

INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS E AMBIENTAIS NA DISTRIBUIÇÃO POTENCIAL DO *LUTZOMYIA LONGIPALPIS* (PSYCHODIDAE: PHLEBOTOMINAE) NO ESTADO DE SÃO PAULO, BRASIL

INFLUENCE OF CLIMATIC AND ENVIRONMENTAL VARIABLES ON THE POTENTIAL DISTRIBUTION OF *LUTZOMYIA LONGIPALPIS* (PSYCHODIDAE: PHLEBOTOMINAE) IN THE STATE OF SÃO PAULO, BRASIL

Elivelton Da Silva Fonseca

Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia
elivelton.fonseca@gmail.com

Moara De Santana Martins Rodgers

Universidade do Estado da Louisiana, Estados Unidos
moaramartins@hotmail.com

Baltazar Casagrande

Universidade Estadual Paulista, Campus de Presidente Prudente
flebalta@gmail.com

Nilton Barnabé Rodrigues

Centro de Pesquisas René Rachou, Fiocruz Minas
nilton.rodrigues@hotmail.com

Raul Borges Guimarães

Universidade Estadual Paulista, Campus de Presidente Prudente
raul@fct.unesp.br

RESUMO

Leishmaniose Visceral é uma doença transmitida pelo flebótomo, numa complexa interação com a entidade nosogeográfica. Este trabalho pretende desenvolver uma abordagem geográfica sobre a Leishmaniose Visceral no estado de São Paulo, com o apoio da Modelagem do Nicho Ecológico. O objetivo é correlacionar a distribuição espacial do vetor *Lutzomyia longipalpis* com variáveis climáticas e ambientais e comparar a distribuição dos casos humanos com o mapa no modelo final da Máxima Entropia (MaxEnt). Foram levantados dados de ocorrência do *Lu. longipalpis* de 1997 a 2016, por municípios paulistas. Também foram levantados dados ambientais bioclimáticos (BIOCLIM), com resolução espacial de 1km. O vetor *Lu. longipalpis* foi relatado em 166 municípios desde 1997, sendo a maioria no oeste do estado. No estado, algumas variáveis foram correlacionadas com a distribuição do vetor: Temperatura de Superfície, Distribuição da população, oscilações de temperatura dia-noite (4%), temperatura máxima no mês mais quente (16,1%), além de precipitação no mês mais seco (22,7%), sazonalidade da precipitação (16,7%), Precipitação no trimestre mais úmido (21,8%), precipitação no trimestre mais seco (10,3%) e precipitação no trimestre mais frio (8,3%). Os dados indicam claramente uma probabilidade de expansão do centro do estado em direção a Campinas e Piracicaba. Com relação ao primeiro eixo de expansão no estado, do centro para o oeste, sugere-se trabalho com os assentamentos, que podem ser uma fonte de um caso específico de expansão da LV, o "novo rural", fechando a hipótese rural-urbano-novo rural.

Palavras-chave: Leishmaniose Visceral. *Lutzomyia longipalpis*. MaxEnt. Modelo do Nicho Ecológico.

ABSTRACT

Visceral leishmaniasis (VL) is a disease transmitted by phlebotomine sandflies, in a complex interaction with the nosogeography entity. This work is a geographical approach of VL in the state of São Paulo, supported by Ecological Niche Modeling. The goal is to verify the

Recebido em: 10/12/2019

Aceito para publicação em: 21/02/2020

correlation between the spatial distribution of the sandfly *Lutzomyia longipalpis* and environmental variables, and verify the overlay distribution of reported human cases and final model of Maximum Entropy (MaxEnt). Data reports of the occurrence of *Lu. longipalpis* by municipalities from 1997-2016 were collected. Also environmental data from bioclimatic variables (BIOCLIM) in a 1km spatial resolution were collected. In the state, some variables were correlated with the sandfly distribution, such as: day-to-night ascilations in temperature (4%), maximum monthly temperature occurrence over a given year (16.1%), total precipitation during the driest month (22.7%), variation in monthly precipitation totals over the course of the year (16.7%), total precipitation that prevails during the wettest quarter (21.8%), total precipitation that prevails during the driest quarter (10.3%) and total precipitation that prevails during the coldest quarter (8.3%). The data clearly indicate a likelihood of expansion from the center of the state into Campinas and Piracicaba (east). Regarding the first expansion axis in the state, from center to the west, it is suggested working with the settlements, which can be a source of a specific case of VL expansion, the "new rural", enclosing the rural-urban-new rural hypothesis.

Keywords: Visceral Leishmaniasis. *Lutzomyia longipalpis*. MaxEnt. Ecological Niche Modeling.

INTRODUÇÃO

Os parasitas de *Leishmania* são transmitidos através da picada do vetor flebotomo infectado. As condições de vida deste vetor podem ser influenciadas por mudanças ambientais e climáticas, uma vez que são uma forma natural de controle de vetores biológicos (PETERSON et al., 2017). Tais mudanças têm sido descritas como fator que modifica a ecologia de algumas espécies de flebotomíneos, e conseqüentemente, altera a eco-epidemiologia das leishmanioses (BRASIL, 2006; FRANKE et al., 2002; WERNECK, 2008; WERNECK, 2010).

Descrever a distribuição geográfica em áreas de susceptibilidade climática, reforçadas pelas áreas onde são encontrados focos de vetores pode direcionar para uma compreensão da doença no âmbito regional. Este argumento foi utilizado para pensar a geografia da leishmaniose no estado de São Paulo.

Mesmo com ampla distribuição da leishmaniose em todo o país, existem lacunas a respeito do padrão de dispersão em áreas de transmissão, devido a carência de dados, mudança do padrão de rural para urbano, necessidade de levantamentos de alto custo sobre a abundância destes vetores e pouca formação em tecnologias geoespaciais. Apesar disso, existe uma intrínseca relação da expansão de casos pelos municípios carregados por áreas onde o vetor tem sido encontrado (MURRAY et al., 2012; CASANOVA et al., 2015).

Quanto a forma visceral da leishmaniose (LV), um número estimado de 310 milhões de pessoas está sob o risco e apresenta de 50.000 a 90.000 novos casos por ano. Apesar da dispersão espacial da doença, mais de 90% dos casos relatados ocorrem em sete países: Bangladesh, Índia, Nepal, Etiópia, Quênia, Sudão e no Brasil (PIGOTT et al., 2014; WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2010). Nas Américas, a maioria dos casos registrados são atribuídos ao Brasil, sobretudo ao Nordeste do país. A LV canina pelo *L. infantum* é endêmica em todas as regiões do Brasil (ALVAR et al., 2012).

Com relação aos vetores flebotomíneos, constam atualmente 69 espécies no estado de São Paulo, com o *Lu. Longipalpis* sendo elencado como principal vetor da LV (SHIMABUKURO et al., 2010).

No estado de São Paulo, em tese, foi registrado o primeiro caso humano de LV em 1999, em Araçatuba. Desde então o vetor está cada vez mais adaptado às áreas urbanas e o estado apresenta atualmente um processo de difusão bem peculiar em direção à fronteira de expansão-oeste (NAUFAL SPIR et al., 2017).

O presente trabalho pretende desenvolver uma abordagem geográfica sobre a Leishmaniose Visceral e o vetor *Lu. Longipalpis* no estado de São Paulo, com o apoio do Modelo do Nicho Ecológico. Justifica-se uma vez que é preocupante o quadro de expansão da doença no estado, relacionado ao processo de transformação espacial, que demonstra intrínseca relação com elementos geográficos,

de ordem climática. Duas questões se colocam neste âmbito: 1. Existe interferência de variáveis ambientais no padrão espacial da distribuição do *Lu. Longipalpis* no estado de São Paulo? 2. Esse padrão é correlacionado com a distribuição dos casos notificados de LV?

O objetivo é explorar e avaliar a potencial distribuição geográfica regional da susceptibilidade a presença do vetor *Lu. Longipalpis*, com o apoio de métodos estatísticos e o modelo do nicho ecológico. Também identificar semelhanças e diferenças entre as áreas de susceptibilidade com as áreas onde a LV foi encontrada no estado de São Paulo; Verificar a associação da presença da LV humana com variáveis provenientes de fontes secundárias.

PROCEDIMENTOS EXECUTADOS

Origem dos dados:

Foram levantados pela Superintendência de Controle de Endemias (SUCEN) dados de ocorrência do *Lu. longipalpis* de 1997 a 2016, por municípios paulistas. Para identificação das espécies na coleta dos dados, a SUCEN utilizou a classificação de Young e Duncan, de 1994.

Os dados sobre os casos humanos de LV são provenientes do Centro de Vigilância Epidemiológica (CVE), e serviram de base para o cálculo da taxa de incidência, que é igual a razão entre o número de casos de leishmanioses e o número de residentes na área de estudo multiplicado por 100.000. Para o cálculo da incidência foram utilizadas estimativas populacionais para cada ano de notificação ou para o ano mais próximo.

Foram levantados dados ambientais no domínio Bioclim (<http://www.worldclim.org/current>), que correspondem a dados climáticos globais com resolução espacial de 1 km quadrado.

Também foram coletados dados em sítios de domínio público para cruzamentos: *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), para identificar o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), *Land Surface Temperature* (LST), Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e distribuição da população. Os dados do MODIS estão disponíveis no sítio: <https://modis.gsfc.nasa.gov/> e o IDH e população foram extraídos do domínio da fundação SEADE, SP (www.seade.gov.br).

Variáveis explicativas

Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

Dentre os dados obtidos do MODIS, foram utilizados dois produtos: o NDVI e o LST, na forma de imagens orbitais captadas de agosto de 2002, agosto de 2009 e agosto de 2011. Uma vez adquiridas as imagens de interesse, adotou-se o *Modis Reprojection Tools* (MRT) para conversão do formato de dados do formato hierárquico para outras projeções cartográficas em formato *Geocoded Tagged Image File Format (Geotiff)* (WAN, 2013). O resultado desse procedimento foi importado para o software ArcMap 9.2.

Normalized Difference Vegetation Index

O produto MOD13 apresenta o NDVI composto por imagens de 16 dias de leitura do sensor. Os índices de vegetação são capazes de identificar a abundância de cobertura vegetal, através de medidas radiométricas em imagens de satélite. O NDVI é baseado na diferença entre a máxima absorção da radiação no espectro do vermelho com respeito à máxima reflexão da radiação no espectro do infravermelho próximo, onde a vegetação fica claramente discretizada (RYAN, [s.d.]).

Temperatura de Superfície

A variável Temperatura de Superfície utiliza os dados dos níveis 2 e 3 com o algoritmo *Land Surface Temperature* (LST) e a emissividade recuperados dos dados obtidos a bordo do satélite TERRA, com resoluções espaciais de 1,1 Km da superfície terrestre em condições atmosféricas adequadas (céu limpo). O algoritmo LST é empregado para recompor *pixels* com emissividades conhecidas

(ANDERSON, [s.d.]). Para isso, fez-se uso das bandas 31 e 32, equivalentes ao infravermelho termal. A escolha de tais bandas se deve ao fato de seus níveis digitais (ND's) representarem a quantidade de energia pela qual a superfície terrestre responde no espaço.

Foi necessário usar um fator de conversão para que os dados da imagem fossem transformados de Kelvin para Celsius. Com rotina de operações aritméticas, foi aplicado o fator de conversão: $PgC = (B1 * 0.02) - 273$, onde:

PgC = valor do pixel em graus Celsius:

B1 = valor original do pixel em graus Kelvin.

Índice de Desenvolvimento Humano e Distribuição da População

O IDH foi usado para a compreensão da situação socioeconômica do estado de São Paulo e foi feito um levantamento da distribuição da população, de acordo com dados do IBGE. Optou-se pelo IDH, por ser um indicador mundialmente conhecido e passível comparações, reprodução do estudo em outros estados e regiões. (<http://www.pnud.org.br>).

Modelo do Nicho Ecológico

Os modelos de nicho ecológico utilizam dados de ocorrência de espécies em conjunto com dados ambientais a fim mensurar as condições ambientais que atendam às exigências ecológicas dessa espécie (WARREN, DAN L., SEIFERT, 2011). MaxEnt, ou método de máxima entropia é uma técnica de modelagem do nicho ecológico que utiliza dados de presença, para identificar a potencial distribuição de espécies. Este método estima a distribuição de espécies encontrando a distribuição mais uniforme dos pontos de amostragem, em comparação com os dados das variáveis e sua localização espacial (PHILLIPS; ANDERSON; SCHAPIRE, 2006). Uma das suas vantagens em relação a outros métodos de modelagem é a produção de uma superfície espacialmente contínua, interpolando os resultados espacialmente (PHILLIPS; AVENUE; PARK, 1997; WISZ et al., 2008; ZEIMES et al., 2012).

Variáveis Bioclimáticas

As variáveis do Bioclim foram incluídas no modelo do nicho ecológico, como se segue:

BIO1 = temperatura Média Anual; BIO2 = alcance da Média Diurna (média mensal (máximo temporário - mínima temperatura)); BIO3 = isotermalidade ($BIO2 / BIO7$)*100; BIO4 = temperatura Sazonal (desvio padrão * 100); BIO5 = máxima temperatura do mês mais quente; BIO6 = mínima temperatura do mês mais frio; BIO7 = faixa de temperatura anual ($BIO5 - BIO6$); BIO8 = temperatura média do trimestre mais úmido; BIO9 = temperatura média do trimestre mais seco; BIO10 = temperatura média do trimestre mais quente; BIO11 = temperatura média do trimestre mais frio; BIO12 = precipitação anual; BIO13 = precipitação do dia mais chuvoso do mês; BIO14 = precipitação do mês mais seco; BIO15 = sazonalidade da precipitação (coeficiente de variação); BIO16 = precipitação do trimestre mais chuvoso; BIO17 = precipitação do trimestre mais seco; BIO18 = precipitação do trimestre mais morno; BIO19 = precipitação do trimestre mais frio; (Tradução nossa, 2017).

Análise Estatística:

Foi analisada a associação dos dados com variáveis sócio econômicas e ambientais provenientes de fontes secundárias. Para tal, foi utilizado o teste qui-quadrado para verificar o valor da dispersão das variáveis duas a duas. Todas variáveis foram categorizadas com dois cortes, um acima e outro abaixo do valor da mediana. Adotou-se o valor de $P = 0.05$, portanto, o nível de significância de 95%.

Para analisar a associação entre leishmaniose, variáveis ambientais e socioeconômicas no estado de São Paulo, realizamos estatística descritiva e regressão binária logística. Com o desfecho presença

da LV nos municípios do estado, realizamos diferentes abordagens estatísticas: para dados categóricos, medimos a importância de todas as variáveis descritas anteriormente com frequência e porcentagem. Para dados contínuos, analisamos com base na mediana e percentis 25 e 75. Ambos os métodos foram realizados com base na revisão da literatura.

Depois de descrever as variáveis, realizamos os cruzamentos para comparações entre cada variável e o desfecho binário (Tabela 1). Para isso, utilizamos o teste qui-quadrado e *odds ratio*. Para valores numéricos classificados como categóricos, utilizamos o teste de Mann-Whitney.

Foi gerada uma regressão binária logística com o método *stepwise, forward conditional*, que permite a checagem das variáveis por importância no modelo, de acordo com os parâmetros delimitados no estudo. Utilizou-se no estudo o número total dos municípios paulistas, que corresponde a 645. Também foi utilizado o teste *Hosmer and Lemeshow* (D.W. HOSMER, 2000), como forma de avaliar a acurácia do modelo de regressão.

Sistema de Informação Geográfica

Todos os dados foram transpostos para plataformas de Sistema de Informação Geográfica ArcMap (ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, 2013), no formato matricial. Após esse procedimento, foi rodado o modelo do nicho ecológico no programa MaxEnt versão 3.3.3. Os modelos gerados foram avaliados a partir da área sob a *Receiver Operating Characteristic Curve* (AUC - ROC) e análise de JackKnife. A AUC mede a capacidade de um modelo para discriminar entre os locais onde uma espécie está presente, versus aqueles em que está ausente (HANLEY; MCNEIL, 1982). A análise de JackKnife avalia a contribuição de cada variável ambiental no modelo e gera curvas de resposta que mostram a influência de uma variável sobre a probabilidade de presença (ZEIMES et al., 2012).

Como mapas base foram utilizados os polígonos de municípios do IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2010).

Cenários de susceptibilidade

Foram gerados mapas temáticos com a distribuição espacial da leishmaniose visceral e do vetor *Lu. Longipalpis*.

Como resultado da análise gerada no MaxEnt, foi possível identificar as áreas mais susceptíveis a presença do vetor no estado de São Paulo. A função de mapeamento gerada no MaxEnt cria uma superfície matricial com destaque para as áreas onde o vetor foi encontrado, identificando um cenário de susceptibilidade conjuntamente com as variáveis ambientais.

Comitê de ética em pesquisa

Este estudo foi baseado somente em dados secundários, sem que haja, portanto, a quebra de sigilo dos indivíduos da pesquisa. Assim, não foi necessária a aprovação por um Comitê de Ética em Pesquisa.

RESULTADOS

Análise das associações da leishmaniose visceral com variáveis ambientais:

Foram notificados 2.574 casos de LV entre 1999 e 2016, com aumento no número de municípios com início de transmissão. O estado apresentou uma tendência linear de acréscimo, tanto no total de casos produzidos ($R^2 = 0,84$), no número de óbitos ($R^2 = 0,654$), bem como no número de municípios com casos ($R^2 = 0,929$).

As variáveis explicativas mais associadas a LV foram *Lu. Longipalpis* (odds ratio [intervalo de confiança 95%] = 146,896 [44,7575 - 482,154]), temperatura de superfície diurna (odds ratio [95% Intervalo de confiança] = 13.011 [5.134 - 32.971]) e temperatura de superfície noturna (odds ratio [intervalo de confiança 95%] = 4.509 [2.347 - 8.664]) (Tabela 1).

Tabela 1 – Frequência, Odds Ratio, Intervalo de Confiança e Pvalor das variáveis associadas a notificação de leishmaniose visceral (n=645).

Variáveis	Classes	Leishmaniose Visceral			Odds Ratio I.C.	P valor
		Não	Sim	Total		
<i>Lu. Longipalpis</i> *	Não	518	3	521	146.896 (44.754 - 482.154)	0.000
	Sim	67	57	124		
Temperatura de superfície diurna (média)**	< 27.941	317	5	322	13.011 (5.134 - 32.971)	0.000
	>= 27.941	268	55	323		
Temperatura de superfície noturna (média)**	< 13.735	310	12	322	4.509 (2.347 - 8.664)	0.000
	>= 13.735	275	48	323		
Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI (média)**	< 19.075	273	49	322	0.196 (0.100 - 0.385)	0.000
	>= 19.075	312	11	323		
Índice de Desenvolvimento Humano**	< 0.779	296	28	324	0.932 (0.548 - 1.587)	0.796
	>= 0.779	289	32	321		
População**	< 10802	292	31	323	1.171 (0.687 - 1.994)	0.796
	>= 10802	293	29	322		

*Teste qui-quadrado. **Teste Hosmer and Lemeshow categorizado com base na mediana. P valor = 0.05.

Fontes: SEADE, MODIS-NASA, SUCEN, and CVE

Modelo de regressão binária logística com a distribuição do vetor em foco:

Toda as variáveis explicativas foram observadas na curva ROC para determinar a precisão, área diretamente proporcional sob a curva (área, odds ratio, sig. e IC 95%).

O último passo foi executar a Regressão logística binária, com o *stepwise - forward* condicional e com a tabela de Contingência, para o teste de Hosmer e Lemeshow.

O modelo final com as variáveis explicativas mais associadas elencou: *Lu. Longipalpis*, temperatura de superfície diurna e distribuição da população (Tabela 2).

Tabela 2– Modelo final - Regressão Binária Logística da leishmaniose visceral no estado de São Paulo. Stepwise - Forward condicional – Tabela de contingencia para o teste Hosmer e Lemeshow(n=645). P valor = 0.05. Variáveis selecionadas no passo 3.

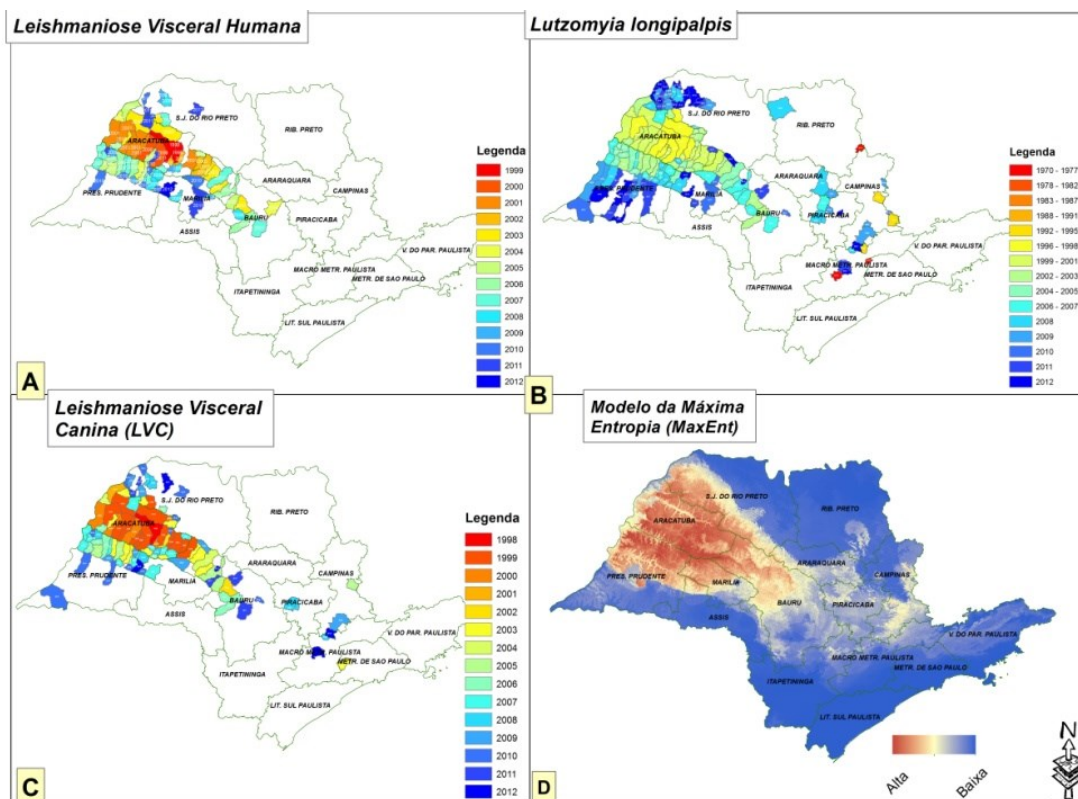
Variável	Categoria	OR	95% I.C.	P valor
<i>Lutzomyia Longipalpis</i>	Sim	112.664	33.601 - 377.766	0,000
	Não			
Temperatura de superfície diurna (média)**	< 27.941	6.425	2.157 - 19.141	0.001
	>= 27.941			
População	< 10802	2.309	1.081 - 4.930	0.031
	>= 10802			

Sources: SEADE, NASA, SUCEN, and CVE.

Contribuição das variáveis Bioclimáticas:

O vetor *Lu. longipalpis* foi relatado em 166 municípios de 1997 a 2016, sendo a maioria no oeste do estado. Existe uma franja de expansão da leishmaniose em direção ao Pontal do Paranapanema, se iniciando na mesorregião de Araçatuba, em direção à mesorregião de Presidente Prudente (figura 1).

Figura 1 - Distribuição espacial da leishmaniose Visceral Humana (A), do *Lutzomyia longipalpis* (*Psychodidae: Phlebotominae*) (B) da leishmaniose Visceral Canina e Modelo da Máxima Entropia para o vetor *L. longipalpis* (D).

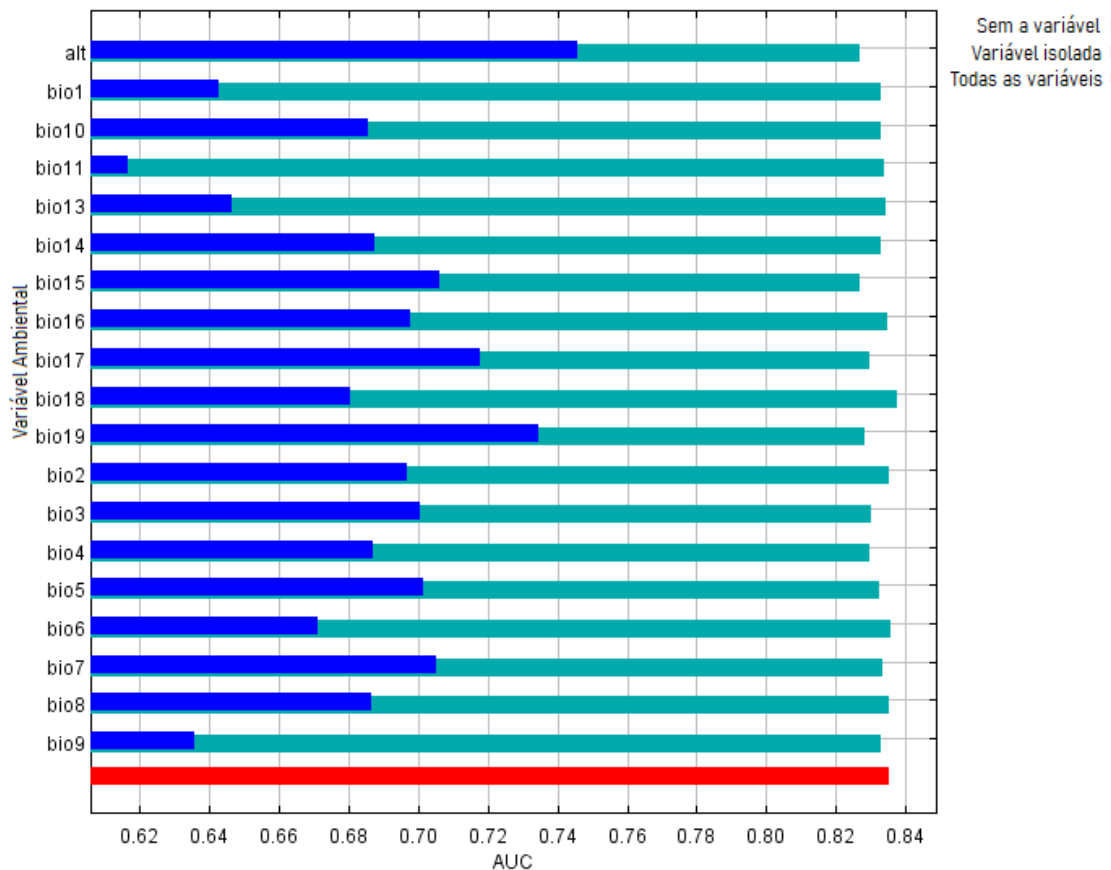


O mapa base foi elaborado com dados das mesorregiões do estado de São Paulo, representados em linhas verdes. A evolução dos casos e a presença do vetor são representados na escala de municípios, variando por progressão anual em cores frias, anos mais recentes até cores quentes, anos mais antigos. O mapa D representa a susceptibilidade das áreas de acordo com as variáveis BIOCLIM. Os dados são provenientes do Centro de Vigilância Epidemiológica Alexandre Vranjac, Superintendência de Controle de Endemias. Mapas base foram confeccionados com as malhas digitais 2010 do IBGE.

Concomitantemente com o modelo espacial, foi gerado o gráfico "JackKnife", que demonstra o potencial das variáveis de estarem relacionadas ao desfecho-presença do *Lu. longipalpis* no estado de São Paulo (figura 2).

Foram significativas as variáveis BIO 14 (21.3% de contribuição no modelo), que significa uma razão entre a temperatura média anual e a média diária, em linhas gerais. Também Bio 16 (16.9 % de contribuição no modelo), que é a máxima temperatura no mês mais quente. Altitude, com 15.3% de contribuição no modelo e BIO 15, com 13.8% de contribuição no modelo. As variáveis Bio 14, 15, 16 e 19 são todas relacionadas à precipitação (figura 2).

Figura 2 - Importância das variáveis correlacionadas a distribuição do *Lu. longipalpis* em São Paulo no método MaxEnt, de acordo com o gráfico JackKnife para AUC - ROC. Legenda: cor verde: modelo sem nenhuma variável; cor azul: modelo com apenas uma variável e cor vermelha: modelo com todas as variáveis.



DISCUSSÃO

Muitos autores já destacaram a importância do mapeamento de doenças transmitidas por vetores (HAY et al., 2013; CASANOVA et al., 2015; FONSECA et al., 2014; PETERSON et al., 2017; PETERSON, 2006).

Com relação a LV, a distribuição do vetor está relacionada com as áreas de transmissão em potencial (MOO-LLANES et al., 2017; LLANES, 2016). Os dados sobre São Paulo confirmam esta assertiva, pois se assemelha com a presença de *Lu. longipalpis*, espécie incriminada como vetor, permitindo identificar uma grande mancha de co-presença, tendo como ponto central o município de Araçatuba.

Em termos espaciais, observa-se uma grande mancha que se encontra na fronteira com o Mato Grosso do Sul, passando por Araçatuba e se encerrando na região de Bauru. As outras regiões possuem apenas baixa ou nenhuma transmissão. Acontece que a distribuição do *Lu. longipalpis* se expande um pouco mais a leste, em direção a Piracicaba e Campinas, o que pode caracterizar no futuro um novo eixo de transmissão humana: prova disso é que a transmissão canina ocorre na região (DONALISIO et al., 2017).

Verifica-se igualmente a expansão da doença em direção ao Pontal do Paranapanema. Com o apoio dos inquéritos caninos, constata-se o início da transmissão em Dracena, que vem se expandindo em direção a Teodoro Sampaio, na mesorregião de Presidente Prudente. Não obstante, a escassez de medidas para inquérito canino e os interstícios entre a transmissão canina (precedente) e a

transmissão humana sugerem que o problema da LV, sobretudo em cães, venha sendo subestimado nessa região (NAUFAL SPIR et al., 2017; FONSECA et al., 2014; D'ANDREA et al., 2015).

O sensor MOD11 proporciona a visualização da dinâmica de eventos naturais que acontecem na superfície terrestre, como a temperatura, a vegetação e a cobertura da terra. Ao utilizar estas variáveis, foi possível identificar a Temperatura de Superfície, diurna e noturna, como associadas a presença de LV no estado (Tabela 1).

No modelo MaxEnt, a presença de uma espécie indica que características ambientais têm permitido a manutenção dessa população, e a interação com outras espécies (HIRZEL; PERRIN, 2014). A distribuição de uma espécie resulta da interação entre condições abióticas, condições bióticas, capacidade de dispersão e oportunidade para a dispersão e colonização (PERKINS et al., 2007). No modelo gerado para o estado de São Paulo, é interessante observar que áreas de baixa susceptibilidade se estendem até o Vale do Paraíba Paulista, onde não se registrou dados do vetor até o momento. Esta pode ser considerada uma limitação da predição no MaxEnt. Embora o modelo tenha destacado características semelhantes na área em questão, o que ele comunica, que exista susceptibilidade na região, não foi confirmado.

Ao se utilizar modelos de nicho ecológico em epidemiologia, deve-se levar em consideração que os processos de doenças são dinâmicos, que resultam da interação entre agentes patogênicos, reservatórios, vetores e a dinâmica ecológica e distribuição pode ser diferente de um cenário para outro (Peterson, 2008). Ao pensar o modelo apresentado, existe a antecipação da potencial expansão da LV e do vetor em duas direções, no Pontal do Paranapanema, mais célere, e em direção do Vale do Paraíba, encontrando a cuesta basáltica e a mudança de condições climáticas e ambientais como uma barreira a sua franca expansão.

Temperatura e precipitação foram as variáveis mais influentes nos modelos. A probabilidade de distribuição de *Lu. longipalpis* no estado demonstrou ser mais sensível a oscilações em precipitação em diferentes épocas do ano. A precipitação no período mais seco do ano foi a variável com maior contribuição no modelo (22%) e também a precipitação do período chuvoso (21%). A precipitação influencia a dinâmica, reprodução e criação de vetores, seja ela relacionada à abundância, escassez ou períodos específicos do ano (PETERSON, 2006).

Os estudos ecológicos de flebotomíneos na Bahia indicaram que a densidade populacional desses insetos, especialmente *Lu. longipalpis* aumenta após o fim da estação chuvosa (SHERLOCK, 1996). O mesmo autor também observou que durante os períodos secos, flebotomíneos são mais frequentemente encontrados no Peri domicílio ou no interior das casas, o que aumenta o risco de incidência de LV. Observações semelhantes também foram feitas na região central do Brasil (ALMEIDA et al., 2010; ALMEIDA et al., 2013; A. G. DE OLIVEIRA, J. D. ANDRADE FILHO, A. L. FALCÃO, 2003). No Brasil, estudos tem demonstrado que a precipitação, mais do que outras variáveis como temperatura, é a variável reguladora da abundância das populações locais de *Lu. longipalpis* (QUEIROZ et al., 2012).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

De posse dos dados apresentados nesta pesquisa notamos que existe uma lacuna sobre o conhecimento da distribuição do *Lu. longipalpis* no estado, em função da dificuldade de coleta de dados.

As pesquisas se referem apenas a descoberta recente do vetor, mas existe a hipótese de que o mesmo já estava presente em momentos anteriores e não havia sido encontrado em função um número escasso de capturas por município. Isso sugere um potencial muito maior para que sejam implementadas medidas de controle da leishmaniose no estado do que vigilância, no que se refere ao vetor.

Para aprofundar de que o vetor já existia porque sempre existiu o ambiente propício, sugere-se aprofundar mais na análise dos fragmentos de vegetação, prováveis fontes de sobrevivência natural dos flebotomos, apostando nestes fragmentos como nicho, que com o passar dos anos se adaptou ao ambiente urbano. Seria um estudo de fragmentos de vegetação onde comprovadamente o vetor foi

encontrado, para que se possa extrapolar para ambientes com as mesmas características no estado. Para tal, defendemos a escala micro ambiental, ou seja, nível local.

Ao que parece estamos lidando com um problema maior do que se projeta e um cenário em função dos casos não seria, portanto, suficiente para a predição das áreas em expansão. Eixos de desenvolvimento econômico do estado podem ser fator para a dispersão das espécies, e a fronteira de expansão paulista, no Oeste, foi e tem sido apontada como um destes eixos.

A expansão de casos pelos municípios, carregada por áreas onde o vetor tem sido encontrado, também indica rápida expansão, o que os dados apontam claramente, indicam uma probabilidade de expansão também em direção a Campinas e Piracicaba. Isso é claramente visto no modelo MaxEnt (Figura 1).

Também existe uma copresença clara para a maioria dos municípios onde o vetor foi encontrado e a distribuição dos casos humanos e caninos.

Muitas são as fontes de dados sobre variáveis relacionadas a LV. Seria oportuno, mesmo que em longo prazo, uma reunião de todas as experiências de pesquisa do estado, para delimitar de fato os padrões epidemiológicos. Outra lacuna que se coloca é uma compilação de dados de captura, inquéritos caninos, apontando, como numa viagem pelo estado de São Paulo, as fragilidades e potencialidades para a transmissão de LV.

AGRADECIMENTO

Fundação do Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processos: 2014/12494-0, 2012/23959-9 e 2013/25920-5.

REFERÊNCIAS

- A. G. DE OLIVEIRA, J. D. ANDRADE FILHO, A. L. FALCÃO, R. P. B. Estudo de flebotomíneos (Diptera, Psychodidae, Phlebotominae) na zona urbana da Cidade de Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil, 1999-2000 Study of sand flies (Diptera, Psychodidae, Phlebotominae) in the urban area of Campo Grande, Mato Gro. v. 19, n. 4, p. 933–944, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2003000400016>
- ALMEIDA, P. S. DE et al. Artigo / Article Aspectos ecológicos de flebotomíneos (Diptera: Psychodidae) em área urbana do município de Ponta Porã, Estado de Mato Grosso do Sul Ecological aspects of Phlebotomines (Diptera: Psychodidae) in the urban area of Ponta Porã municipa. v. 43, n. 6, p. 723–727, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0037-86822010000600025>
- ALMEIDA, P. S. DE et al. Predicting the geographic distribution of *Lutzomyia longipalpis* (Diptera: Psychodidae) and visceral leishmaniasis in the state of Mato Grosso do Sul, Brazil. v. 108, n. December, p. 992–996, 2013. <https://doi.org/10.1590/0074-0276130331>
- ALVAR, J. et al. **Leishmaniasis worldwide and global estimates of its incidence** PLoS ONE, 2012. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0035671>
- ANDERSON, L. O. SENSOR MODIS: UMA ABORDAGEM GERAL. n. January 2016, [s.d.].
- BRASIL. **MINISTÉRIO DA SAÚDE Brasília – DF 2006**. [s.l: s.n.]. v. 2009
- CASANOVA, C. et al. Distribution of *Lutzomyia longipalpis* Chemotype Populations in São Paulo State, Brazil. **PLoS Neglected Tropical Diseases**, v. 9, n. 3, p. 1–14, 2015. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0003620>
- D.W. HOSMER, S. L. **Applied Logistic Regression**, 2000. <https://doi.org/10.1002/0471722146>
- D'ANDREA, L. A. Z. et al. The shadows of a ghost: a survey of canine leishmaniasis in Presidente Prudente and its spatial dispersion in the western region of São Paulo state, an emerging focus of visceral leishmaniasis in Brazil. **BMC Veterinary Research**, 2015. <https://doi.org/10.1186/s12917-015-0583-6>

DONALISIO, M. R. et al. Visceral leishmaniasis in an environmentally protected area in southeastern Brazil: Epidemiological and laboratory cross-sectional investigation of phlebotomine fauna, wild hosts and canine cases. p. 1–18, 2017. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0005666>

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **ArcMap 10.2** Redlands CA, 2013.

FONSECA, S. et al. Spatial epidemiology of American cutaneous leishmaniasis in a municipality of west São Paulo State, Brazil. n. December, p. 271–275, 2014.

FRANKE, C. R. et al. Trends in the temporal and spatial distribution of visceral and cutaneous leishmaniasis in the state of Bahia, Brazil, from 1985 to 1999. **Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene**, v. 96, n. 3, p. 236–241, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0035-9203\(02\)90087-8](https://doi.org/10.1016/S0035-9203(02)90087-8)

HANLEY, A. J.; MCNEIL, J. B. The Meaning and Use of the Area under a Receiver Operating Characteristic (ROC) Curve. **Radiology**, v. 143, p. 29–36, 1982. <https://doi.org/10.1148/radiology.143.1.7063747>

HAY, S. I. et al. Global mapping of infectious disease. **Phil Trans R Soc Lond B**, v. 368, n. February, p. 20120250, 2013. <https://doi.org/10.1098/rstb.2012.0250>

HIRZEL, A. H.; PERRIN, N. Ecological-Niche Factor Analysis: How to Compute Habitat-Suitability Maps without Absence Data? n. July 2002, 2014. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2002\)083\[2027:ENFAHT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2002)083[2027:ENFAHT]2.0.CO;2)

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Características da População. p. 270, 2010.

LLANES, D. A. M. Nicho ecológico actual y futuro de la Leishmaniasis (Kinetoplastida : Trypanosomatidae) en la región Neotropical. v. 64, n. September, p. 1237–1245, 2016. <https://doi.org/10.15517/rbt.v64i3.20150>

MOO-LLANES, D. A. et al. Shifts in the ecological niche of *Lutzomyia peruensis* under climate change scenarios in Peru. **Medical and Veterinary Entomology**, 2017. <https://doi.org/10.1111/mve.12219>

MURRAY, H. W. et al. Ecological niche model of *Phlebotomus alexandri* and *P. papatasi* (Diptera: Psychodidae) in the Middle East. **PLoS Neglected Tropical Diseases**, v. 9, n. 1, p. 2, 2012. <https://doi.org/10.1186/1476-072X-9-2>

NAUFAL SPIR, P. R. et al. Clinical characteristics and spatial distribution of Visceral leishmaniasis in children in São Paulo state: an emerging focus of Visceral leishmaniasis in Brazil. **Pathogens and Global Health**, 2017. <https://doi.org/10.1080/20477724.2017.1289666>

PERKINS, S. L. et al. Locating Pleistocene Refugia: Comparing Phylogeographic and Ecological Niche Model Predictions. n. 7, 2007.

PETERSON, A. T. Ecologic niche modeling and spatial patterns of disease transmission. **Emerging Infectious Diseases**, v. 12, n. 12, p. 1822–1826, 2006. <https://doi.org/10.3201/eid1212.060373>

PETERSON, A. T. et al. Influences of climate change on the potential distribution of *Lutzomyia longipalpis* sensu lato (Psychodidae : Phlebotominae). **International Journal for Parasitology**, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2017.04.007>

PHILLIPS, S. J.; ANDERSON, R. P.; SCHAPIRE, R. E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. v. 190, p. 231–259, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>

PHILLIPS, S. J.; AVENUE, P.; PARK, F. A Maximum Entropy Approach to Species Distribution Modeling. 1997.

PIGOTT, D. M. et al. Global database of leishmaniasis occurrence locations, 1960–2012. **Scientific Data**, v. 1, p. 140036, 2014. <https://doi.org/10.1038/sdata.2014.36>

QUEIROZ, M. F. M. et al. Article / Artigo Analysis of sandflies (Diptera : Psychodidae) in Barra do Garças, State of Mato Grosso, Brazil, and the influence of environmental variables on the vector density of *Lutzomyia longipalpis* (Lutz & Neiva, 1912). v. 45, n. 3, p. 313–317, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0037-86822012000300007>

- RYAN, L. Creating a “Normalized Difference Vegetation Index” (NDVI) image Using MultiSpec. **Program**, p. 1–14, [s.d.].
- SHERLOCK, I. A. Ecological Interactions of Visceral Leishmaniasis in the State of Bahia , Brazil. v. 91, n. 6, p. 671–683, 1996. <https://doi.org/10.1590/S0074-02761996000600003>
- SHIMABUKURO, P. et al. Geographical distribution of American cutaneous leishmaniasis and its phlebotomine vectors (Diptera: Psychodidae) in the state of São Paulo, Brazil. **Parasites & Vectors**, v. 3, n. 1, p. 121, 2010. <https://doi.org/10.1186/1756-3305-3-121>
- WAN, Z. MODIS Land Surface Temperature Products Users ' Guide. n. December, 2013.
- WARREN, DAN L., SEIFERT, S. N. Ecological niche modeling in Maxent : the importance of model complexity and the performance of model selection criteria C ommunications C ommunications. **Ecological Applications**, v. 21, n. 2, p. 335–342, 2011. <https://doi.org/10.1890/10-1171.1>
- WERNECK, G. L. Georeferenced data in epidemiologic research. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 13, n. 6, p. 1753–1766, 2008. <https://doi.org/10.1590/S1413-81232008000600010>
- WERNECK, G. L. Geographic spread of visceral leishmaniasis in Brazil. v. 26, n. VI, p. 2010, 2010.
- WISZ, M. S. et al. Effects of sample size on the performance of species distribution models. **Diversity and Distributions**, v. 14, n. 5, p. 763–773, 2008. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2008.00482.x>
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. Control of the leishmaniasis. **World Health Organization technical report series**, n. 949, p. 22–26, 2010.
- ZEIMES, C. B. et al. Modelling zoonotic diseases in humans: comparison of methods for hantavirus in Sweden. **International journal of health geographics**, v. 11, p. 39, 2012. <https://doi.org/10.1186/1476-072X-11-39>