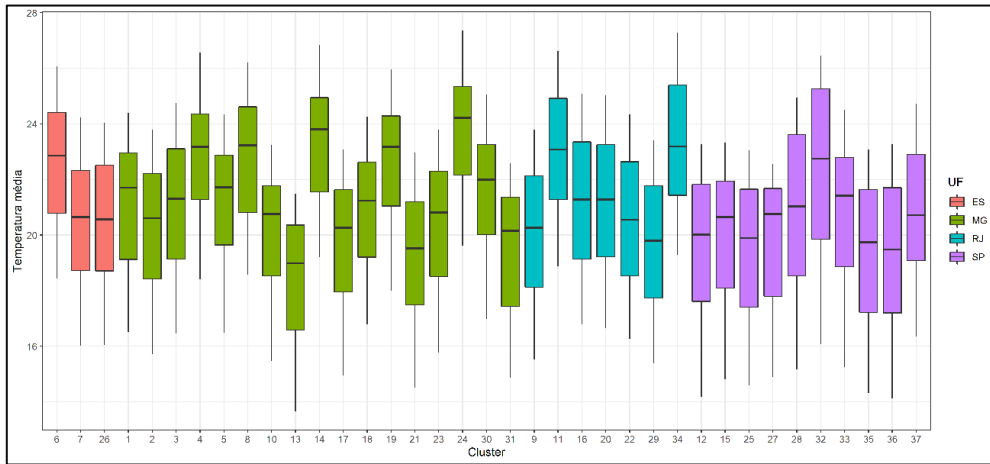
Tabela 8. classificação dos *clusters* de casos humanos de acordo com o seu RR (*ranking*) do processo epidêmico (2016-2018).

<i>Cluster</i>	<b>RR</b>	<b>Ranking</b>
<b>MG16</b>	4,56	1
<b>MG15</b>	6,26	2
<b>MG7</b>	6,29	3
<b>MG14</b>	7,44	4
<b>MG17</b>	7,59	5
<b>ES2</b>	9,85	6
<b>ES3</b>	9,92	7
<b>MG13</b>	9,95	8
<b>RJ6</b>	10,68	9
<b>MG11</b>	11,47	10
<b>RJ7</b>	12,07	11
<b>SP5</b>	13,71	12
<b>MG12</b>	15,79	13
<b>MG10</b>	15,98	14
<b>SP8</b>	17,38	15
<b>RJ5</b>	19	16
<b>MG2</b>	22,23	17
<b>MG4</b>	24,73	18
<b>MG6</b>	26,98	19
<b>RJ3</b>	32,03	20
<b>MG8</b>	32,64	21
<b>RJ2</b>	33,74	22
<b>MG3</b>	39,14	23
<b>MG5</b>	40,25	24
<b>SP6</b>	40,37	25
<b>ES1</b>	61,14	26
<b>SP10</b>	65,7	27
<b>SP3</b>	68,07	28
<b>RJ1</b>	68,46	29
<b>MG1</b>	99,92	30
<b>MG9</b>	111,65	31
<b>SP9</b>	126,96	32
<b>SP7</b>	129,29	33
<b>RJ4</b>	164,21	34
<b>SP1</b>	172,31	35
<b>SP2</b>	221,77	36
<b>SP4</b>	431,64	37

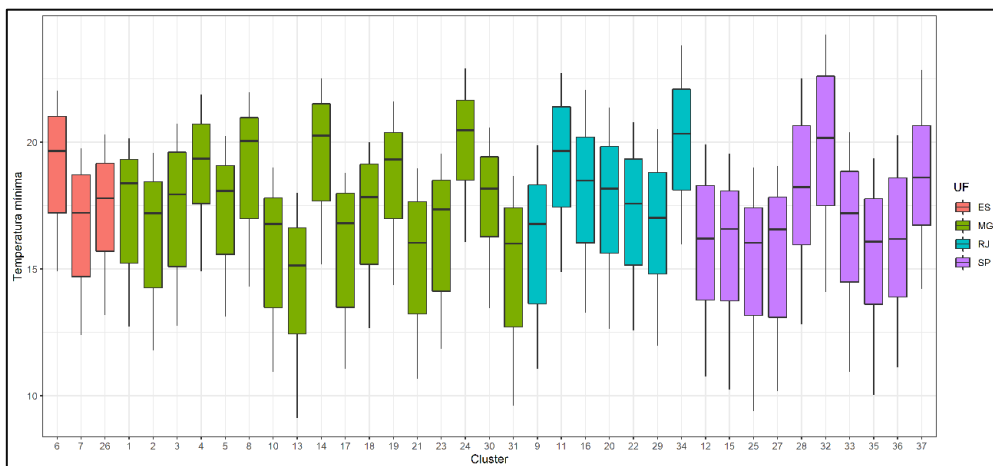
Fonte. própria.

Figura 34. Temperatura nos *clusters* durante o processo epidêmico-epizootico pelo *ranking* de RR: A) temperatura média, B) temperatura mínima e C) temperatura máxima.

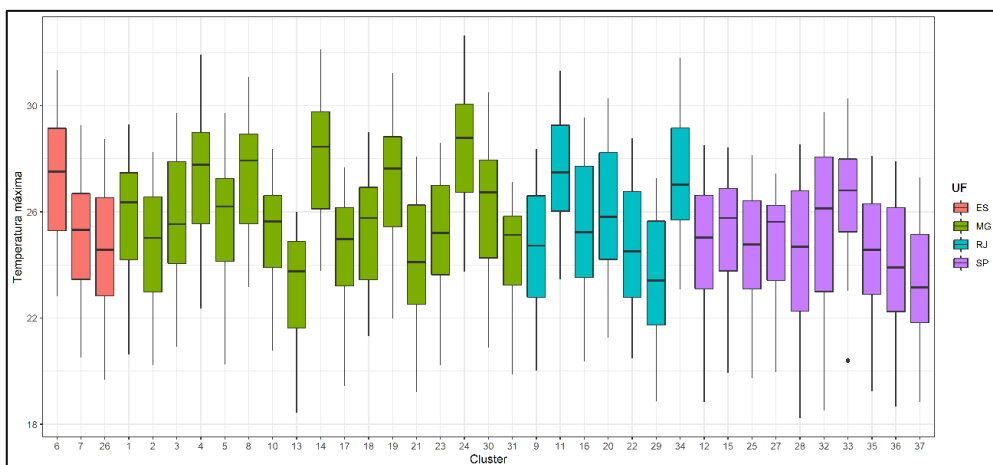
A)



B)



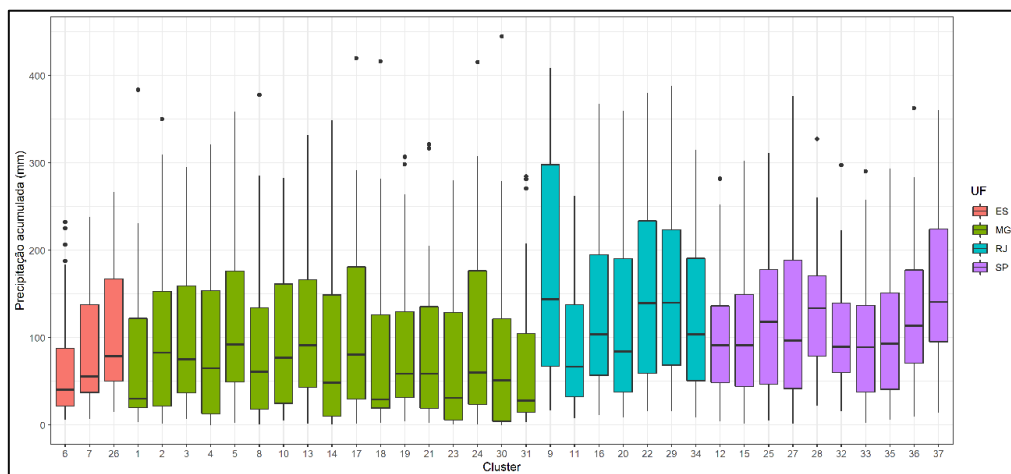
C)



Fonte. própria.

Na figura 35 apresenta-se o gráfico de precipitação organizado de acordo com o *ranking* de RR em cada estado. O ES1 (26°) possui o maior dado de precipitação em relação aos outros *clusters* do estado, sendo este o de maior risco. No estado de MG, a maioria dos dados de precipitação encontram-se abaixo de 100mm, no P25 e o P50 (mediana), pois o ciclo de chuva foi bem característico do bioma Cerrado, onde há durante seis meses de seca - baixo valor de precipitação -, com isso foi possível perceber que em diversos *cluster* tem *outlier* que acontecem nos períodos de chuva, ou na estação do verão. No estado do RJ, o *cluster* RJ6 (9°) destaca-se por apresentar o maior padrão de precipitação no estado do RJ. O RJ1 (22°), teve o segundo maior padrão de precipitação. Vale ressaltar que ambos se encontram no Sul Fluminense. Já em SP, os *clusters* que se destacaram foram SP4 (37°), que tem o maior RR e foi composto apenas por um município, e possui proximidade com o RJ1 e estando sob influência de uma área de preservação ambiental (Bocaina). Outro que se destaca é o SP10 (27°) que possui o segundo maior valor de precipitação e se encontra próximo à divisa de MG.

Figura 35. Precipitação nos *clusters* durante o processo epidêmico-epizoótico pelo *ranking* de RR.



Fonte. própria.

Na figura 36 e figura 37 observa-se as correlações entre o risco relativo, as variáveis climáticas e o uso e cobertura do solo. O RR está correlacionado positivamente com precipitação ( $r=0,37$ ), lavoura temporária ( $r=0,33$ ) e agropecuária ( $r=0,50$ ). Em relação as correlações negativas notam-se que duas variáveis foram correlacionadas com o RR, a formação savânica ( $r= -0,32$ ) e área de pastagem ( $r= -0,19$ ). Essa condição pode estar

relacionada a menor precipitação, como pode ser observado na correlação entre precipitação e formação savânica ( $r = -0,49$ ).

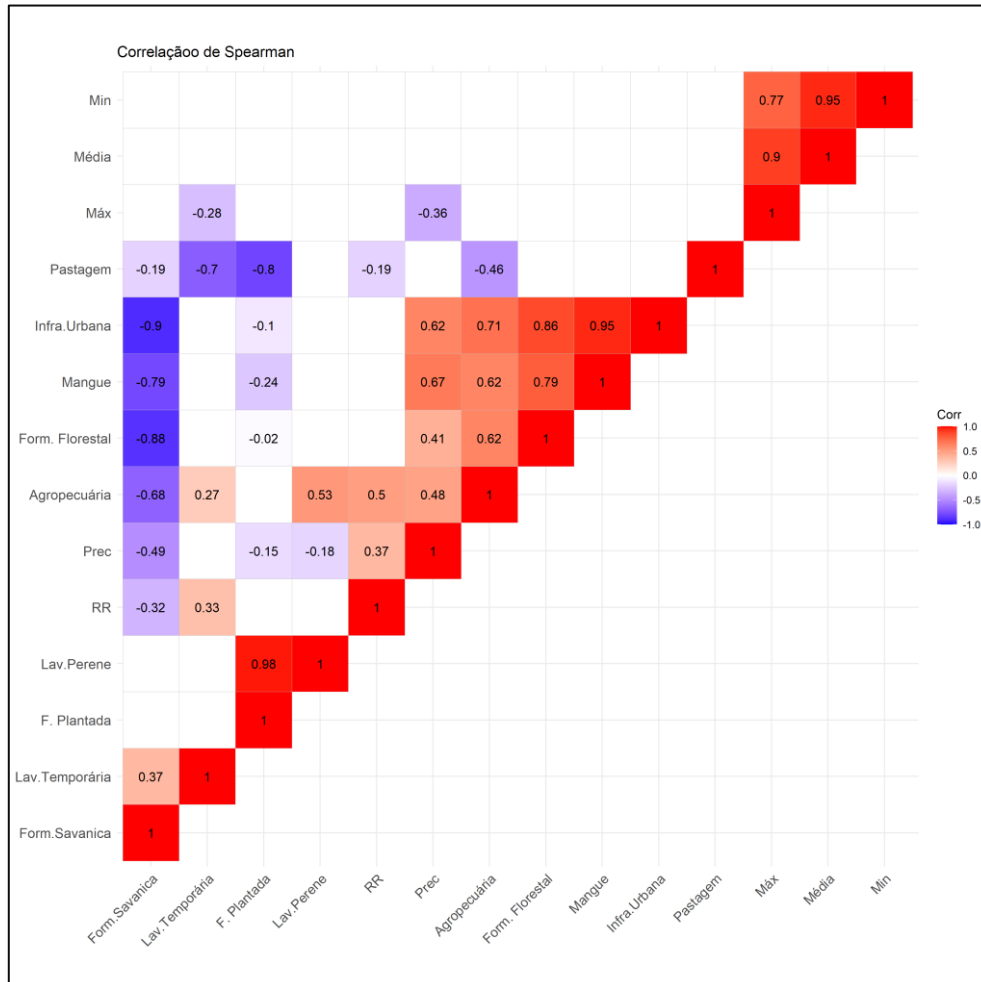
Figura 36. Matriz de Coeficiente de Correlação de *Spearman* entre RR, fatores climáticos e uso e cobertura do solo nos *clusters* identificados nos estados da região Sudeste.

	RR	Temp. Média	Temp. Min.	Temp. Máx.	Precipitação	F. Plantada	Form. Florestal	Form. Savânica	Mangue	Lav. Perene	Lav. Temporária	Agropecuária	Pastagem	Infra. Urbana
RR	1.00													
Temp. Média	-0.12	1.00												
Temp. Min.	0.03	0.95***	1.00											
Temp. Máx.	-0.27	0.90***	0.77***	1.00										
Precipitação	0.37**	-0.11	0.02	-0.36**	1.00									
F. Plantada	0.24	-0.15	-0.12	-0.15	-0.15***	1.00								
Form. Florestal	0.20	0.08	0.20	0.01	0.41**	-0.02***	1.00							
Form. Savânica	-0.32**	-0.07	-0.20	0.03	-0.49***	0.04	-0.88***	1.00						
Mangue	0.40	0.02	0.16	-0.12	0.67***	-0.24***	0.79***	-0.79***	1.00					
Lav. Perene	0.19	-0.19	-0.16	-0.19	-0.18*	0.98**	-0.05	0.05*	-0.25	1.00				
Lav. Temporária	0.33***	-0.21	-0.22	-0.28**	0.12	0.43*	-0.35	0.37**	0.02	0.46	1.00			
Agropecuária	0.50**	-0.11	0.04	-0.25	0.48**	0.54	0.62***	-0.68***	0.62***	0.53**	0.27***	1.00		
Pastagem	-0.19**	0.15	0.17	0.16*	0.07	-0.80**	0.07	-0.19**	0.10	-0.79	-0.70***	-0.46***	1.00	
Infra. Urbana	0.37	0.02	0.16	-0.12	0.62***	-0.10***	0.86***	-0.90***	0.95***	-0.10	-0.11	0.71***	0.10	1.00

\*p-valor<0,10, \*\*p-valor<0,05; \*\*\*p-valor<0,001

Fonte. própria.

Figura 37. Matriz de Coeficiente de Correlação de *Spearman* estatisticamente significativa ( $p$ -valor $<0,05$ ) entre RR, fatores climáticos e uso e cobertura do solo nos *clusters* identificados nos estados da região Sudeste.



Fonte. própria.

## 7 – DISCUSSÃO

A febre amarela silvestre reemerge na região extra-Amazônica do Brasil, historicamente, na forma epizootica e epidêmica, causando surtos de magnitude, extensão e período variáveis que são imprevisíveis, especialmente em áreas mais suscetíveis (COSTA et al. 2011). Dois episódios de reemergência marcaram a circulação viral fora da área endêmica no século XX, um no período de 1934-1941 que atingiu as regiões Sudeste e Centro-Oeste e outro em 1951-1953 que atingiu a região Sudeste (Relatório Técnico de Pesquisa- TC 093/10-MS - impresso).

Nos últimos 20 anos, a maior recorrência dessas reemergências foram nos períodos de 1998-2003 na região Centro-Oeste; de 2007-2009 com maior concentração de casos nas regiões Centro-Oeste e Sul; de 2014-2018 onde a maioria dos registros de FA ocorreu na Bahia, em Minas Gerais, em São Paulo, no Paraná e no Rio Grande do Sul. Este último cenário caracterizou uma expansão recorrente da área de circulação viral no País, afetando áreas consideradas indenes, onde o vírus não era registrado há décadas<sup>16</sup>.

Esse contexto recente desafiou os serviços de saúde pública, principalmente pela proximidade do vírus aos grandes centros urbanos com elevadas densidades populacionais, infestados por *Aedes aegypti* e *Ae. albopictus* e que não registravam a circulação do vírus há décadas, conseqüentemente onde as populações humanas não estavam imunizadas. Assim, temos elementos importantes que promovem melhores oportunidades para o processo de reurbanização (CAVLCANTE & TAUILL, 2017) a doença como a interface das populações humanas com populações de primatas não humanos; presença de mosquitos silvestres e urbanos; alcance de coberturas vacinais adequadas, bem como a necessidade de priorizar as populações sob maior risco.

A sazonalidade marca o padrão temporal da FA, onde a maioria dos casos ocorre entre dezembro e maio, além disso, surtos ocorrem com periodicidade irregular, quando o vírus encontra condições favoráveis para a transmissão. Alguns aspectos podem ser observados como: temperatura e precipitação elevadas; alta densidade de vetores e hospedeiros primários; presença de indivíduos suscetíveis; mobilidade de pessoas em períodos virêmicos; baixas coberturas vacinais; e até mesmo novas linhagens do vírus. Este contexto

---

<sup>16</sup> (<https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-de-a-a-z-1/f/febre-amarela> -Publicado em 20/11/2020 15h34 Atualizado em 03/12/2020 16h58 - acesso em 31/03/2021).



proporciona a dispersão da doença para além dos limites da área endêmica, conforme observado nesse último processo epidêmico-epizootico (2016-2018) (BRASIL, 2017).

A dinâmica populacional e a presença de vetores e PNHs (ARDEN, 2003; KAUL et al, 2018) são considerados fatores para expansão da doença. Além disso, também se deve considerar os fatores climáticos e o uso e cobertura do solo como fatores para a ocorrência da FA, no qual é o objetivo deste trabalho. Paiva et al (2019) considera que a identificação de áreas com o risco de ocorrência de FAS em seres humanos possuem fatores correlacionados entre os quais, o uso e cobertura do solo, temperatura e precipitação (analisados neste estudo), altitude, existência de epizootias PNH, vetores, distância das áreas com presença humana das florestas.

No presente estudo considerou-se o processo endêmico-epidêmico de 2016-2018 da FA na região Sudeste, e sua relação com os fatores climáticos e o uso e cobertura do solo. Os *clusters* em 2017 concentraram-se em MG e ES e em 2018 a maioria dos casos humanos de FA manteve-se em Minas Gerais, seguindo um movimento para o sul atingindo outras partes do estado, e os estados do Rio de Janeiro e São Paulo. Esse padrão espaço-temporal indica uma possibilidade de persistência viral, já confirmada na região Sudeste, com casos confirmados de epizootia de PNH de FA no estado de Minas Gerais e São Paulo ao longo de 2 anos (REZENDE et a., 2018; ABREU et al., 2019).

Os casos humanos de FA em 2017 coincidem com baixa cobertura vacinal na primeira fase do surto em MG (THOISY et al., 2020), onde um elevado número de pessoas foi infectada, possibilitando a disseminação viral em toda a região Sudeste. No presente estudo, notou-se que a sobreposição de registros casos humanos e de epizootias de FA. Esse padrão silvestre da doença em 2016-2018 era esperado, já que as epizootias ocorrem geralmente antes e/ou concomitantes aos surtos que afetam a população humana (BRASIL, 2017). Thoisy e colaboradores com base nos resultados de um modelo de nicho ecológico, apontam que a distribuição de epizootias de PNH foi mais difusa do que para casos humanos e geograficamente disseminada no início do surto, com dois focos principais, nos estados de Minas Gerais e São Paulo (THOISY et al., 2020).

No início do período, o estudo de Bonaldo e colaboradores indica mutação nas enzimas de replicação viral (BOLDONADO, et al. 2017). Rezende e colaboradores indicam que o vírus da febre amarela responsável pelo processo epidêmico no período de 2016 a 2018 na região Sudeste pertença a uma linhagem monofilética, possivelmente oriunda da região Centro-Oeste que caminhou para a região Sudeste (REZENDE et al, 2018).

A persistência da FA na região Sudeste sugere que essa região apresenta condições climáticas e ambientais adequadas para a manutenção viral nos períodos epidêmicos e interepidêmicos (REZENDE et al., 2017) que vão de um período mais intenso de precipitação associada a abundância de vetores, ao desmatamento em função da criação de áreas para agropecuária, ao processo de transmissão epizootica e a mobilidade de pessoas em período virêmico (FERNANDES et al, 2017).

Como já mencionado anteriormente neste trabalho a região Sudeste pertence a dois biomas, o de Mata Atlântica e o de Cerrado. Neste estudo, os *clusters* concentraram-se no bioma de Mata Atlântica, indicando um potencial para o estabelecimento de um ciclo de transmissão enzoótica da febre amarela (ABREU et al., 2019; CUNHA et al., 2019). O vírus da FA necessita, para sua manutenção, de ambientes florestados com capacidade para albergar espécies de vetores silvestres e seus hospedeiros (PNH) (MORENO; BARATA, 2011).

Neste estudo as áreas de agropecuária representam a maior parte do uso e coberturas dos estados seguidos pelas áreas florestais. As às áreas de transição entre a agropecuária e às áreas florestais podem funcionar com um corredor áreas verdes, permitindo a circulação de PNHs e vetores para novas áreas. Com isso geram riscos aos trabalhadores do campo muitas vezes não vacinados, e predominantemente em indivíduos do sexo masculino (OLIVEIRA et al., 2019; MOUSSALLEM et al, 2019). Um resultado apresentado neste estudo sugere essa relação entre agropecuária e áreas de mangue, formação florestal e precipitação, mas também com infraestrutura urbana. A precipitação foi correlacionada de moderada a forte com mangue, formação florestal e agropecuária, sendo esta última correlacionada com infraestrutura urbana. Observa-se ainda que existe colinearidade nessas variáveis, embora se saiba que áreas que apresentam maiores regiões de setores de agropecuária contribuem mais para o PIB nos municípios influenciando na infraestrutura urbana (IBGE, 2019)<sup>17</sup>.

Ao analisar os fatores climáticos, os autores Hamrick et al (2017), Nava et al (2017), Kaul et al. (2018), Possas et al (2018), Paiva et al (2019) ressaltam a influência deles na ocorrência da FA na região Sudeste e consideram que temperaturas médias mais altas e taxas de precipitação mais elevadas fornecem habitat favorável para o desenvolvimento larval criando mais condições para oviposição e habitats larvais, aumentando a densidade de vetores como *Haemagogus* e *Aedes*. Em estudo recente, foi observado que as variáveis

---

<sup>17</sup> Produção Agrícola Municipal, <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>

climáticas contribuíram mais para a ocorrência de FA em 2017 do que as variáveis humanas, enquanto em 2018, houve predominância de referentes a atividades humanas influenciando a probabilidade de ocorrência de FA (THOISY et al., 2020). No resultado deste estudo, a única variável de clima que mostrou correlação positiva foi à precipitação, ou seja, os *clusters* de risco foram aqueles com maior precipitação acumulada no processo epidêmico-epizoótico (2016-2018).

Outra questão ligada ao clima foi a ocorrência de fenômenos climáticos como *El Niño* e *La Niña*, uma vez que estes interferem na temperatura e na precipitação, afetando diretamente o ciclo da doença e podem servir como instrumento que impulsiona a disseminação da doença pelo território. Quando o clima do período do processo epidêmico-epizoótico foi comparado ao período climatológico (20 anos), observou-se um aumento das temperaturas médias e redução da precipitação, especialmente nos meses de maior ocorrência da doença. Não é possível afirmar com esses resultados que *EL Niño* (2014-2016) que apresentou eventos extremos de temperatura pode ter influenciado no aumento das condições climáticas favoráveis a transmissão da FA na região (LUCENA et al. 2020).

A baixa taxa de vacinação, principalmente, nas áreas de não recomendação (MOUSSALLEN ET AL, 2019; PAIVA et al, 2019), permitiram o avanço da doença pelo espaço, juntamente com o crescimento urbano e rural. Isso possibilitou o aumento dos casos humanos e uma possível vulnerabilidade dos estados com relação à FAS e uma possível FA urbana, já que existe a presença do vetor desta nos grandes centros urbanos. Kaul et al (2018) considera que mesmo existindo uma vacina para a FA, a compreensão do risco espacial e temporal do transbordamento, não é o suficiente para prever novas áreas de vacinação. Por esse motivo, deve-se considerar a importância de intensificar a vacinação onde há ocorrência de epizootias, especialmente se os municípios tiverem conhecimento da baixa cobertura vacinal de seu território (NORONHA; CAMACHO, 2017).

O estudo possui limitações não só ligada impossibilidade de aprofundamento nas questões de vacina; a representatividade das epizootia restritas a área de acesso de pesquisadora; não ter como mensurar alguns dos efeitos climáticos do *El Niño* e da *La Niña*, ou mesmo de eventos de desastres ambientais, como Mariana (POSSAS et al, 2018) em dezembro de 2015, um mês antes do primeiro ano do processo epidêmico-epizoótico, que não sabemos como podem ter afetado os casos e epizootias de FA do período.

Em contrapartida o trabalho auxilia na verificação do impacto das mudanças climáticas e no uso e cobertura do solo que permitem a expansão da FAS para novas áreas

perto das cidades e de áreas rurais, onde a taxa de vacinação é baixa, permitindo ao poder público planejar a vacinação da população das novas áreas de risco, para a prevenção da FA.

## 8 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

A febre amarela é uma doença infecciosa e não contagiosa causada por vírus e tem como as áreas tropicais como zonas de ocorrência. A doença apresenta dois ciclos, um ciclo urbano - que não é detectado desde 1942 - e um ciclo silvestre - que se mantém até os dias de hoje. A FA silvestre se conserva na natureza e envolve em seu ciclo primatas não humanos - PNH - e mosquitos do gênero *Haemagogus* e *Sabethes*. Os casos de FAS em humanos são considerados esporádicos, pois para ocorrerem necessitam que o homem entre no meio natural e não esteja vacinado

Nas últimas duas décadas o vírus da FA se espalhou pela região Sudeste brasileira, se expandindo da zona enzoonótica para a zona de transição (KAUL et al, 2018). Fatores como a presença de mosquitos e ambientes favoráveis a estes, presença de PNH, temperatura e precipitação elevadas (PAIVA et al, 2019), as dinâmicas sociodemográficas, vacinação, ciclo de vida de vetor e hospedeiro (BARCELLOS et al, 2009) favorecem a transmissão da FA, além da sazonalidade padrão da doença.

Nesse estudo considerou o processo epidêmico-epizoótico da FA de 2016-2018 na região Sudeste, e a relação deste com os fatores climáticos e ambientais, considerando que essas variáveis favorecem a transmissão do vírus por mosquitos (POSSAS et al, 2018).

Os anos de 2017 e 2018 foram os que apresentaram os maiores números de epizootias e casos, respectivamente, e *clusters* de casos humanos. Pode-se considerar que os dados permitiram observar que os fatores climáticos e ambientais influenciam na ocorrência da doença.

A proximidade dos centros urbanos e de áreas rurais a áreas florestadas com presença de vetor e PNH (devido as dinâmicas socioeconômicas), as elevadas temperaturas e precipitação acima de 100mm (principalmente no verão), permitiram o avanço da FA pelos municípios da região Sudeste, o que possibilitou o aumento dos casos humanos e uma possível vulnerabilidade dos estados com relação à FAS.

Além dos fatores ambientais e climáticos, a baixa cobertura vacinal nessas áreas devido a classificação a classificação de sem recomendação nos estados do ES, RJ e no litoral paulista possibilitou o aumento dos casos humanos nos estados.

A correlação dos fatores climático e ambientais, junto com a presença de vetores e PNHs e baixa taxa de vacinação, geraram um cenário de vulnerabilidade para a região Sudeste, no qual deve-se avaliar planos em relação a saúde pública para a vacinação da população e controle dos vetores urbanos, que podem fazer com que a FA urbana reemerja.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, F. V. S. DE et al. **Combination of surveillance tools reveals that Yellow Fever virus can remain in the same Atlantic Forest area at least for three transmission seasons.** Memórias do Instituto Oswaldo Cruz, Mem. Inst. Oswaldo Cruz. v. 114, p. e190076, 2019.
- ALMEIDA, A. P. G. DE. **OS MOSQUITOS (DIPTERA, CULICIDAE) E A SUA IMPORTÂNCIA MÉDICA EM PORTUGAL: Desafios para o Século XXI.** Acta Med Port. v. 24, n. 6, p. 961–974, 2011.
- ALMEIDA, A. S. DE; WERNECK, G. L.; RESENDES, A. P. DA C. **Classificação orientada a objeto de imagens de sensoriamento remoto em estudos epidemiológicos sobre leishmaniose visceral em área urbana,** Cad. Saúde Pública. v. 30, n. 8, p. 1639–1653, 2014.
- ALMEIDA, M. A. B. DE et al. **Predicting Yellow Fever Through Species Distribution Modeling of Virus, Vector, and Monkeys,** EcoHealth. v. 16, n. 1, p. 95–108, 2019.
- ALVAREZ MUNARRIZ, L. **The Cultural Landscape Concept.** Aibr, Revista de Antropología Iberoamericana, v. 6, n. 1, p. 63–86, 1 jan. 2011.
- APARECIDO, L. E. DE OLIVEIRA et al. **Acurácia da reanálise ERA-Interim do ECMWF e sua aplicação na estimativa da deficiência hídrica no estado do Paraná, Brasil.** Revista Brasileira de Meteorologia, v. 34, n. 5, p. 515-528, 2019.
- ARDEN, W. B. **Urban yellow fever diffusion patterns and the role of micro-environmental factors in disease dissemination: a temporal-spatial analysis of the Memphis epidemic of 1878.** Mestrado—Louisiana: Louisiana State University, 2005.
- ATDB. **MapBiomas General “Handbook”.** [s.l: s.n.]. v. 4
- BARCELLOS, C. et al. **Mudanças climáticas e ambientais e as doenças infecciosas. cenários e incertezas para o Brasil.** Epidemiol. Serv. Saúde, Brasília, v. 18, n. 3, p. 285-304, set. 2009
- BARNETT, E. D. Yellow Fever. In: **International Encyclopedia of Public Health.** [s.l.] Elsevier, 2017. p. 484–490.
- BARROS, J. **Criando mapas de calor (heat maps ou densidade de Kernel) no QGISBlog Geoaplicada,** 2018. Disponível em: <<https://www.geoaplicada.com/blog/criando-mapa-de-calor-no-qgis/>>. Acesso em: 9 fev. 2020

- BERRISFORD, P. et al. **The ERA-Interim archive Version 2.0.**
- BEZERRA, U. A. et al. **Comparison of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) Between the Sensors OLI-Landsat Satellite-8 and MSI-Sentinel-2 Satellite in Semi-Arid Region**, Anuário IGEO UFRJ. v. 41, n. 3, p. 167–177, 2018.
- BONALDO, M. C. et al. Genome analysis of yellow fever virus of the ongoing outbreak in Brazil reveals polymorphisms. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, Mem. Inst. Oswaldo Cruz. v. 112, n. 6, p. 447–451, jun. 2017.
- BRAGA, R. M. O ESPAÇO GEOGRÁFICO: UM ESFORÇO DE DEFINIÇÃO. O **ESPAÇO GEOGRÁFICO: UM ESFORÇO DE DEFINIÇÃO**, GEOUSP Espaço e Tempo (Online). v. 11, n. 2, p. 65–72, 2007.
- BRASIL. **Guia de Vigilância em Saúde: volume único [recurso eletrônico]**. 3. ed. Brasília: [s.n.]. v. Único.2019
- BRIAND, S. et al. **Assessment of Yellow Fever Epidemic Risk: An Original Multi-criteria Modeling Approach**, PLoS Neglected Tropical Diseases. v. 3, n. 7, p. e483, 2009.
- BURNHAM, K. P.; ANDERSON, D. R.; BURNHAM, K. P. **Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach**. 2nd ed ed. New York: Springer, 2002.
- BUSTOS ROMERO, M. A. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. Sao Paulo: ProEditores Associados, 2001.
- CARVALHO, B. M. et al. **Ecological Niche Modelling Predicts Southward Expansion of Lutzomyia (Nyssomyia) flaviscutellata (Diptera: Psychodidae: Phlebotominae), Vector of Leishmania (Leishmania) amazonensis in South America, under Climate Change**, PLoS ONE. v. 10, n. 11, p. e0143282, 2015.
- CARVALHO, M. M. DE. **Clima urbano e vegetação. estudo analítico e prospectivo do Parque das Dunas em Natal**. Dissertação—Natal. UFRN, 2001.
- CAVALCANTE, K. R. L. J. et al. **Risco de reintrodução da febre amarela urbana no Brasil**. Epidemiologia e Serviços de Saúde. v. 26, n. 3, p. 617–620, jul. 2017.
- CAVALCANTE, K. R. L. J.; TAUIL, P. L.. **Características epidemiológicas da febre amarela no Brasil, 2000-2012**, Epidemiologia e Serviços de Saúde. v. 25, n. 1, p. 10–1, 2016.
- CAVALCANTE, R. **Apostila de Introdução ao SIGUFMG**, , 2015.



CECCATO, V.; KARLSTROM, A. **A new information theoretical measure of global and local spatial association**, *The Review of Regional Research*. p. 13–40, 2002.

CENTER, N. C. P. **NOAA's Climate Prediction Center**. Disponível em: <[https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_v5.php](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php)>. Acesso em: 17 mar. 2021.

CHILDS, M. L. et al. **Mosquito and primate ecology predict human risk of yellow fever virus spillover in Brazil**, *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. v. 374, n. 1782, 2019.

COLUMBIA UNIVERSITY SCHOOL. **Cluster Analysis Using K-Means | Columbia University Mailman School of Public Health**. Disponível em: <<https://www.mailman.columbia.edu/research/population-health-methods/cluster-analysis-using-k-means>>. Acesso em: 18 nov. 2019a.

COLUMBIA UNIVERSITY SCHOOL. **Hot Spot Detection | Columbia University Mailman School of Public Health**. Disponível em: <<https://www.mailman.columbia.edu/research/population-health-methods/hot-spot-detection>>. Acesso em: 18 nov. 2019b.

CONTI, J. B.; FURLAN, S. A. **Geocologia: o clima, os solos e a biota**. In: *Geografia do Brasil*. Didática. São Paulo, SP, Brasil: EDUSP, 2009. p. 67–208.

CORREIA, V. R. DE M. et al. **Remote sensing as a tool to survey endemic diseases in Brazil**, *Cad. Saúde Pública*. v. 20, n. 4, p. 891–904, 2004.

CORREIA, V. R. DE M. et al. **Uma aplicação do sensoriamento remoto para a investigação de endemias urbanas**, *Cad. Saúde Pública*. v. 23, n. 5, p. 1015–1028, 2007.

COSTA, Z. G. A. **ESTUDO DAS CARACTERÍSTICAS EPIDEMIOLÓGICAS DA FEBRE AMARELA NO BRASIL, NAS ÁREAS FORA DA AMAZÔNIA LEGAL, NO PERÍODO DE 1999 A 2003**. Dissertação (Mestrado Acadêmico)—Rio de Janeiro: Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, FIOCRUZ, 2005.

COSTA, Z. G. A. et al. **Evolução histórica da vigilância epidemiológica e do controle da febre amarela no Brasil**, *Revista Pan-Amazônica de Saúde*. v. 2, n. 1, p. 11–26, 2011.

COUTINHO, B. T. **O HOMEM (UM SER MÚLTIPLO E INDIVISÍVEL) NA ECOLOGIA HUMANA DE MAXIMILIEN SORRE**. *Terra Livre*. n. 52, p. 96–125, 2019.

- CUNHA, M. S. et al. **Epizootics due to Yellow Fever Virus in São Paulo State, Brazil: viral dissemination to new areas (2016–2017)**. Scientific Reports, Sci Rep. v. 9, 2 abr. 2019.
- CUNHA, M. S. et al. **Possible non-sylvatic transmission of yellow fever between non-human primates in São Paulo city, Brazil, 2017–2018**. Scientific Reports, Sci Rep. v. 10, n. 1, p. 15751, dez. 2020.
- CZERESNIA, D.; RIBEIRO, A. M. **O conceito de espaço em epidemiologia: uma interpretação histórica e epistemológica**, Cadernos de Saúde Pública. v. 16, n. 3, p. 595–605, 2000.
- DE ABREU F.V.S. et al. **Combination of surveillance tools reveals that yellow fever virus can remain in the same Atlantic Forest area at least for three transmission seasons**. Mem Inst Oswaldo Cruz. 2019; 114.e190076.
- DE OLIVEIRA, A. U. **Agricultura brasileira: transformações recentes**. In: ROSS, J. Geografia do Brasil. Didática. São Paulo, SP, Brasil: EDUSP, 2009. p. 465–534.
- DE OLIVEIRA FIGUEIREDO, P. et al. **Re-Emergence of Yellow Fever in Brazil during 2016–2019: Challenges, Lessons Learned, and Perspectives**. Viruses. v. 12, n. 11, p. 1233, nov. 2020.
- DE THOISY, B. et al. **Spatial epidemiology of yellow fever: Identification of determinants of the 2016-2018 epidemics and at-risk areas in Brazil. PLOS Neglected Tropical Diseases**, PLoS Negl Trop Dis. v. 14, n. 10, p. e0008691, 1 out. 2020.
- DEE, D. P. et al. **The ERA-Interim reanalysis. configuration and performance of the data assimilation system**. Q.J.R. Meteorol. Soc., 137. 553-597, April 2011 A
- DICKER, R. C. et al. **Principles of Epidemiology in Public Health Practice, Third Edition: An Introduction**. 3. ed. Georcia: Public Health Foundation, 2012. v. 1
- ECMWF | ERA Interim, Daily. Disponível em. <<https://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-full-daily/levtype=sfc/>>. Acesso em. 2 mar. 2020.
- ESCOSTEGUY, C. C. et al. **Yellow fever: profile of cases and factors associated with death in a hospital in the State of Rio de Janeiro, 2017–2018**. Revista de Saúde Pública. v. 53, p. 89, 2019.
- FERNANDES, N. C. C. DE A. et al. **Outbreak of Yellow Fever among Nonhuman Primates, Espirito Santo, Brazil, 2017**. Emerging Infectious Diseases. v. 23, n. 12, p. 2038–2041, dez. 2017.

- FERREIRA, M. U. **Epidemiologia e Geografia: O complexo patogênico de Max. Sorre**, Cadernos de Saúde Pública. v. 7, n. 3, p. 301–309, 1991.
- FILHO, J. L.; IOCHPE, C. **Introdução a Sistemas de Informações Geográficas com Ênfase em Banco de Dados**. 1996.
- FORMAN, R. T. T. **Land mosaics: the ecology of landscapes and regions**. Cambridge ; New York: Cambridge University Press, 1995.
- GABLER, R. E.; PETERSEN, J. F.; TRAPASSO, L. M. **Essentials of physical geography**. 8th ed ed. Belmont, CA: Thomson Brooks/Cole, 2006.
- GEORGES, D.; THUILLER, W. **An example of species distribution modeling with biomod2**, 2016.
- GORDIS, L. **Epidemiology**. Estados Unidos: Elsevier Inc., 2004.
- GUISAN, A.; THUILLER, W.; ZIMMERMANN, N.E., 2017. **Habitat suitability and distribution models. With applications in R**. Ecology, biodiversity and conservation. 462p
- HAESBAERT, R. **Viver no limite: território e multi/transterritorialidade em tempos de in-segurança e contenção**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014.
- HAMADA, E.; GONÇALVES, R. R. DO V. **Introdução ao Geoprocessamento: princípios básicos e aplicação**. [s.l.] Embrapa, 2007. v. 1
- HAMLET, A. et al.. **The seasonal influence of climate and environment on yellow fever transmission across Africa**, PLoS Neglected Tropical Diseases. v. 12, n. 3, p. e0006284, 2018.
- HAMRICK, P. N. et al. **Geographic patterns and environmental factors associated with human yellow fever presence in the Americas**, PLoS Neglected Tropical Diseases. v. 11, n. 9, p. e0005897, 2017.
- HARVEY, D. **Condição pós-moderna: uma pesquisa sobre as origens da mudança cultural**. 21. ed. São Paulo: Ed. Loyola, 2011.
- HINO, P. et al. **GEOPROCESSAMENTO APLICADO À ÁREA DA SAÚDE**, Rev Latino-am Enfermagem. v. 14, n. 6, 2006.
- HUGGETT, R. J. **Physical geography: the key concepts**. London ; New York: Routledge, 2010.
- HUGH-JONES, M. **Applications of remote sensing to the identification of the habitats of parasites and disease vectors**, Parasitology Today. v. 5, n. 8, p. 244–251, 1989.

**IPCC. Climate change 2007: the physical science basis: contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Cambridge ; New York: Cambridge University Press, 2007.

**IPCC. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability ; Summaries, Frequently Asked Questions, and Cross-Chapter Boxes ; A Working Group II Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Geneva, Switzerland: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014.

**IPCC. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Geneva: [s.n.].

**IPBES, “The methodological assessment report on scenarios and models of biodiversity and ecosystem services”** (Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, 2016)

**JENTES, E. S. et al. The revised global yellow fever risk map and recommendations for vaccination, 2010: consensus of the Informal WHO Working Group on Geographic Risk for Yellow Fever,** *The Lancet Infectious Diseases.* v. 11, n. 8, p. 622–632, 2011.

**KAUL, R. B. et al. Spatio-temporal spillover risk of yellow fever in Brazil,** *Parasites & Vectors.* v. 11, n. 1, p. 488, 2018.

**KOTZE, J. et al. Effects of urbanizaation on the ecology and evolution of arthropods.** In: *Urban ecology: patterns, processes and applications.* Oxford biology. Oxford ; New York: Oxford University Press, 2011. p. 159–166.

**KURASZ, G. SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS APLICADO AO ZONEAMENTO AMBIENTAL DA RESERVA FLORESTAL EMBRAPA/EPAGRI, CAÇADOR/SC.** Dissertação (Mestrado Acadêmico)—Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2005.

**LEFF, E. Epistemologia ambiental.** São Paulo: Cortez, 2007.

**LIMA, D. C. R. MONITORAMENTO E DESEMPENHO DA VEGETAÇÃO NO CONFORTO TÉRMICO EM ESPAÇOS LIVRES URBANOS. O CASO DAS PRAÇAS DE MARINGÁ/PR.** Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Maringá. Universidade Estadual de Maringá, 2009.

**LINDEN, R. Técnicas de Agrupamento,** *Revista de Sistemas de Informação da FSMA.* n. 4, p. 18–36, 2009.

- LINDENMAYER, D.; FISCHER, J. **Habitat fragmentation and landscape change: an ecological and conservation synthesis**. Washington: Island Press, 2006.
- LITTLE, E.; BAJWA, W.; SHAMAN, J. **Local environmental and meteorological conditions influencing the invasive mosquito *Ae. albopictus* and arbovirus transmission risk in New York City**, PLoS Neglected Tropical Diseases. v. 11, n. 8, p. e0005828, 2017.
- LUCENA, A. J. DE et al. **EVENTOS DE EL NIÑO E A SUA INFLUÊNCIA NAS CHUVAS DA ZONA OESTE DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO/RJ**, Revista Brasileira de Climatologia. v. 27, p. 29, 2020.
- MAIO, A. D. et al. **Formação Continuada de professores: sensoriamento remoto**. Brasil: Agência Espacial Brasileira, 2008.
- MASCHERETTI, M. et al. **Febre amarela silvestre: reemergência de transmissão no estado de São Paulo, Brasil, 2009**, Revista de Saúde Pública. v. 47, n. 5, p. 881–889, 2013.
- MATTOS, C.; DE MIRANDA, E. E. **GIS PARA MEIO AMBIENTE: APLICAÇÕES NO NORDESTE DO BRASIL**, GIS Nordeste 97. 1997.
- MEDRONHO, R. DE A. Estudos Ecológicos. In: **Epidemiologia**. 2. ed. Sao Paulo: Atheneu, 2009. p. 265–274.
- MENDONÇA, F. **Climatologia noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo; Oficina de Textos: [s.n.].
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. Boletim Epidemiológico. **Boletim Epidemiológico**, v. 48, n. 28, p. 22, 2017a.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. **COES – Febre Amarela INFORME – Nº 28/2017**, 2017b.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Febre amarela: guia para profissionais de saúde**. 1. ed. Brasília: Editora MS, 2017c.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. Boletim Epidemiológico. **Boletim Epidemiológico**, n. 50, p. 156, 2019a.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Monitoramento do Período Sazonal da Febre Amarela Brasil - 2018/2019**, 2019b.
- MONATH, T. P.; VASCONCELOS, P. F. C. **Yellow fever**, Journal of Clinical Virology. v. 64, p. 160–173, 2015.
- MORAN, E. F. **Interações homem-ambiente em ecossistemas florestais: uma introdução**. In: **Ecossistemas florestais: interação homem-ambiente**. 2. ed. São Paulo: Senac : Edusp, 2009.

- MORAN, E. F.; OSTROM, E. **Ecosistemas florestais: interação homem-ambiente**. São Paulo: Senac : Edusp, 2009.
- MORENO, E. S.; BARATA, R. DE C. B. **Municipalities of higher vulnerability to Sylvatic Yellow Fever occurrence in the São Paulo State, Brazil**. *Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo, Rev. Inst. Med. trop. S. Paulo.* v. 53, n. 6, p. 335–339, dez. 2011.
- MORENO, E. S.; BARATA, R. DE C. B. **Methodology for Definition of Yellow Fever Priority Areas, Based on Environmental Variables and Multiple Correspondence Analyses**, *PLoS Neglected Tropical Diseases.* v. 6, n. 7, p. e1658, 2012.
- MOUSSALLEM, T. M. et al. **Yellow fever outbreak in a rural-urban mixed community of Espírito Santo, Brazil: epidemiological aspects**, *Revista Panamericana de Salud Pública.* v. 43, p. 1, 2019.
- MUÑOZ SABATER, J., (2019). **ERA5-Land monthly averaged data from 1981 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS)**. (<date of access>), 10.24381/cds.68d2bb30
- NAVA, A. et al. **The Impact of Global Environmental Changes on Infectious Disease Emergence with a Focus on Risks for Brazil**, *ILAR Journal.* v. 58, n. 3, p. 393–400, 2017.
- NORONHA, T. G. DE; CAMACHO, L. A. B. **Controvérsias sobre a ampliação das áreas com vacinação de rotina contra a febre amarela no Brasil**. *Cadernos de Saúde Pública, Cad. Saúde Pública.* v. 33, n. 10, 2017.
- ODUM, E. P. **Ecologia**. Tradução: Christopher J Tribe. Rio de Janeiro: Guanabara, 1986.
- OMETTO, J. P. H. B.; MARTINELLI, L. A. **Ciclos Biogeoquímicos**. In: *Biologia & mudanças climáticas no Brasil*. 1a ed ed. São Carlos, SP: RiMa, 2008. p. 29–53.
- PAIVA, C. A. DE et al. **Determination of the spatial susceptibility to Yellow Fever using a multicriteria analysis**, *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz.* v. 114, n. 0, 2019.
- PBMC. **Mudanças Climáticas e Cidades: Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas**. Rio de Janeiro: COPPE – UFRJ, 2016.
- PETERSON, A. T., SOBERÓN, J., PEARSON, R. G., ANDERSON, R. P., MARTÍNEZ-MEYER, E., NAKAMURA, M., & ARAÚJO, M. B. (2011). **Ecological niches and geographic distributions**. Princeton, NJ. Princeton University Press.
- PETERSON AT, SOBERÓN J. **Species Distribution Modeling and Ecological Niche Modeling. Getting the Concepts Right**. *Natureza & Conservação* 2012, 10(2).1-6

- POSSAS, C. et al. **Yellow fever outbreak in Brazil: the puzzle of rapid viral spread and challenges for immunisation**, Memórias do Instituto Oswaldo Cruz. v. 113, n. 10, 2018.
- QUAH, S. R. **International Encyclopedia of Public Health**. 2. ed. [s.l.] Academic Press, 2017. v. 7
- REZENDE, I. M. DE et al. **Persistence of Yellow fever virus outside the Amazon Basin, causing epidemics in Southeast Brazil, from 2016 to 2018**, PLoS Neglected Tropical Diseases. v. 12, n. 6, p. e0006538, 2018.
- RIBEIRO, J. F.; Walter, B. M. T. **Fitofisionomias do Bioma Cerrado**. In. Sano, S. M.; Almeida, S.P..Cerrado. Ambiente e Flora. 1 ed. 1998. EMBRAPA.
- RIBEIRO, S. H. R. **Seleção Ótima dos Parâmetros de Varredura Espacial para Detecção de Conglomerados: Um Estudo de Simulação**. Dissertação (Mestrado Acadêmico)—Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2012.
- ROCHA, F. P. DA; ARAVÉQUIA, J. A.; RIBEIRO, B. Z. **Estudo de ciclones e de padrões de circulação atmosférica no oceano atlântico sul próximo à costa das regiões sul e sudeste do Brasil usando dados da reanálise do ERA-Interim**. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 31, n. 2, p. 141-156, 2016.
- RODRIGUES, F. S. **Métodos de agrupamento na análise de dados de expressão gênica**. Dissertação (Mestrado Acadêmico)—São Carlos, SP: Universidade Federal de São Carlos, 2009.
- ROGERS, D. J. et al. **The Global Distribution of Yellow Fever and Dengue**. In: **Advances in Parasitology**. [s.l.] Elsevier, 2006. v. 62p. 181–220.
- ROSA, R. **INTRODUÇÃO AO GEOPROCESSAMENTO**. Uberlândia, 2013.
- ROSS, J. L. S. **Ecogeografia do Brasil: subsídios para planejamento ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.
- ROTHMAN, K. J. et al. **Epidemiologia moderna**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2011.
- SALDIVA, P. Os efeitos das mudanças climáticas sobre a saúde do homem. In: **Biologia & mudanças climáticas**. 1. ed. São Carlos, SP: RiMa, 2008. p. 227–233.
- SANTOS, A. E. DOS; RODRIGUES, A. L.; LOPES, D. L. **Aplicações de Estimadores Bayesianos Empíricos para Análise Espacial de Taxas de Mortalidade**. VII Simpósio Brasileiro de Geoinformática. p. 300–309, 2005.
- SANTOS, A. R. DOS. **Apostila Teórica Sensoriamento Remoto**. Espírito Santo: UFES, 2013.

- SANTOS, M. **A natureza do espaço. técnica e tempo, razão e emoção.** 4. ed., 5. reimpr ed. São Paulo, SP. Edusp, Ed. da Univ. de São Paulo, 2009.
- SANTOS, M.; ELIAS, D. **Metamorfoses do espaço habitado: fundamentos teóricos e metodológicos da geografia.** São Paulo, SP, Brasil: Edusp, 2012.
- SHAPIRO-ILAN, D. I.; BRUCK, D. J.; LACEY, L. A. **Principles of Epizootiology and Microbial Control.** In: *Insect Pathology.* [s.l.] Elsevier, 2012. p. 29–72.
- SHEARER, F. M. et al. **Existing and potential infection risk zones of yellow fever worldwide: a modelling analysis,** *The Lancet Global Health.* v. 6, n. 3, p. e270–e278, 2018.
- S. Ferrier, K. N. Ninan, P. Leadley, R. Alkemade, ***The Methodological Assessment Report on Scenarios and Models of Biodiversity and Ecosystem Services*** (IPBES, 2016), 348 p. Available. [https://ipbes.net/sites/default/files/downloads/pdf/2016.methodological\\_assessment\\_report\\_scenarios\\_models.pdf](https://ipbes.net/sites/default/files/downloads/pdf/2016.methodological_assessment_report_scenarios_models.pdf)
- STAPLES, J. E.; MONATH, T. P. Yellow Fever. In: **Tropical Infectious Diseases: Principles, Pathogens and Practice.** [s.l.] Elsevier, 2011. p. 492–503.
- TONHASCA JUNIOR, A. **Ecologia e história natural da Mata Atlântica.** Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2005.
- VALLE, D.; NACIF PIMENTA, D.; AGUIAR, R. **Zika, dengue e chikungunya: desafios e questões,** *Epidemiologia e Serviços de Saúde.* v. 25, n. 2, p. 1–2, 2016.
- VANWEY, L. K.; OSTROM, E.; MERETSKY, V. **Teorias subjacentes ao estudo de interações homem-ambiente.** In: *Ecosistemas florestais: interação homem-ambiente.* São Paulo: Senac : Edusp, 2009.
- VASCONCELOS, P. F. DA C. **Febre amarela. reflexões sobre a doença, as perspectivas para o século XXI e o risco da reurbanização.** *Rev. bras. epidemiol.,* São Paulo, v. 5, n. 3, p. 244-258, Dec. 2002.
- VASCONCELOS, P. F. DA C.. **Febre amarela,** *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical.* v. 36, n. 2, p. 275–293, 2003.
- VASCONCELOS, P. F. DA C. **Yellow fever in Brazil: thoughts and hypotheses on the emergence in previously free areas,** *Revista de Saúde Pública.* v. 44, n. 6, p. 1144–1149, 2010.
- VIVO, M. DE. Mamífero e mudanças climáticas. In: **Biologia & Mudanças Climáticas no Brasil.** 1. ed. São Carlos, SP: RiMa, 2008. p. 207–223.



- WHO. **Yellow fever**. Disponível em:  
<<https://www.who.int/ith/vaccines/yf/en/>>. Acesso em: 19 nov. 2019.
- WIENS, J. A. (ED.). **Foundation papers in landscape ecology**. New York: Columbia University Press, 2007.
- WOBESER, G. A. **Disease in Wild Animals**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2007.
- ZANZARINI, F. V. et al. **Correlação espacial do índice de vegetação (NDVI) de imagem Landsat/ETM+ com atributos do solo**, Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v. 17, n. 6, p. 608–614, 2013.

## APÊNDICE A - SAÍDA DO PROGRAMA SATSCAN PARA O ESTADO DO ESPÍRITO SANTO

---

*SaTScan v9.6*

---

*Retrospective Space-Time analysis  
scanning for clusters with high rates  
using the Discrete Poisson model.*

---

---

### *SUMMARY OF DATA*

*Study period..... 2016/1/1 to 2018/12/31*

*Number of locations..... 78*

*Population, averaged over time..... 4001653*

*Total number of cases..... 251*

*Annual cases / 100000..... 2.1*

---

*CLUSTERS DETECTED*

*1.Location IDs included.. DOMINGOS MARTINS, MARECHAL FLORIANO, SANTA MARIA DE JETIBÁ, ALFREDO CHAVES, VENDA NOVA DO IMIGRANTE, AFONSO CLÁUDIO, SANTA LEOPOLDINA, VIANA*

*Coordinates / radius... (20.318857 S, 40.841930 W) / 39.87 km*

*Time frame..... 2017/1/1 to 2017/12/31*

*Population..... 160460*

*Number of cases..... 114*

*Expected cases..... 3.37*

*Annual cases / 100000.. 70.7*

*Observed / expected.... 33.83*

*Relative risk..... 61.14*

*Log likelihood ratio... 320.326256*

*P-value..... < 0.000000000000000001*

*2.Location IDs included.. ITAGUAÇU, SÃO ROQUE DO CANAÃ, BAIXO GUANDU, ITARANA, SANTA TERESA, LARANJA DA TERRA, COLATINA*

*Coordinates / radius... (19.725485 S, 40.859582 W) / 31.77 km*

*Time frame..... 2017/1/1 to 2017/12/31*

*Population..... 302578*

*Number of cases..... 51*

*Expected cases..... 6.33*

*Annual cases / 100000.. 16.8*

*Observed / expected.... 8.05*

*Relative risk..... 9.85*

*Log likelihood ratio... 66.062117*

*P-value..... < 0.000000000000000001*

*3.Location IDs included.. MUNIZ FREIRE, CONCEIÇÃO DO CASTELO,  
IBATIBA, IRUPI*

*Coordinates / radius... (20.402376 S, 41.397168 W) / 24.68 km*

*Time frame..... 2017/1/1 to 2017/12/31*

*Population..... 174119*

*Number of cases..... 32*

*Expected cases..... 3.64*

*Annual cases / 100000.. 18.4*

*Observed / expected.... 8.78*

*Relative risk..... 9.92*

*Log likelihood ratio... 42.863225*

*P-value..... < 0.000000000000000001*

## APÊNDICE B - SAÍDA DO PROGRAMA SATSCAN PARA O ESTADO DO MINAS GERAIS

---

*SaTScan v9.6*

---

*Retrospective Space-Time analysis  
scanning for clusters with high rates  
using the Discrete Poisson model.*

---



---

### *SUMMARY OF DATA*

*Study period..... 2016/1/1 to 2018/12/31*  
*Number of locations..... 853*  
*Population, averaged over time..... 21052595*  
*Total number of cases..... 974*  
*Annual cases / 100000..... 1.5*

---



---

### *CLUSTERS DETECTED*

*1.Location IDs included.. LADAINHA, POTÉ, ITAIPÉ, NOVO CRUZEIRO,  
SETUBINHA*

*Coordinates / radius... (17.606587 S, 41.804043 W) / 35.93 km*  
*Time frame..... 2017/1/1 to 2017/12/31*  
*Population..... 91068*  
*Number of cases..... 123*  
*Expected cases..... 1.41*  
*Annual cases / 100000.. 134.8*  
*Observed / expected.... 87.42*

*Relative risk*..... 99.92  
*Log likelihood ratio*... 436.251467  
*P-value*..... < 0.000000000000000001

2. *Location IDs included.. SANTA BÁRBARA, CAETÉ, RIO ACIMA, CATAS ALTAS, BARÃO DE COCAIS, RAPOSOS, NOVA LIMA, SABARÁ, ITABIRITO, OURO PRETO*

*Coordinates / radius*... (20.053618 S, 43.587890 W) / 39.93 km  
*Time frame*..... 2018/1/1 to 2018/12/31  
*Population*..... 491584  
*Number of cases*..... 145  
*Expected cases*..... 7.60  
*Annual cases / 100000*.. 29.4  
*Observed / expected*.... 19.07  
*Relative risk*..... 22.23  
*Log likelihood ratio*... 300.358536  
*P-value*..... < 0.000000000000000001

3. *Location IDs included.. PIRANGA, CATAS ALTAS DA NORUEGA, DIOGO DE VASCONCELOS, SENHORA DE OLIVEIRA, PRESIDENTE BERNARDES, LAMIM, PORTO FIRME, BRÁS PIRES, GUARACIABA, MARIANA, CIPOTÂNEA, RIO ESPERA, ACAIACA, ITAVERAVA,*

*SENADOR FIRMINO, OURO BRANCO*

*Coordinates / radius*... (20.625318 S, 43.310543 W) / 38.29 km  
*Time frame*..... 2018/1/1 to 2018/12/31  
*Population*..... 195039  
*Number of cases*..... 105  
*Expected cases*..... 3.00  
*Annual cases / 100000*.. 54.0  
*Observed / expected*.... 35.03  
*Relative risk*..... 39.14  
*Log likelihood ratio*... 276.947854  
*P-value*..... < 0.000000000000000001

4. *Location IDs included.. SÃO JOSÉ DO MANTIMENTO, CHALÉ, SANTANA DO MANHUAÇU, DURANDÉ, CONCEIÇÃO DE IPANEMA, LAJINHA, MARTINS SOARES, SIMONÉSIA, REDUTO, IPANEMA, TAPARUBA, MUTUM, MANHUAÇU, SANTA BÁRBARA DO LESTE, CARATINGA, SANTA RITA DE MINAS, MANHUMIRIM*

*Coordinates / radius... (20.025158 S, 41.774427 W) / 39.92 km*

*Time frame..... 2017/1/1 to 2017/12/31*

*Population..... 353094*

*Number of cases..... 119*

*Expected cases..... 5.45*

*Annual cases / 100000.. 33.7*

*Observed / expected.... 21.83*

*Relative risk..... 24.73*

*Log likelihood ratio... 260.297357*

*P-value..... < 0.000000000000000001*

5. *Location IDs included.. CAMPANÁRIO, PESCADOR, JAMPRUCA, ITAMBACURI, FREI GASPAR*

*Coordinates / radius... (18.281348 S, 41.719845 W) / 23.92 km*

*Time frame..... 2017/1/1 to 2017/12/31*

*Population..... 42884*

*Number of cases..... 26*

*Expected cases..... 0.66*

*Annual cases / 100000.. 60.4*

*Observed / expected.... 39.20*

*Relative risk..... 40.25*

*Log likelihood ratio... 70.383254*

*P-value..... < 0.000000000000000001*

6. *Location IDs included.. ÁGUA BOA, MALACACHETA, SANTA MARIA DO SUAÇUÍ, SÃO SEBASTIÃO DO MARANHÃO, FRANCISCÓPOLIS, JOSÉ RAYDAN*

*Coordinates / radius... (18.013902 S, 42.283409 W) / 33.09 km*  
*Time frame..... 2017/1/1 to 2017/12/31*  
*Population..... 68874*  
*Number of cases..... 28*  
*Expected cases..... 1.07*  
*Annual cases / 100000.. 40.5*  
*Observed / expected.... 26.24*  
*Relative risk..... 26.98*  
*Log likelihood ratio... 64.925221*  
*P-value..... < 0.000000000000000001*

*7.Location IDs included.. CHÁCARA, BICAS, CORONEL PACHECO, GOIANÁ, PEQUERI, ROCHEDO DE MINAS, GUARARÁ, MATIAS BARBOSA, PIAU, RIO NOVO, MARIPIÁ DE MINAS, JUIZ DE FORA, SANTANA DO DESERTO, MAR DE ESPANHA, SÃO JOÃO NEPOMUCENO, SENADOR CORTES, SIMÃO PEREIRA, DESCOBERTO, TABULEIRO, CHIADOR, GUARANI, SANTO ANTÔNIO DO AVENTUREIRO*

*Coordinates / radius... (21.689491 S, 43.200498 W) / 39.90 km*  
*Time frame..... 2018/1/1 to 2018/12/31*  
*Population..... 698094*  
*Number of cases..... 64*  
*Expected cases..... 10.77*  
*Annual cases / 100000.. 9.2*  
*Observed / expected.... 5.94*  
*Relative risk..... 6.29*  
*Log likelihood ratio... 62.320329*  
*P-value..... < 0.000000000000000001*

*8.Location IDs included.. OLARIA, LIMA DUARTE, BOM JARDIM DE MINAS, RIO PRETO, SANTA BÁRBARA DO MONTE VERDE, SANTA RITA DE JACUTINGA*

*Coordinates / radius... (21.909260 S, 43.947306 W) / 27.23 km*  
*Time frame..... 2018/1/1 to 2018/12/31*



*Population*..... 38865  
*Number of cases*..... 19  
*Expected cases*..... 0.59  
*Annual cases / 100000*.. 49.4  
*Observed / expected*.... 32.02  
*Relative risk*..... 32.64  
*Log likelihood ratio*... 47.631141  
*P-value*..... < 0.000000000000000001

9. *Location IDs included.. SÃO THOMÉ DAS LETRAS*

*Coordinates / radius*... (21.740376 S, 44.976054 W) / 0 km  
*Time frame*..... 2018/1/1 to 2018/12/31  
*Population*..... 7078  
*Number of cases*..... 12  
*Expected cases*..... 0.11  
*Annual cases / 100000*.. 170.0  
*Observed / expected*.... 110.28  
*Relative risk*..... 111.65  
*Log likelihood ratio*... 44.618308  
*P-value*..... 0.000000000000000011

10. *Location IDs included.. SANTA RITA DO ITUETO, POCRANE, CONSELHEIRO PENA, AIMORÉS, RESPLENDOR, ITUETA, ALVARENGA*

*Coordinates / radius*... (19.406379 S, 41.382368 W) / 35.85 km  
*Time frame*..... 2017/1/1 to 2017/12/31  
*Population*..... 90864  
*Number of cases*..... 22  
*Expected cases*..... 1.41  
*Annual cases / 100000*.. 24.1  
*Observed / expected*.... 15.64  
*Relative risk*..... 15.98  
*Log likelihood ratio*... 40.127518  
*P-value*..... 0.000000000000000060

11. Location IDs included.. CRUCILÂNDIA, PIEDADE DOS GERAIS, PIRACEMA, RIO MANSO, BONFIM, ITAGUARA, ITATIAIUÇU, DESTERRO DE ENTRE RIOS, PASSA TEMPO, BELO VALE, BRUMADINHO, CARMÓPOLIS DE MINAS, MOEDA, JECEABA

Coordinates / radius... (20.409514 S, 44.357379 W) / 38.19 km

Time frame..... 2018/1/1 to 2018/12/31

Population..... 138659

Number of cases..... 24

Expected cases..... 2.14

Annual cases / 100000.. 17.3

Observed / expected.... 11.21

Relative risk..... 11.47

Log likelihood ratio... 36.399026

P-value..... 0.000000000000022

12. Location IDs included.. PARAISÓPOLIS, GONÇALVES, CONSOLAÇÃO, CONCEIÇÃO DOS OUROS, CÓRREGO DO BOM JESUS, BRAZÓPOLIS, CACHOEIRA DE MINAS, SAPUCAÍ-MIRIM

Coordinates / radius... (22.580190 S, 45.806376 W) / 24.59 km

Time frame..... 2018/1/1 to 2018/12/31

Population..... 75534

Number of cases..... 18

Expected cases..... 1.16

Annual cases / 100000.. 23.9

Observed / expected.... 15.52

Relative risk..... 15.79

Log likelihood ratio... 32.663750

P-value..... 0.000000000000082

13. Location IDs included.. VARGEM ALEGRE, ENTRE FOLHAS, BOM JESUS DO GALHO, PINGO-D'ÁGUA, IPABA, INHAPIM, BUGRE, CÓRREGO NOVO, MARLIÉRIA, UBAPORANGA

Coordinates / radius... (19.603800 S, 42.331535 W) / 29.08 km

*Time frame..... 2017/1/1 to 2017/12/31*

*Population..... 98825*

*Number of cases..... 15*

*Expected cases..... 1.53*

*Annual cases / 100000.. 15.1*

*Observed / expected.... 9.81*

*Relative risk..... 9.95*

*Log likelihood ratio... 20.878227*

*P-value..... 0.00000073*

*14.Location IDs included.. TEÓFILO OTONI*

*Coordinates / radius... (17.686009 S, 41.384413 W) / 0 km*

*Time frame..... 2017/1/1 to 2017/12/31*

*Population..... 141222*

*Number of cases..... 16*

*Expected cases..... 2.18*

*Annual cases / 100000.. 11.3*

*Observed / expected.... 7.33*

*Relative risk..... 7.44*

*Log likelihood ratio... 18.153681*

*P-value..... 0.000010*

*15.Location IDs included.. CANAÃ, SÃO MIGUEL DO ANTA, ARAPONGA, PEDRA DO ANTA, CAJURI, JEQUERI, ERVÁLIA, TEIXEIRAS, AMPARO DO SERRA, SERICITA, COIMBRA, VIÇOSA*

*Coordinates / radius... (20.670422 S, 42.620384 W) / 28.06 km*

*Time frame..... 2018/1/1 to 2018/12/31*

*Population..... 168870*

*Number of cases..... 16*

*Expected cases..... 2.59*

*Annual cases / 100000.. 9.5*

*Observed / expected.... 6.18*

*Relative risk..... 6.26*

*Log likelihood ratio... 15.819760*

*P-value..... 0.000098*

*16.Location IDs included.. NOVA ERA, BELA VISTA DE MINAS, JOÃO MONLEVADE, ANTÔNIO DIAS, SÃO DOMINGOS DO PRATA, ITABIRA, SÃO GONÇALO DO RIO ABAIXO, SANTA MARIA DE ITABIRA, RIO PIRACICABA*

*Coordinates / radius... (19.695233 S, 43.032368 W) / 31.47 km*

*Time frame..... 2018/1/1 to 2018/12/31*

*Population..... 290001*

*Number of cases..... 20*

*Expected cases..... 4.46*

*Annual cases / 100000.. 6.9*

*Observed / expected.... 4.49*

*Relative risk..... 4.56*

*Log likelihood ratio... 14.599358*

*P-value..... 0.00032*

*17.Location IDs included.. COLUNA, FREI LAGONEGRO, SÃO JOSÉ DO JACURI, RIO VERMELHO, PAULISTAS, SÃO JOÃO EVANGELISTA, MATERLÂNDIA, SÃO PEDRO DO SUAÇUI, SERRA AZUL DE MINAS, CANTAGALO, FELÍCIO DOS SANTOS*

*Coordinates / radius... (18.236649 S, 42.874554 W) / 39.89 km*

*Time frame..... 2017/1/1 to 2017/12/31*

*Population..... 77200*

*Number of cases..... 9*

*Expected cases..... 1.20*

*Annual cases / 100000.. 11.6*

*Observed / expected.... 7.53*

*Relative risk..... 7.59*

*Log likelihood ratio... 10.394456*

*P-value..... 0.021*

## APÊNDICE C - SAÍDA DO PROGRAMA SATSCAN PARA O ESTADO DO RIO DE JANEIRO

---

*SaTScan v9.6*

---

*Retrospective Space-Time analysis*

*scanning for clusters with high rates*

*using the Discrete Poisson model.*

---

---

### *SUMMARY OF DATA*

*Study period..... 2016/1/1 to 2018/12/31*

*Number of locations..... 92*

*Population, averaged over time..... 16866427*

*Total number of cases..... 303*

*Annual cases / 100000..... 0.6*

---

*CLUSTERS DETECTED*

*1.Location IDs included.. ANGRA DOS REIS, PARATY*

*Coordinates / radius... (22.950000 S, 44.498423 W) / 34.24 km*

*Time frame..... 2018/1/1 to 2018/12/31*

*Population..... 238402*

*Number of cases..... 75*

*Expected cases..... 1.45*

*Annual cases / 100000.. 31.0*

*Observed / expected.... 51.76*

*Relative risk..... 68.46*

*Log likelihood ratio... 232.253339*

*P-value..... < 0.000000000000000001*

*2.Location IDs included.. NOVA FRIBURGO, BOM JARDIM, SUMIDOURO, DUAS BARRAS, CORDEIRO, SILVA JARDIM, CACHOEIRAS DE MACACU, TRAJANO DE MORAES, MACUCO, TERESÓPOLIS*

*Coordinates / radius... (22.307000 S, 42.493482 W) / 38.22 km*

*Time frame..... 2018/1/1 to 2018/12/31*

*Population..... 534349*

*Number of cases..... 81*

*Expected cases..... 3.24*

*Annual cases / 100000.. 15.0*

*Observed / expected.... 24.98*

*Relative risk..... 33.74*

*Log likelihood ratio... 194.013338*

*P-value..... < 0.000000000000000001*

*3.Location IDs included.. VASSOURAS, ENGENHEIRO PAULO DE FRONTIN, MIGUEL PEREIRA, PATY DO ALFERES, MENDES, RIO DAS FLORES, PARACAMBI, BARRA DO PIRAÍ, JAPERI, VALENÇA*

*Coordinates / radius... (22.371000 S, 43.593598 W) / 33.79 km*

*Time frame..... 2018/1/1 to 2018/12/31*

*Population..... 455645*

*Number of cases..... 69*

*Expected cases..... 2.76*

*Annual cases / 100000.. 14.9*

*Observed / expected.... 24.96*

*Relative risk..... 32.03*

*Log likelihood ratio... 163.669502*

*P-value..... < 0.000000000000000001*

*4.Location IDs included.. CASIMIRO DE ABREU*

*Coordinates / radius... (22.476000 S, 42.152060 W) / 0 km*

*Time frame..... 2017/1/1 to 2017/12/31*

*Population..... 8406*

*Number of cases..... 8*

*Expected cases..... 0.050*

*Annual cases / 100000.. 95.7*

*Observed / expected.... 159.90*

*Relative risk..... 164.21*

*Log likelihood ratio... 32.751788*

*P-value..... 0.0000000000040*

*5.Location IDs included.. RIO CLARO, MANGARATIBA, PIRAÍ*

*Coordinates / radius... (22.786000 S, 44.074474 W) / 21.24 km*

*Time frame..... 2018/1/1 to 2018/12/31*

*Population..... 89466*

*Number of cases..... 10*

*Expected cases..... 0.54*

*Annual cases / 100000.. 11.0*

*Observed / expected.... 18.40*

*Relative risk..... 19.00*

*Log likelihood ratio... 19.817506*

*P-value..... 0.00000056*



*6.Location IDs included.. ITATIAIA, RESENDE*

*Coordinates / radius... (22.443000 S, 44.566154 W) / 14.95 km*

*Time frame..... 2018/1/1 to 2018/12/31*

*Population..... 159046*

*Number of cases..... 10*

*Expected cases..... 0.97*

*Annual cases / 100000.. 6.2*

*Observed / expected.... 10.36*

*Relative risk..... 10.68*

*Log likelihood ratio... 14.480684*

*P-value..... 0.000074*

*7.Location IDs included.. ITAOCARA, APERIBÉ, SÃO SEBASTIÃO DO ALTO, SANTO ANTÔNIO DE PÁDUA, CANTAGALO*

*Coordinates / radius... (21.729000 S, 42.090270 W) / 27.24 km*

*Time frame..... 2018/1/1 to 2018/12/31*

*Population..... 97733*

*Number of cases..... 7*

*Expected cases..... 0.59*

*Annual cases / 100000.. 7.1*

*Observed / expected.... 11.81*

*Relative risk..... 12.07*

*Log likelihood ratio... 10.943919*

*P-value..... 0.0019*

## APÊNDICE D - SAÍDA DO PROGRAMA SATSCAN PARA O ESTADO DO SÃO PAULO

---

*SaTScan v9.6*

---

*Retrospective Space-Time analysis  
scanning for clusters with high rates  
using the Discrete Poisson model.*

---



---

### *SUMMARY OF DATA*

*Study period..... 2016/1/1 to 2018/12/31*  
*Number of locations..... 644*  
*Population, averaged over time..... 45125927*  
*Total number of cases..... 568*  
*Annual cases / 100000..... 0.4*

---

### *CLUSTERS DETECTED*

*1.Location IDs included.. NAZARÉ PAULISTA, BOM JESUS DOS  
PERDÕES, SANTA ISABEL, ARUJÁ, PIRACAIA, MAIRIPORÃ, GUARULHOS,  
ATIBAIA, IGARATÁ, ITAQUAQUECETUBA, JOANÓPOLIS*

*Coordinates / radius... (23.204818 S, 46.377322 W) / 34.43 km*  
*Time frame..... 2018/1/1 to 2018/12/31*  
*Population..... 697444*  
*Number of cases..... 269*

*Expected cases*..... 2.95  
*Annual cases / 100000*.. 38.2  
*Observed / expected*.... 91.18  
*Relative risk*..... 172.31  
*Log likelihood ratio*... 1023.642143  
*P-value*..... < 0.000000000000000001

*2.Location IDs included.. SÃO PAULO*

*Coordinates / radius*... (23.682308 S, 46.716986 W) / 0 km  
*Time frame*..... 2018/1/1 to 2018/12/31  
*Population*..... 32870  
*Number of cases*..... 29  
*Expected cases*..... 0.14  
*Annual cases / 100000*.. 88.3  
*Observed / expected*.... 210.50  
*Relative risk*..... 221.77  
*Log likelihood ratio*... 127.019359  
*P-value*..... < 0.000000000000000001

*3.Location IDs included.. ITARIRI, PERUÍBE, PEDRO DE TOLEDO, MIRACATU, ITANHAÉM, JUQUITIBA*

*Coordinates / radius*... (24.286058 S, 47.110552 W) / 38.65 km  
*Time frame*..... 2018/1/1 to 2018/12/31  
*Population*..... 87722  
*Number of cases*..... 24  
*Expected cases*..... 0.37  
*Annual cases / 100000*.. 27.4  
*Observed / expected*.... 65.23  
*Relative risk*..... 68.07  
*Log likelihood ratio*... 77.138228  
*P-value*..... < 0.000000000000000001

*4.Location IDs included.. UBATUBA*

*Coordinates / radius... (23.397428 S, 45.070514 W) / 0 km*

*Time frame..... 2018/1/1 to 2018/12/31*

*Population..... 6098*

*Number of cases..... 11*

*Expected cases..... 0.026*

*Annual cases / 100000.. 177.6*

*Observed / expected.... 423.30*

*Relative risk..... 431.64*

*Log likelihood ratio... 55.661554*

*P-value..... < 0.000000000000000001*

*5.Location IDs included.. ALUMÍNIO, MAIRINQUE, VOTORANTIM, SOROCABA, SÃO ROQUE, ARAÇARIGUAMA, ITU, VARGEM GRANDE PAULISTA, ITAPEVI, CABREÚVA, IBIÚNA, COTIA, PIRAPORA DO BOM JESUS, PIEDADE*

*Coordinates / radius... (23.533635 S, 47.271108 W) / 34.70 km*

*Time frame..... 2018/1/1 to 2018/12/31*

*Population..... 598767*

*Number of cases..... 33*

*Expected cases..... 2.54*

*Annual cases / 100000.. 5.4*

*Observed / expected.... 12.97*

*Relative risk..... 13.71*

*Log likelihood ratio... 54.947777*

*P-value..... < 0.000000000000000001*

*6.Location IDs included.. MONTEIRO LOBATO, SANTO ANTÔNIO DO PINHAL, TREMEMBÉ*

*Coordinates / radius... (22.937472 S, 45.793060 W) / 19.15 km*

*Time frame..... 2018/1/1 to 2018/12/31*

*Population..... 65154*

*Number of cases..... 11*

*Expected cases..... 0.28*

*Annual cases / 100000.. 16.6*  
*Observed / expected.... 39.60*  
*Relative risk..... 40.37*  
*Log likelihood ratio... 29.847855*  
*P-value..... 0.00000000026*

*7.Location IDs included.. VALINHOS*

*Coordinates / radius... (22.980144 S, 46.985061 W) / 0 km*  
*Time frame..... 2018/1/1 to 2018/12/31*  
*Population..... 12842*  
*Number of cases..... 7*  
*Expected cases..... 0.055*  
*Annual cases / 100000.. 53.6*  
*Observed / expected.... 127.71*  
*Relative risk..... 129.29*  
*Log likelihood ratio... 27.045542*  
*P-value..... 0.00000000046*

*8.Location IDs included.. MONTE ALEGRE DO SUL, PINHALZINHO, SERRA NEGRA, AMPARO, TUIUTI, SOCORRO*

*Coordinates / radius... (22.706996 S, 46.666885 W) / 19.51 km*  
*Time frame..... 2017/1/1 to 2017/12/31*  
*Population..... 168230*  
*Number of cases..... 12*  
*Expected cases..... 0.70*  
*Annual cases / 100000.. 7.1*  
*Observed / expected.... 17.04*  
*Relative risk..... 17.38*  
*Log likelihood ratio... 22.841555*  
*P-value..... 0.000000033*

*9.Location IDs included.. IGUAPE*

*Coordinates / radius... (24.591823 S, 47.484625 W) / 0 km*

*Time frame..... 2018/1/1 to 2018/12/31*  
*Population..... 9441*  
*Number of cases..... 5*  
*Expected cases..... 0.040*  
*Annual cases / 100000.. 52.8*  
*Observed / expected.... 125.85*  
*Relative risk..... 126.96*  
*Log likelihood ratio... 19.236814*  
*P-value..... 0.0000013*

*10.Location IDs included.. SÃO JOÃO DA BOA VISTA, ÁGUAS DA PRATA*

*Coordinates / radius... (21.966471 S, 46.815651 W) / 13.05 km*  
*Time frame..... 2017/1/1 to 2017/12/31*  
*Population..... 10945*  
*Number of cases..... 3*  
*Expected cases..... 0.046*  
*Annual cases / 100000.. 27.4*  
*Observed / expected.... 65.35*  
*Relative risk..... 65.70*  
*Log likelihood ratio... 9.593036*  
*P-value..... 0.019*

## APÊNDICE E- *CLUSTERS* REGIÃO SUDESTE

Em alguns resultados foram encontrados *clusters* que ultrapassam os limites fronteiriços dos seus estados, desta forma realizou-se uma análise para região sudeste com os mesmos padrões utilizados para cada estado, ou seja, os dados de caso, população e coordenadas de latitude e longitude, e período da ocorrência dos casos (1/01/2016 a 31/12/2018), o raio de 40Km, a proporção da população de 50% e p-valor menor que 0,05<sup>18</sup>.

Como resultado observou-se que existe dois *clusters* de fronteira entre MG e ES – 10 e 5 -; existe um *cluster* de fronteira entre MG e RJ – 8 -, RJ e SP – 7-, MG e SP – 18 – e MG, SP e RJ – 27 – como pode ser observado na figura 25. Na figura 26, verificou-se que alguns *clusters* da RSE se sobrepõem aos dos estados ou se encontra contido nos mesmos.

Na tabela 6 encontra-se as descrições dos *cluster*, onde no ano de 2017 foram detectados 2 agrupamentos, sendo o destaque para o *cluster* 5 o mais verossímil (LLR=561,76), além de possuir o maior número de casos observados (139), esperado (4,03), maior razão de casos observados/esperados (34,52) e risco relativo (6,90). Vale destacar que esse *cluster* se encontra na fronteira de MG e ES, onde o ES apresenta o maior número de casos nesse ano, também nota-se que nos municípios fronteiriços no ano de 2017 são apresentados números elevados de PNH contaminados (figura 21) e taxas de incidência bruta variando de 1 a 5 (Figura 12A e 14A).

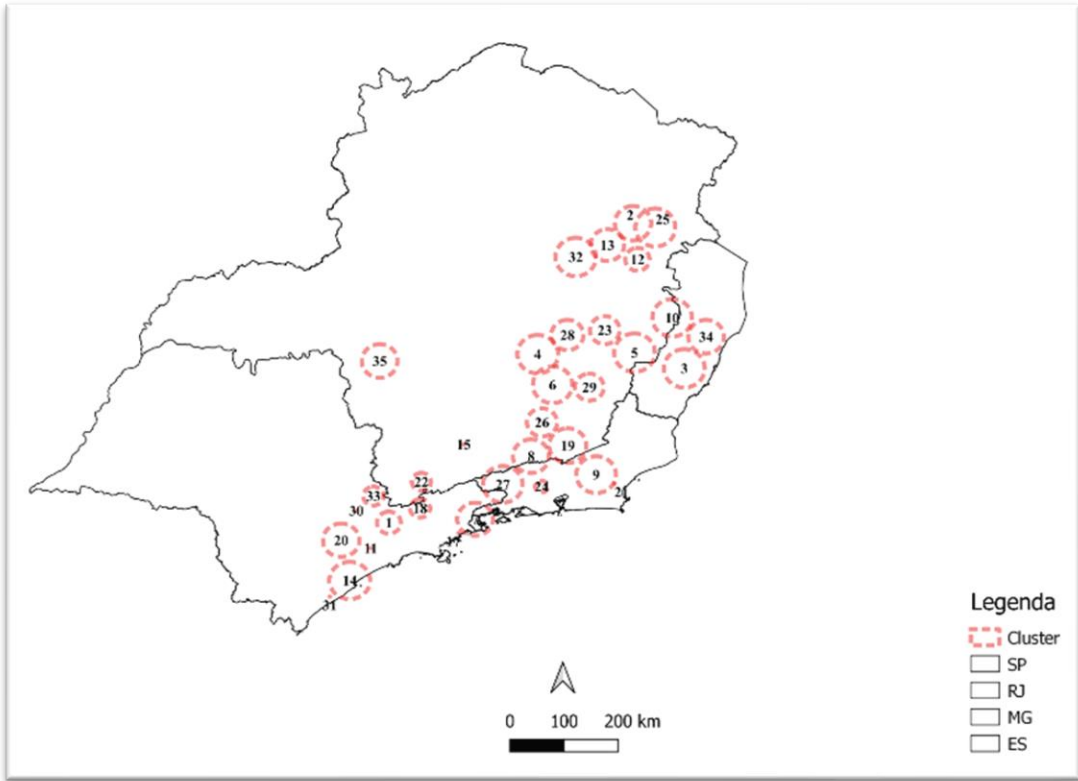
No ano de 2018, foram detectados 3 agrupamentos, sendo o *cluster* 8 o que apresenta o maior número de casos observados (91) e esperados (5,47), este se encontra na divisa de MG com o RJ o que mostra a tendência de deslocamento dos casos em direção ao sul de ambos os estados. O *cluster* 7 foi o agrupamento mais verossímil (LLR=195,97), além de apresentar a maior razão de casos observados/esperados (35,43) e risco relativo (36,71), este *cluster* se encontra na fronteira do RJ com SP pela área da Serra da Bocaina. No ano de 2017 apenas Angra do Reis (Costa Verde Fluminense) possui epizootias (figura 21) enquanto no ano seguinte o município de Paraty (RJ) e Cunha (SP) passam a ter registros de epizootias (figura 22).

---

<sup>18</sup> Esse *cluster* foi gerado apenas para observação do comportamento interestadual, as análises deste trabalho se basearam apenas nos *clusters* gerados por estado, pois cada um possui uma legislação.

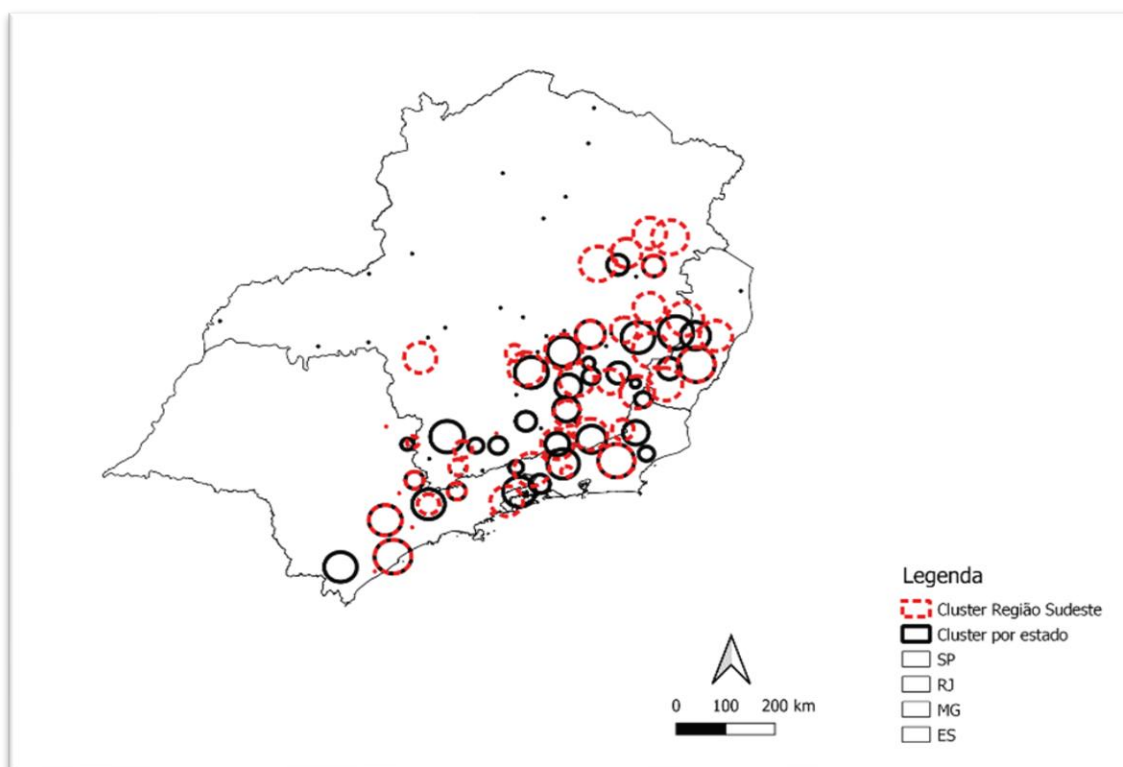


Figura A1. Mapa de localização dos *clusters* na RSE no período de 2016 a 2018.



Fonte. própria.

Figura A2. Mapa de localização dos *clusters* dos estados e da RSE no período de 2016 a 2018



Fonte. própria.

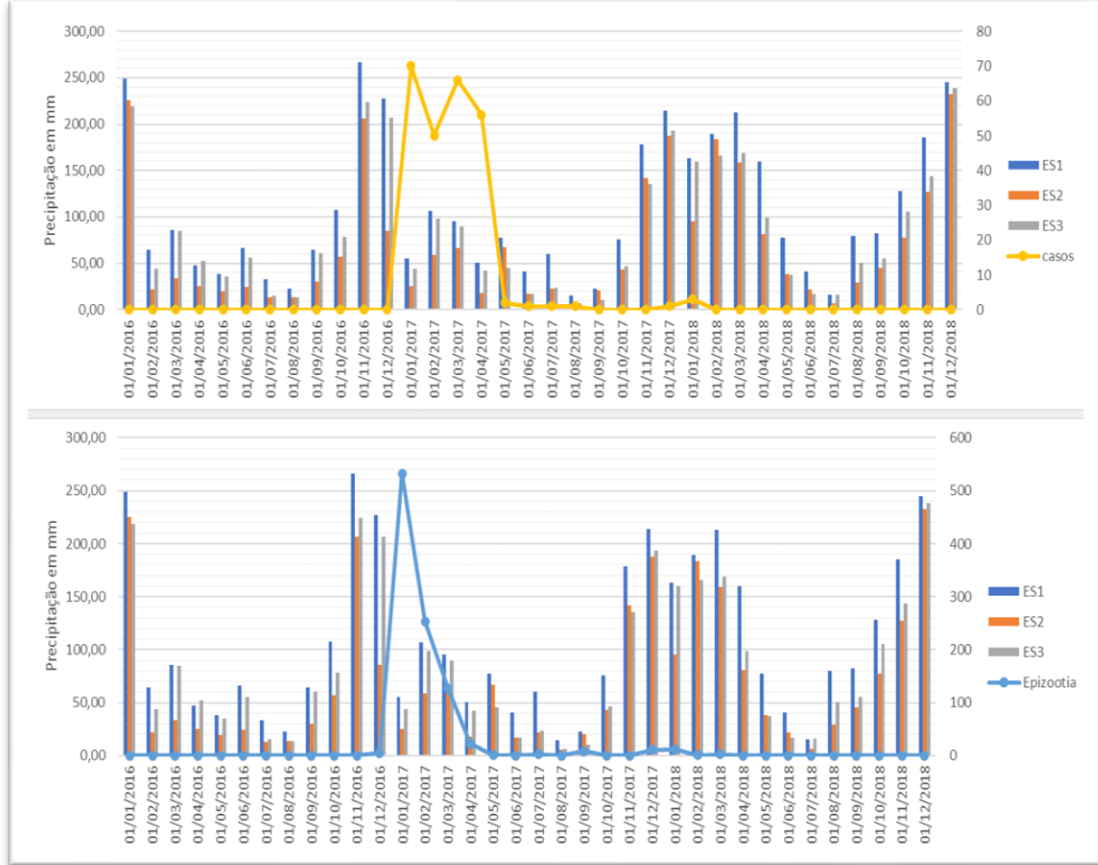
Tabela A1. Descrição dos *clusters* na RSE no período de 2016 a 2018.

Cluster	Ano	Fronteira	Nº de municípios	LLR	P-valor	Observado	Esperados	Razão obs. / esperado	RR
5	2017	MG ES	20	361,76	1E-17	139	4,03	34,52	36,90
7	2018	SP RJ	3	195,97	1E-17	75	2,12	35,43	36,71
8	2018	MG RJ	9	177,84	1E-17	93	5,47	17,00	17,75
10	2017	MG ES	8	114,23	1E-17	46	1,47	31,21	31,89
18	2018	MG SP	4	37,54	9,9E-14	16	0,59	27,27	27,47
27	2018	MG SP RJ	14	25,83	9,54E-09	33	6,87	4,81	4,87

Fonte. própria.



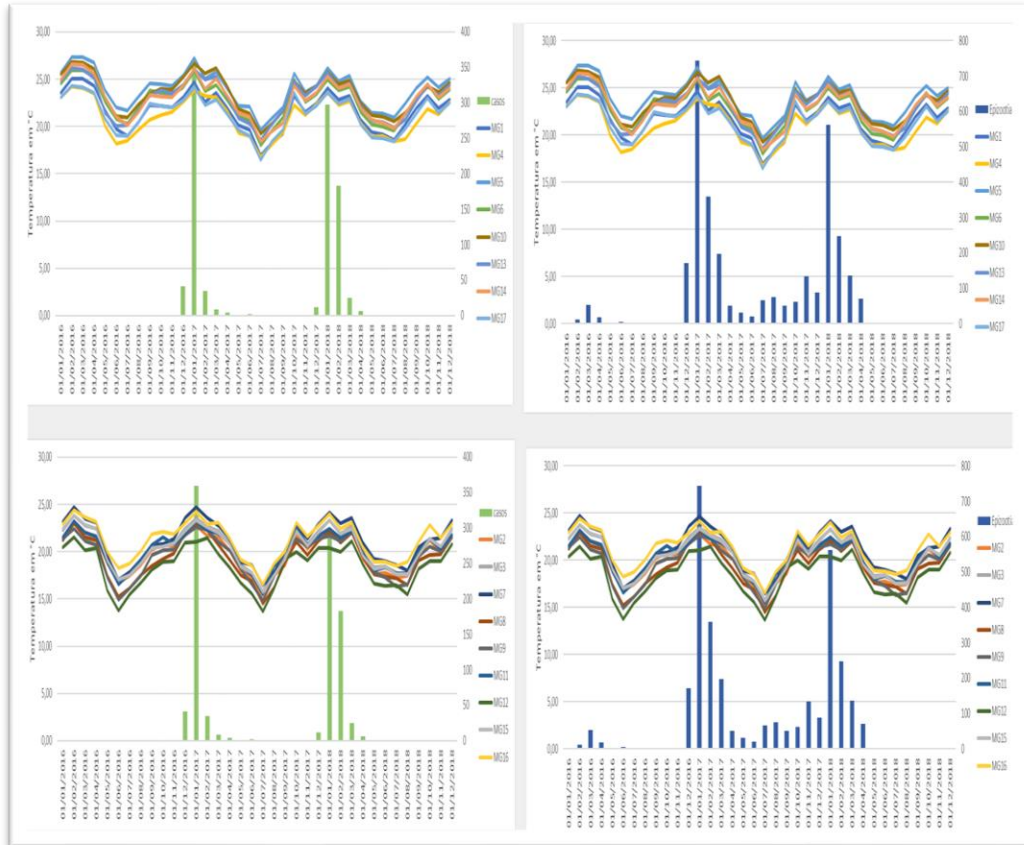
B)



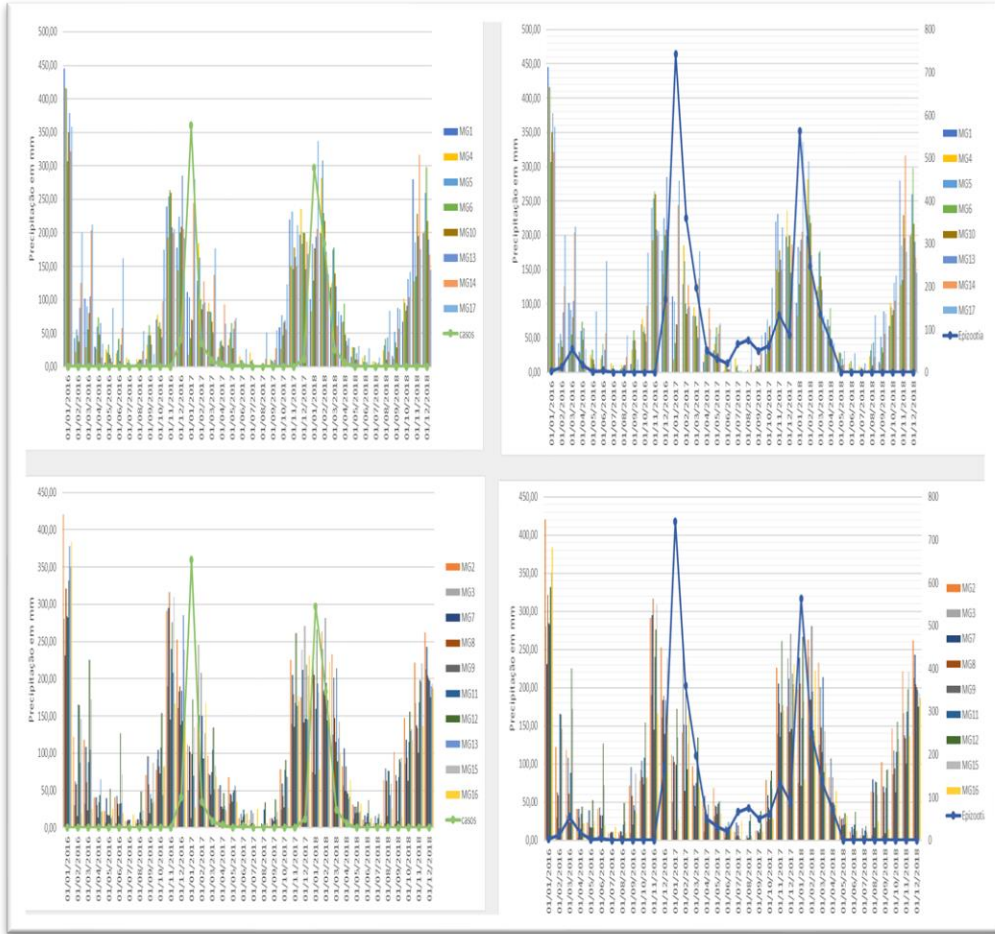
Fonte. própria.

Figura A4. Gráfico de casos e epizootias com relação a temperatura (A) e precipitação (B) o Estado do Minas Gerais

A)



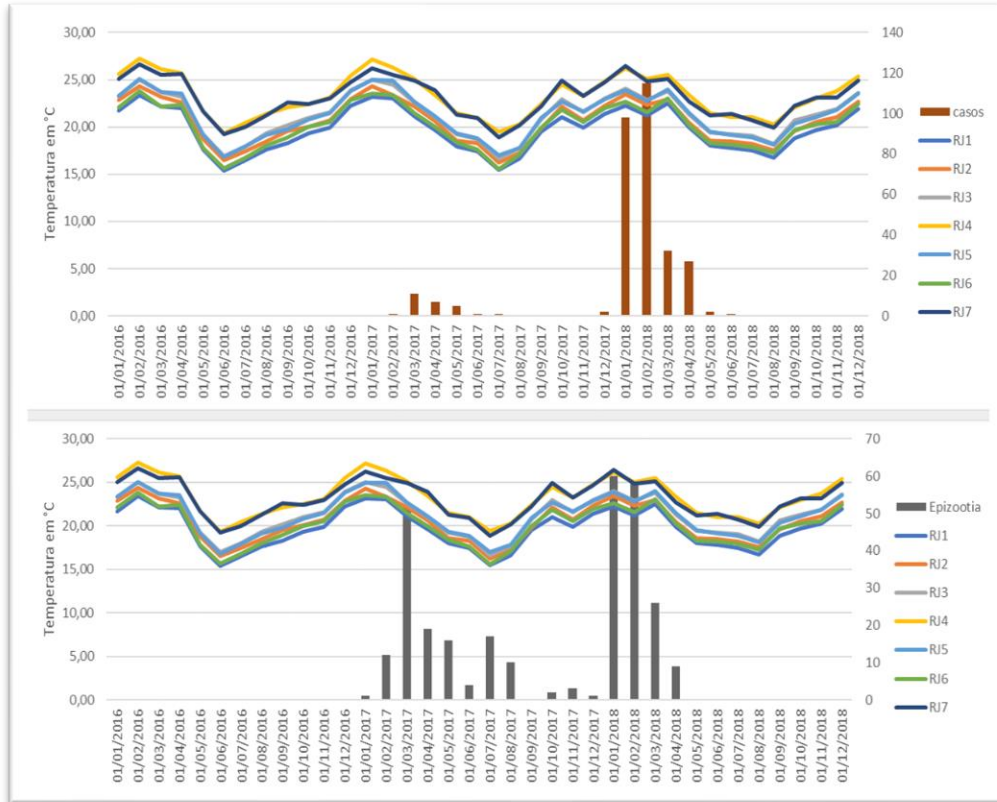
B)



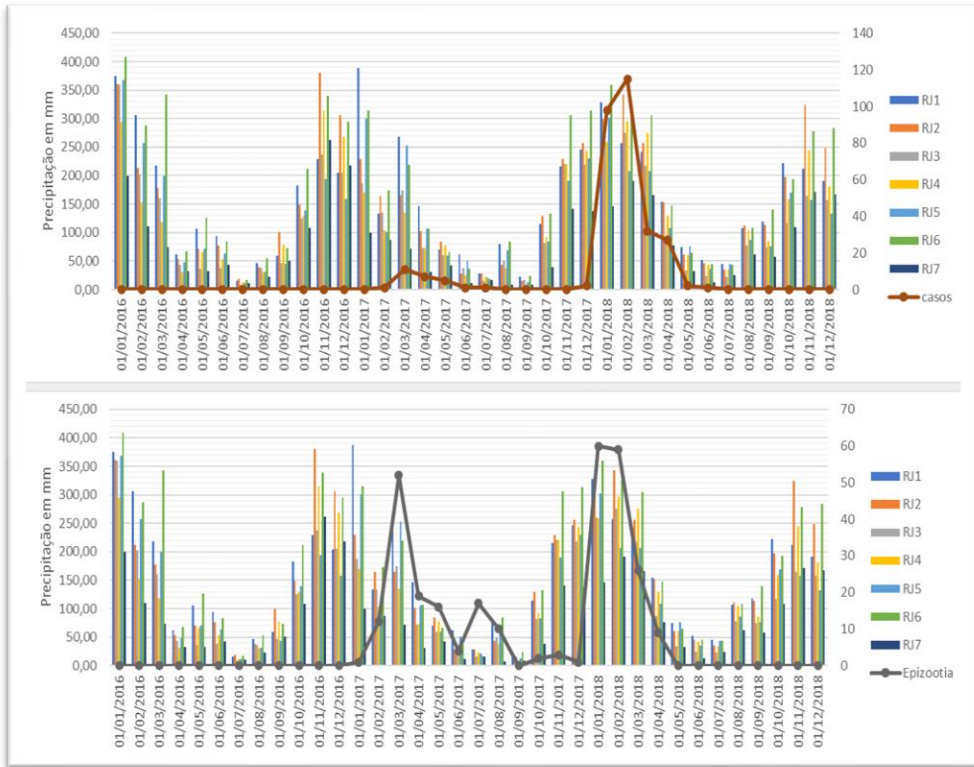
Fonte. própria.

FiguraA5. Gráfico de casos e epizootias com relação a temperatura (A) e precipitação (B) o Estado do Rio de Janeiro

A)



B)

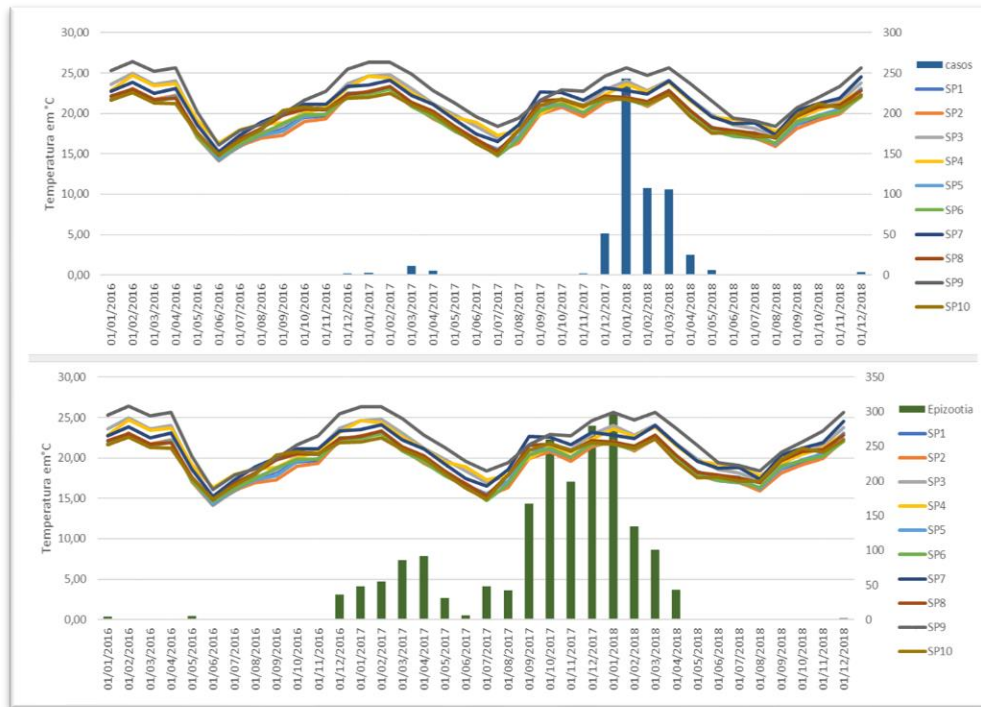


Fonte. própria.

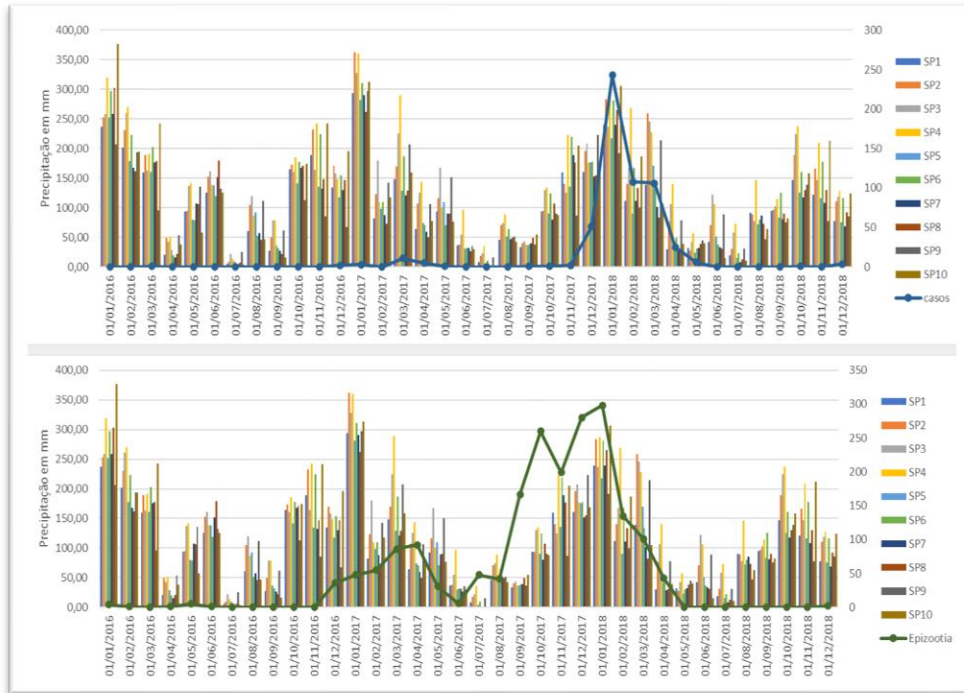


FiguraA6. Gráfico de casos e epizootias com relação a temperatura (A) e precipitação (B) o Estado do São Paulo

A)



B)



Fonte. própria.