

# Mudanças Climáticas e Leishmaniose Tegumentar Americana: Uma Análise Espacial para a Amazônia Legal

Valéria Andrade Silva\* Deborah Lopes Ferreira† Vitor Marinho Silva‡

## Resumo

As mudanças climáticas têm um impacto significativo na saúde humana, pois criam ambientes favoráveis à proliferação de vetores. A leishmaniose tegumentar americana é uma das principais doenças negligenciadas transmitidas por mosquitos. O objetivo deste estudo é analisar a relação espacial entre as características climáticas e os casos de leishmaniose tegumentar americana na região da Amazônia Legal, utilizando a Análise de Componentes Principais e, em seguida, realizado um estudo com a Análise Exploratória de Dados Espaciais. Os resultados sugerem uma possível associação entre as características climáticas da região e a disseminação da leishmaniose tegumentar americana.

**Palavras-Chave:** Clima. Leishmaniose Tegumentar. Análise espacial.

## Abstract

Climate change has a significant impact on human health, creating favorable environments for the proliferation of vectors. American Tegumentary Leishmaniasis is one of the main neglected diseases transmitted by mosquitoes. The aim of this study is to analyze the spatial relationship between climatic characteristics and cases of American Tegumentary Leishmaniasis in the Legal Amazon region, using Principal Component Analysis and Spatial Exploratory Data Analysis. The results suggest a potential association between the climatic characteristics of the region and the spread of American Tegumentary Leishmaniasis.

**Keywords:** Climate, Tegumentary Leishmaniasis. Spatial Analysis.

**JEL Codes:** Q5, I1, R9.

**Área de Submissão:** Econometria Espacial e Análise Espacial.

**\*Concorrente ao Prêmio Paulo Haddad\***

---

\*Doutoranda em Economia - CEDEPLAR/UFMG. E-mail valeriaandrade@cedeplar.ufmg.br

†Mestranda em Economia - CEDEPLAR/UFMG. E-mail deborahlopess@cedeplar.ufmg.br

‡Mestrando em Economia - CEDEPLAR/UFMG. E-mail vitormarinho@cedeplar.ufmg.br

# 1 Introdução

As mudanças climáticas são as alterações nos parâmetros climáticos médios da Terra persistidos em longo período, resultantes de processos naturais e/ou ações antrópicas (IPCC, 2014a). As atividades humanas, principalmente através da emissão de gases de efeito estufa (GEE), têm causado inequivocamente o aquecimento global, com a temperatura da superfície global aumentando em 1,1°C entre 2011 e 2020. As emissões de gases de efeito estufa continuam a aumentar com contribuições históricas e contínuas desiguais decorrentes do uso da terra, de energia, padrões de consumo e produção entre regiões, países e indivíduos. Adicionalmente, áreas que possuem restrições significativas de desenvolvimento estão altamente suscetíveis aos riscos climáticos (IPCC, 2021).

As vulnerabilidades destacadas têm gerado intensos debates acerca do impacto das mudanças climáticas na saúde humana, manifestando-se por várias vias. Alguns impactos ocorrem de forma direta, como é o caso das ondas de calor e das mortes causadas por eventos extremos, como furacões e inundações. Os impactos indiretos são mediados por alterações no meio ambiente, como mudanças nos ecossistemas e nos ciclos biogeoquímicos (BARCELLOS et. al, 2009). As condições ambientais como temperatura, umidade, uso do solo e vegetação, desempenham papel crucial na disseminação de várias doenças, especialmente aquelas transmitidas por vetores. O ciclo de vida dos vetores está intimamente ligado à dinâmica ambiental dos ecossistemas onde vivem (TAUIL, 2002; HAY, 2004).

A leishmaniose é uma das principais doenças tropicais negligenciadas. É causada por protozoários do gênero *Leishmania* e transmitida por algumas espécies de insetos como flebotomíneos, também conhecido como mosquito-palha, tatuquira ou birigui. Essa enfermidade pode ser classificada em duas formas: leishmaniose tegumentar ou cutânea (LT), que afeta a pele e as mucosas; e a visceral ou calazar, que compromete os órgãos internos, como o fígado, baço e medula óssea (FIOCRUZ, 2022). Afeta predominantemente populações residentes em regiões vulneráveis, sendo um desafio significativo para a saúde pública de 99 países. Em 2021, foram notificados cerca de 222.000 novos casos de Leishmaniose Tegumentar em 51 países. Dos nove países com maior número de casos, três estão situados na América Latina: Brasil, Colômbia e Peru (OMS, 2022).

No Brasil, a maior parte dos registros da doença ocorre em áreas rurais, onde a carência de investimentos estruturais em saneamento, atenção à saúde e educação básica é mais comum, criando assim um ambiente propício para a proliferação da doença. De acordo com o Ministério da Saúde, entre os anos de 2015 e 2020, mais de 16 mil pessoas foram diagnosticadas anualmente com leishmaniose tegumentar, sendo a maioria dos casos registrados nas regiões Norte, Centro-Oeste e Nordeste.

A região do ecossistema amazônico tem concentrado número significativo de casos da doença, devido às suas características socioambientais, que tem contribuído para o ciclo de transmissão da leishmaniose tegumentar americana. A Amazônia Legal registrou, anualmente, no período 2015-2021, uma média de 10 mil casos de leishmaniose tegumentar, que está associada às extensas modi-

ficações ambientais nessa área, resultando em alterações frequentes nos padrões epidemiológicos de sua transmissão. Apesar do número significativo de casos e de suas características regionais, poucos estudos têm analisado a relação entre a incidência de leishmaniose tegumentar americana e sua associação espacial com as características climáticas. Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo a construção de um índice de clima que permita observar as características climáticas principais da Amazônia Legal e analisar a associação espacial do número de casos de leishmaniose tegumentar americana com o índice de clima construído. Para tanto, serão utilizadas duas metodologias: Análise de Componentes Principais (ACP) e Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE). O estudo contribui para o aprimoramento de estratégias de prevenção e controle da Leishmaniose, levando em conta não apenas as características epidemiológicas, mas também as particularidades climáticas de cada região.

## 2 Revisão da Literatura

O Brasil apresenta três padrões epidemiológicos que ajudam a explicar a distribuição heterogênea da leishmaniose tegumentar americana (LTA). O padrão silvestre de transmissão da leishmaniose ocorre em áreas de vegetação primária e é principalmente uma zoonose que afeta animais silvestres (raposas, roedores, gambá, preguiças, etc). No entanto, também pode acometer seres humanos quando estes entram em contato com o ambiente silvestre (BRASIL, 2017). Já o padrão ocupacional está associado à exploração desordenada de florestas, incluindo a derrubada de matas para diversas finalidades, como a construção de estradas, usinas hidrelétricas, instalação de povoados, extração de madeira, desenvolvimento de atividades agropecuárias, etc (REIS, 2017). Essas atividades frequentemente ocorrem em áreas onde a vegetação nativa é fortemente degradada (LIMA, 2016), nos processos de ocupação do solo e áreas próximas a matas (KAWA; SABROZA, 2010), sendo todas essas variáveis importantes no processo de transmissão da doença.

O padrão rural e periurbano da doença, por sua vez, está relacionado ao processo migratório, ocupação de encostas e aglomerados em centros urbanos, que muitas vezes estão próximos a matas secundárias ou residuais (BRASIL, 2017). A leishmaniose tegumentar é mais frequentemente observada em áreas rurais ou periurbanas com ocupação mais recente, e esse padrão é especialmente notável na Região Amazônica, sendo influenciado por fatores como desmatamento, presença de vegetação secundária e migração populacional (ARAÚJO, 1981). Além disso, a região apresenta uma elevada diversidade de espécies de flebotomíneos, com índices significativos de diversidade local em florestas de terra firme. Dentre as mais de 230 espécies de flebotomíneos identificadas no Brasil, 122 delas podem ser encontradas na Amazônia. Dessas, mais de 20 espécies são conhecidas como sendo vetores da leishmaniose (WARD, 1973; GRIMALDI, 1991; RANGEL, 2003).

As principais espécies de *leishmania* no país são: *Leishmania amazonensis* – distribuída pelas florestas primárias e secundárias da Amazônia (Amazonas, Pará, Rondônia, Tocantins e sudoeste

do Maranhão), particularmente em áreas de igapó e de floresta tipo várzea; *Leishmania (Viannia) guyanensis* – aparentemente limitada ao norte da Bacia Amazônica (Amapá, Roraima, Amazonas e Pará) e estendendo-se pelas Guianas, é encontrada principalmente em florestas de terra firme; *Leishmania (Viannia) braziliensis* – tem ampla distribuição, do sul do Pará ao Nordeste, atingindo também o centro-sul do país e algumas áreas da Amazônia Oriental (BRASIL, 2000).

Existem claras evidências da relação entre as condições climáticas e a transmissão da leishmaniose (BEEBE et al., 2009; REITER, 2001; TSENG, 2009; FRANKE et al., 2002; SHARMA E SINGH, 2008, MENDES, 2013). Observa-se, por exemplo, que o período de maior transmissão da doença ocorre durante e logo após a estação chuvosa, com o aumento da proliferação dos insetos. O mosquito transmissor da leishmaniose tem a capacidade de se adaptar facilmente às diversas temperaturas (BRASIL, 2003). A leishmania apresenta uma fase líquida de crescimento com uma temperatura ideal compreendida entre 22 e 28°C. Após essa fase, quando a temperatura se eleva para até 32°C, seu processo de crescimento é acelerado. Além disso, a maioria dos casos surge após períodos chuvosos, no início do período de seca. Durante as chuvas, há um aumento na densidade de insetos transmissores e, aproximadamente 90 dias depois, quando a população de vetores atinge seu pico máximo, o número de casos de pacientes com leishmaniose começa a aumentar (REY, 2008).

Os estudos sobre leishmaniose no Brasil têm sido focados em dois principais blocos de pesquisa: a caracterização epidemiológica da doença e sua distribuição espacial. Maciel (2013) analisa a distribuição espacial e temporal dos casos de leishmaniose tegumentar americana no estado do Amazonas, no período compreendido entre 2001-2010. Os resultados indicam que houve uma maior concentração de casos na microrregião de Manaus (52%) e menor em Japurá (0,01%), na região Norte do estado, com uma média de 2.149 casos notificados por ano em 2003 e 1.270 em 2010. Além disso, o autor destaca que houve predomínio de casos (76,2%) em indivíduos do sexo masculino, na faixa etária entre de 21 a 30 anos (26,5%), ocupados em sua grande maioria em atividades extrativistas (43,71%). Brito (2012), em análise semelhante, descreve a situação eco epidemiológica da LTA no município de Prainha, no estado do Pará, no período 2002-2011. O perfil da população afetada é de indivíduos do sexo masculino (84%), maior de 10 anos (93%), residente de área rural (89%), com ensino fundamental incompleto (55,4%). O vetor mais encontrado nos levantamentos realizados foi o *Lutzomyia flaviscutellata*, com maior densidade populacional no período de chuvas, no espaço extradomiciliar.

Costa (2018), em uma análise sobre os impactos das mudanças climáticas e ambientais na distribuição espacial de uma espécie do flebotomíneo (*Lutzomyia whitmani*), comumente encontrada em ambientes silvestres, verifica que os estados da Amazônia Legal, com exceção de Roraima e Maranhão, apresentaram a maior agregação espacial por municípios com ocorrência do vetor. Ainda destaca que, na região, a LTA ocorre frequentemente em áreas com alterações ambientais, decorrentes do desmatamento, mineração, construção de estradas, assentamentos populacionais, dentre

outros.

Nascimento (2009) faz uma análise dos fatores ambientais que influenciam a ocorrência da LTA no estado do Espírito Santo. Em sua pesquisa, ele emprega o georreferenciamento para examinar a interação entre os casos da doença e variáveis climáticas, tais como temperatura, relevo e suficiência da água. Posteriormente, é feita uma análise multivariada, a partir do uso de regressão logística binária, de modo a selecionar áreas potencialmente de risco para ocorrência de LTA, por meio da associação presença/ausência da doença com as zonas climáticas estratificadas. Os resultados indicaram que períodos chuvosos, quentes e relevo acidentado conferem risco aproximadamente 13 vezes maior para a transmissão da LTA no estado.

Mendes (2013) analisa os impactos econômicos das mudanças climáticas sobre a saúde humana no Brasil. Para tanto, utiliza dois procedimentos: o primeiro, adaptado de Deschênes e Greenstone (2007), onde estima um modelo de dados em painel com efeitos fixos para captar o efeito da precipitação e da temperatura sobre a proliferação da dengue e leishmaniose. Posteriormente, os dados na estimação anterior são utilizados para prever o impacto das mudanças climáticas sobre o número de internações para as duas doenças, baseados nos cenários A1B e A2, ambos pessimistas, definidos pelo IPCC. Os resultados mostraram que tanto a temperatura como a precipitação possuem impacto positivo sobre as internações por leishmaniose, com a segunda apresentando um efeito maior, conforme destacado também por Elnaiem et al. (2003). O maior efeito é verificado para três faixas de precipitação média, compreendidas entre 50mm a 150mm. Adicionalmente, observou-se que, em faixas de temperatura mais baixas, como aquelas menores que 20°C e entre 20-23°C, o número de internações da endemia tende a ser menor. No entanto, em faixas maiores, como 26-29°C, a quantidade de internações é cada vez maior, uma vez que corresponde às temperaturas mais favoráveis ao crescimento dos vetores.

Dessa forma, nota-se que pesquisas que analisam a relação entre padrões climáticos e a incidência da leishmaniose no Brasil, como o estudo mencionado acima, ainda são escassas. A maioria dos trabalhos existentes que tem como recorte geográfico a Amazônia Legal estão concentrados, sobretudo, nos impactos sobre a incidência da doença e na saúde humana de forma geral. Além disso, para a Amazônia, grande parte dos trabalhos tem como foco principal o estudo da malária. Sendo assim, este estudo busca contribuir para a literatura, em uma análise mais regionalizada, ao explorar a relação entre mudanças climáticas e a incidência de leishmaniose, através de uma análise de componentes principais.

### 3 Metodologia

Para fins desta pesquisa, empregou-se a técnica de análise multivariada, por meio de componentes principais. Este método consiste em condensar múltiplas variáveis em um ou mais sintetizadores que acumulem o máximo da variância dos parâmetros originais (JOHNSON, 2007).

Para tanto, buscou-se um conjunto de variáveis possivelmente correlacionadas entre si que explicassem as mudanças climáticas na Amazônia legal. O Quadro 1 resume as variáveis, unidades de medida e suas fontes. A partir do conjunto de dados, temos que as variáveis  $x_{ij}$  originais e seus respectivos indivíduos, neste caso os municípios amazônicos, determinam os  $y_{ij}$  componentes principais. Estes são combinações lineares das variáveis bases, conforme a Equação 1:

$$y_{ij} = a_{1j}x_{i1} + a_{2j}x_{i2} + a_{3j}x_{i3} + \dots + a_{pj}x_{ip}$$

Esta combinação linear torna o conjunto de variáveis ortogonais entre si, ou seja, não correlacionadas. Os  $Z_p$  componentes obtidos contemplam toda a variância do conjunto original, mas de maneira decrescente. Dessa forma, temos que o número de componentes é igual ao número de variáveis,  $Z_p = X_p$ . A vantagem deste método é que a variância se condensa em seus primeiros componentes, o que permite criar um indexador em poucas dimensões, facilitando a análise e exposição dos resultados (MANLY, 1994).

Em seguida, é utilizada a Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE), que avalia a existência de correlação espacial entre o número de casos por leishmaniose tegumentar americana por 1.000 habitantes e o Índice de Clima. A AEDE é uma abordagem estatística e visual utilizada para examinar e compreender padrões (clusters), tendências e associações em dados que possuem uma dimensão espacial. O Índice de Moran Local (Moran's I) mede a correlação espacial de uma variável em relação a seus vizinhos geográficos por meio do scatter plot que fornece a associação e visualização por meio dos quadrantes do gráfico. Pode ser utilizado na forma individual ou bivariada. Os clusters podem ser: Alto-Alto, Baixo-Baixo, Alto-Baixo ou Baixo-Alto. O mapa de dependência espacial permite a visualização desses agrupamentos de forma facilitada. Neste estudo, foi aplicado o teste de permutação aleatória para as análises com 9.999.999 permutações para estimação do  $p$ -valor e randomização.

Para realizar o estudo, foram coletadas informações para a Amazônia Legal para o ano de 2020. Os dados de Leishmaniose Tegumentar Americana foram coletados do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS) que disponibiliza os dados sobre as doenças de notificação compulsória do Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN). A Leishmaniose Tegumentar é uma doença causada por um parasita do gênero *Leishmania*. Ela afeta principalmente a pele e as mucosas do corpo humano, sua transmissão ocorre através da picada de um inseto vetor

conhecido como flebotomíneo ou mosquito-palha. Já para construção do índice de clima, foram utilizados dados de temperatura máxima, temperatura mínima, umidade do solo e precipitação acumulada, coletados através do Data Zoom Amazônia (Tabela 1). O Data Zoom Amazônia é uma interface da plataforma Data Zoom desenvolvida pelo Departamento de Economia da PUC-RIO com o intuito de promover acesso facilitado a vários microdados do Brasil. Essa interface faz parte da iniciativa Amazônia 2030, projeto que tem como objetivo o desenvolvimento sustentável para a Amazônia brasileira.

Tabela 1 - Variáveis, unidade de medida e fonte dos dados.

| Variável           | Descrição                         | Unidade de medida | Fonte             |
|--------------------|-----------------------------------|-------------------|-------------------|
| Leishmaniose       | Leishmaniose Tegumentar Americana | Casos             | DATASUS           |
| Temperatura máxima | Temperatura máxima de 2 m         | Graus Celsius     | Datazoom Amazônia |
| Temperatura mínima | Temperatura mínima de 2 m         | Graus Celsius     | Datazoom Amazônia |
| Umidade            | Umidade do solo no final do mês   | Milímetros        | Datazoom Amazônia |
| Precipitação       | Precipitação Acumulada            | Milímetros        | Datazoom Amazônia |

Fonte: Elaboração própria

## 4 Resultados

As mudanças climáticas têm efeito sobre as doenças vetoriais. Um exemplo é a Leishmaniose, que pode ter aumento da sua transmissão durante e após estação chuvosa. Isso ocorre devido ao aumento no número de insetos vetores, que são capazes de se adaptar facilmente às variadas temperaturas (REY, 2008). Os efeitos climáticos podem ser potencializados a depender das características de temperatura, umidade e precipitação. A análise de componentes principais foi utilizada para reduzir essas variáveis ao Índice de Clima.

A Tabela 2 exibe os autovalores e as porcentagens das variâncias explicadas para cada um dos cinco componentes gerados com base nas variáveis “Temperatura máxima”, “Temperatura mínima”, “Umidade” e “Precipitação”. Os dois primeiros componentes explicam 79,88% da variância total das características climáticas da Amazônia Legal, sendo o primeiro componente responsável por 51,54% dessa variância. O percentual da variância individual de cada componente está ilustrado na Figura 1. A escolha do componente para análise é feita com base na raiz característica, os valores precisam ser maiores que 1. Sendo assim, o componente 1 captura de forma efetiva a variância total

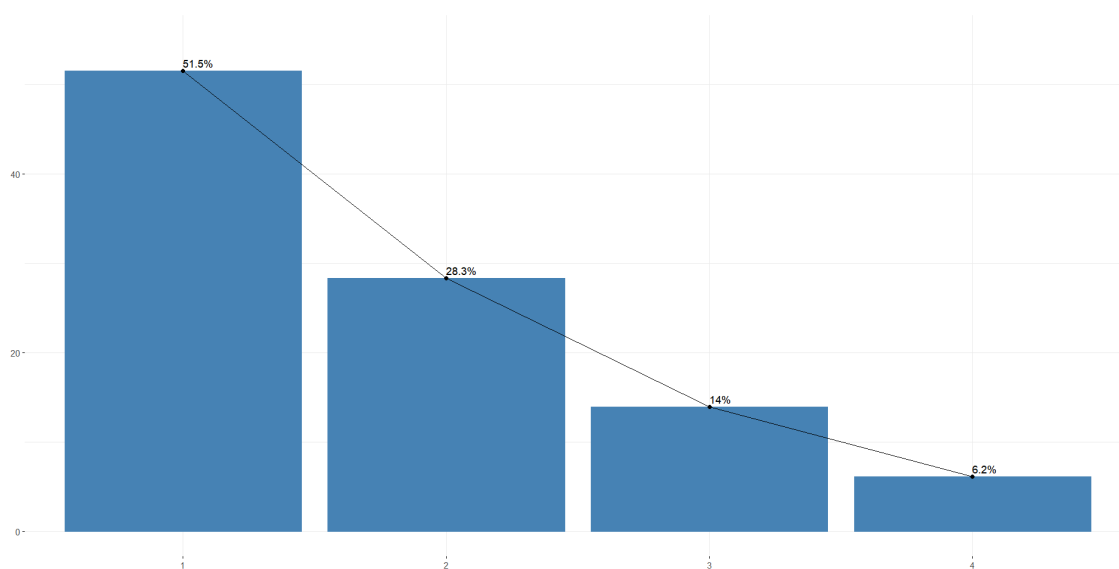
da amostra e pode ser utilizado para o estudo (FRAGA et al., 2015).

Tabela 2: Autovalores e percentual da variância explicada

| Componentes  | Autovalor | Variância % | Variância Cumulativa % |
|--------------|-----------|-------------|------------------------|
| Componente 1 | 2,06      | 51,54       | 51,54                  |
| Componente 2 | 1,13      | 28,34       | 79,88                  |
| Componente 3 | 0,56      | 13,96       | 93,83                  |
| Componente 4 | 0,25      | 6,17        | 100,00                 |

Fonte: Elaboração própria

Figura 1 - Variância dos Componentes



Fonte: Elaboração própria.

A importância de cada variável para os componentes pode ser obtida por meio da correlação entre as variáveis originais e os componentes principais (Tabela 3). No primeiro componente, estão associadas as variáveis “Temperatura máxima”, “Umidade” e “Precipitação”. A variável “Temperatura máxima” possui uma correlação negativa, o que indica uma relação inversamente proporcional, enquanto as demais possuem relação direta.

O componente 1 mostra que a variável “Precipitação” teve a maior contribuição positiva (0,88), o que significa que ela tem uma forte influência na direção desse componente, seguida pela variável



”Umidade” com alta contribuição positiva (0,79). Isso sugere que altos valores de precipitação e umidade aumentam a direção desse componente. Por outro lado, a variável ”Temperatura máxima” tem uma contribuição relativamente alta negativa (-0,70), o que indica que ela está inversamente relacionada com o componente. Ou seja, quando as temperaturas máximas são mais baixas, esse componente é mais influente. Já a variável ”Temperatura mínima” teve uma pequena comunalidade negativa (-0,11), o que indica uma relação mais fraca com o componente. Isso significa que as variações na temperatura mínima têm uma influência menor sobre as mudanças nesse componente (MANLY, 1994).

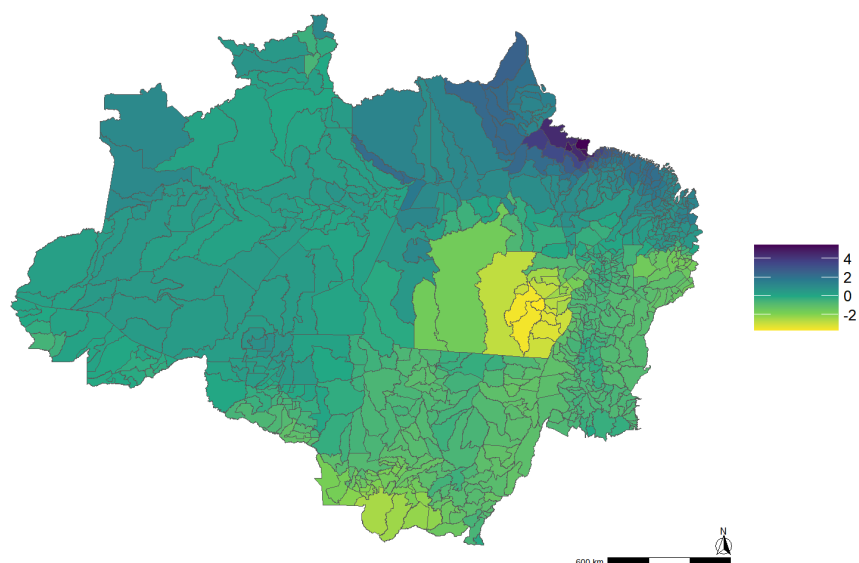
Tabela 3 - Matriz dos Coeficientes dos componentes principais

| Variável           | Componente 1 | Componente 2 | Componente 3 | Componente 4 |
|--------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Temperatura máxima | -0,70        | 0,36         | 0,56         | 0,24         |
| Temperatura mínima | -0,11        | 0,93         | -0,09        | -0,31        |
| Precipitação       | 0,88         | 0,27         | 0,06         | -0,16        |
| Umidade            | 0,79         | -0,19        | 0,51         | -0,18        |

Fonte: Elaboração própria

A Figura 2 apresenta a distribuição espacial do índice climático. De maneira geral este indicador está fortemente associado aos níveis de precipitação e umidade conforme apresentado na Tabela 3. Ao sul, tem-se uma distribuição mais baixa deste índice uma vez que é uma região mais antropizada. Quanto mais ao norte, maior o valor do índice climático, sugerindo maiores níveis de precipitação e umidade, fator associado à maior presença de cobertura florestal. Cohen et al (2007) já alertou para as consequências da antropização da área de floresta, que tem influência direta sobre o ciclo hidrológico regional.

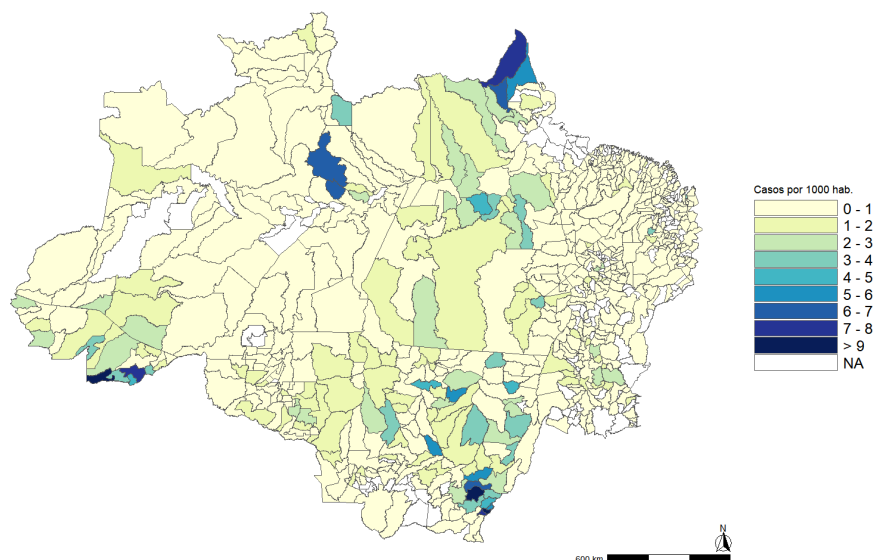
Figura 2 - Distribuição do Índice do Clima (IC), 2020.



Fonte: Elaboração própria.

Já a Figura 3 mostra a distribuição dos casos de LTA por 1.000 habitantes na Amazônia Legal em 2020. Vale ressaltar que, nesse ano, foram notificados 11.357 casos de LTA na Amazônia Legal, Manaus (Amazonas) foi o município que apresentou o maior número de casos, sendo responsável por 626 dos 11.357 casos de LTA (5,51%). Em relação aos casos de LTA por 1.000 habitantes, a maioria dos municípios estão concentrados entre as faixas de 0 a 3 casos. Os municípios de menor incidência de LTA por 1.000 habitantes são: Belém com 0,00066 por 1.000 habitantes e Ananindeua, no Pará, com 0,0037 casos, seguidos por São José de Ribamar (0,0055), no Maranhão, e Coari (0,011) no Amazonas. Onde a maioria da população reside em áreas urbanizadas. Já a maior incidência foi encontrada nos municípios de Ponte Branca (11,61) e Tesouro (10,19), no Mato Grosso, e em Assis Brasil (10,22) e Xapuri (7,70), no Acre, seguidos por Oiapoque (7,45) no Amapá.

Figura 3 - Distribuição dos casos de Leishmaniose Tegumentar por mil habitantes, 2020.

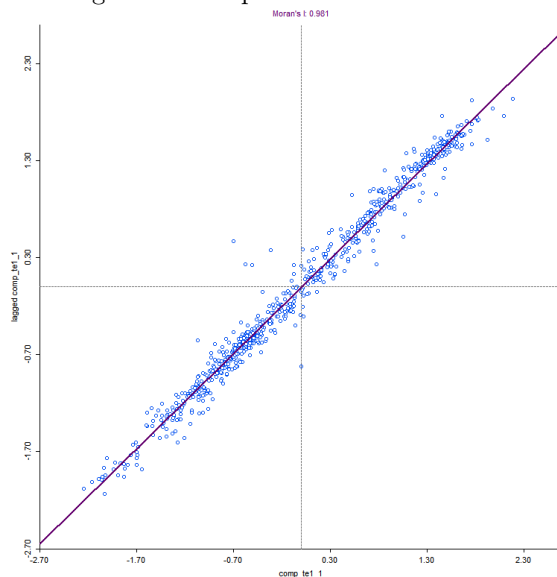


Fonte: Elaboração própria.

Os escores do primeiro componente, denominado índice de clima, foram extraídos e aplicados na análise de autocorrelação espacial global e autocorrelação espacial local tanto individualmente como também associados aos casos de Leishmaniose Tegumentar Americana (LTA) por 1.000 habitantes. Para a estruturação dos dados espaciais, foi utilizada a matriz de pesos espaciais  $W$ , de 4 vizinhos mais próximos de cada região (PEROBELLI, 2007). Essa matriz permite a construção de um círculo conectando as regiões vizinhas, ou seja, considera-se que cada unidade espacial está conectada às quatro unidades adjacentes mais próximas.

O Diagrama de dispersão I de Moran, também conhecido como LISA (Local Indicators of Spatial Association) é uma ferramenta importante na análise de padrões espaciais. Ele permite observar a existência de áreas que apresentam valores similares de uma determinada variável e que estão geograficamente próximas. A Figura 4 mostra as associações para o Índice de Clima. No eixo X do diagrama, estão plotados os valores observados do Índice de Clima e no eixo Y os valores da defasagem espacial da variável de interesse (ALMEIDA, 2012). O índice possui uma correlação positiva de 0,981, o que indica que os dados tendem a estar agrupados no primeiro (Alto-Alto) e terceiro quadrante (Baixo-Baixo).

Figura 4 - Diagrama de dispersão I de Moran: Índice de Clima

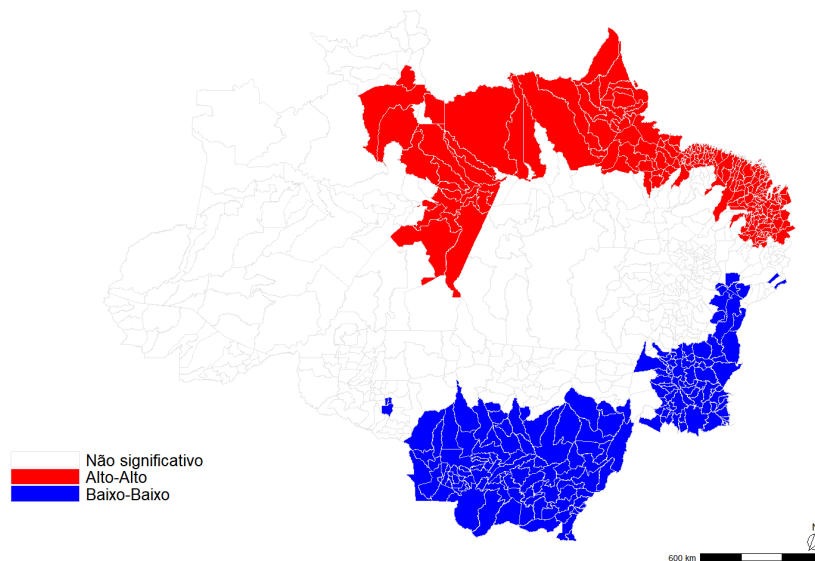


Fonte: Elaboração própria.

Os padrões de agrupamentos das unidades espaciais são mais bem observados no mapa de dependência espacial, as áreas são coloridas de acordo com as categorias de autocorrelação local. Isso permite uma rápida identificação de padrões espaciais significativos. A Figura 5 abaixo mostra as associações espaciais para o Índice de Clima. Em acordo com os resultados observados na Figura 4, são apresentados dois clusters espaciais. O cluster Alto-Alto (em vermelho) significa que os municípios que exibem altos Índices de Clima são rodeados por municípios que também apresentam valores altos do índice. Ou seja, municípios ao Norte da Amazônia Legal que possuem alta umidade e precipitação e baixa temperatura, possuem vizinhos que também apresentam essas características. Isso reflete em ambientes com solo saturado ou próximo a saturação devido à alta umidade, quantidades significativas de chuva e, assim, podem refletir em temperaturas mais baixas. A combinação de alta precipitação e alta umidade do solo pode levar a inundações, especialmente em áreas com pouca capacidade de absorção de água, como áreas urbanas densamente construídas ou solos compactados. Os impactos do alto Índice de Clima também podem ser observados na saúde, ao criar condições favoráveis para o surgimento e propagação de doenças transmitidas pela água ou por vetores. Destaca-se nessa região os estados do Pará, Amapá e Amazonas.

Já o segundo *cluster* (Baixo-Baixo), está concentrado na região Sul da Amazônia Legal, onde os municípios que possuem baixo Índice de Clima são rodeados por municípios que também possuem baixo Índice de Clima. Esse agrupamento é caracterizado por altas temperaturas e menor umidade e precipitação.

Figura 5 - Dependência Espacial Local (LISA): Índice de Clima



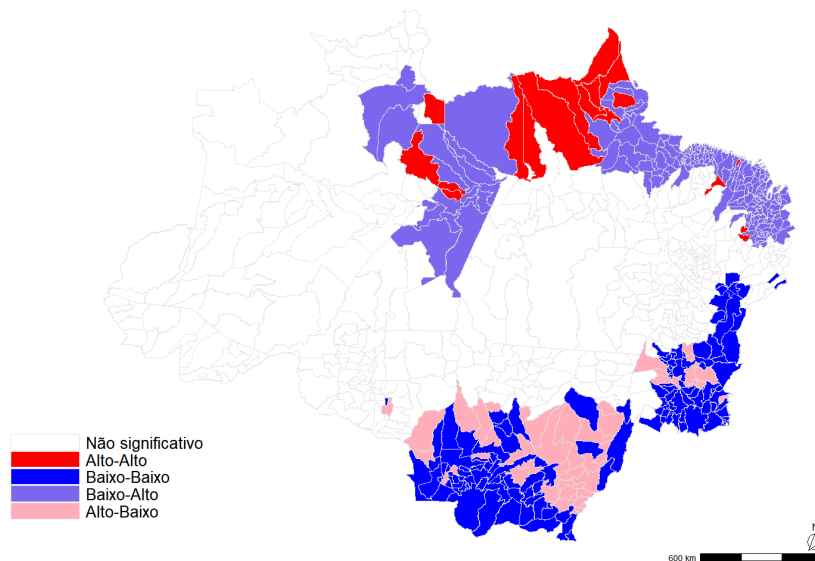
Fonte: Elaboração própria.

O mesmo exercício foi realizado para analisar a associação espacial entre os casos de LTA por 1.000 habitantes e o Índice de Clima. No eixo X estão os casos de LTA por 1.000 habitantes e no eixo Y o Índice de Clima (Figura 6). A associação é negativa, sendo os dados localizados em sua grande maioria no segundo (Baixo-Alto) e quarto quadrante (Alto-Baixo)

Os *clusters* da relação bivariada podem ser observados na Figura 7. Dos 772 municípios da Amazônia Legal, 50,12% foram estatisticamente significativos para a análise espacial. Foram observados quatro *clusters*: Alto-Alto (vermelho), Baixo-Baixo (azul), Baixo-Alto (azul claro) e Alto-Baixo (rosa). A maioria dos municípios se concentraram no cluster Baixo-Alto (192 municípios) e estão localizados ao Norte da Amazônia Legal. O agrupamento indica que esses municípios possuem baixo número de casos de LTA por 1.000 habitantes, mas são circundados por municípios que possuem alto Índice de Clima. Em seguida, é observado o cluster Baixo-Baixo com municípios que apresentam baixo número de casos de LTA por 1.000 habitantes com vizinhos com baixo Índice de Clima, concentrados ao Sul da Amazônia Legal. O cluster Alto-Alto está localizado ao Norte, indicando alto número de LTA por 1.000 habitantes com vizinhos que apresentam alto Índice de Clima. Já o cluster Alto-Baixo está localizado ao Sul, com uma associação negativa, em que municípios com alto número de casos de LTA por 1.000 habitantes estão circundados por municípios que apresentam baixo Índice de Clima. Macedo et al. (2008) mostram em seu estudo que o maior nível de precipitação e umidade do solo podem favorecer a proliferação do mosquito vetor da leishmaniose, aumentando assim o risco de transmissão da doença. No entanto, esse mesmo fenômeno



Figura 7 - Dependência espacial local (LISA): Índice de Clima e Leishmaniose por mil habitantes



Fonte: Elaboração própria.

Os resultados encontrados nesta pesquisa constituem mais uma adição relevante a um corpo crescente de evidências empíricas que sustentam a conexão entre fatores climáticos e a propagação de doenças vetoriais, como a Leishmaniose. Essas descobertas corroboram com estudos anteriores, como apontado na revisão de literatura, dada a influência das condições climáticas na transmissão de doenças. Além disso, este artigo traz uma contribuição inovadora ao campo da pesquisa, pois adota uma metodologia até então pouco explorada neste tipo de investigação.

A utilização da análise de componentes principais para reduzir as variáveis climáticas ao Índice de Clima, como realizado por Fraga et al. (2015), permitiu uma abordagem mais abrangente e de maior precisão na compreensão das complexas interações entre temperatura, umidade e precipitação na Amazônia Legal. Ao considerar a correlação entre as variáveis originais e os componentes principais, foi possível identificar a contribuição específica de cada fator climático no direcionamento do componente predominante.

Ao aplicar a análise de autocorrelação espacial global e local, os clusters espaciais identificados revelam associações relevantes entre os casos de LTA e o Índice de Clima. Os agrupamentos de municípios com alto Índice de Clima cercados por municípios com baixo Índice de Clima ao norte da Amazônia Legal sugerem regiões mais propícias para a transmissão da doença, enquanto os agrupamentos opostos ao sul indicam áreas menos favoráveis a esse processo.

Essa abordagem multidimensional e espacialmente explícita abre novas perspectivas para o entendimento dos fatores que influenciam a disseminação de doenças vetoriais em ecossistemas com-

plexos, como a Amazônia Legal. Os resultados obtidos neste estudo podem servir como base para o aprimoramento de estratégias de prevenção e controle da Leishmaniose, levando em conta não apenas as características epidemiológicas, mas também as particularidades climáticas de cada região. Ademais, ao ampliar o conhecimento sobre a relação entre mudanças climáticas e doenças vetoriais, este artigo se apresenta como uma importante ferramenta para embasar políticas públicas e iniciativas de saúde que busquem mitigar os impactos dessas enfermidades na população e no meio ambiente.

## 5 Conclusões

Com base nos resultados apresentados, é possível concluir que existe uma associação significativa entre o Índice de Clima e os casos de Leishmaniose Tegumentar Americana na Amazônia Legal. O Índice de Clima, que é influenciado principalmente pela precipitação e umidade, mostrou uma forte influência espacial positiva. Isso indica que os municípios com altos índices de chuva e umidade tendem a estar agrupados geograficamente, especialmente ao norte da Amazônia Legal, onde as condições climáticas favorecem ambientes com solo saturado ou próximo da saturação.

Ao analisar a associação espacial entre o Índice de Clima e os casos de LTA por 1.000 habitantes, foi observado que a relação é negativa. Isso significa que os municípios com alto número de casos de LTA tendem a estar cercados por municípios com baixo Índice de Clima, e vice-versa. Esses padrões indicam que a distribuição dos casos de LTA está relacionada às condições climáticas da região.

Os *clusters* encontrados mostram que, ao norte da Amazônia Legal, há municípios com números baixos de casos de LTA por 1.000 habitantes, mas com alto Índice de Clima, sugerindo que essas áreas podem ser mais adequadas para a transmissão por vetores. Por outro lado, ao sul da Amazônia Legal, há municípios com baixo Índice de Clima e baixos números de casos de LTA, indicando que essas áreas podem ter condições menos propícias para a disseminação da doença.

É essencial ressaltar que a utilização de novas metodologias e a combinação de diferentes abordagens de análise são fundamentais para a evolução do conhecimento científico e a busca por soluções mais efetivas em saúde pública. Portanto, o presente estudo representa um valioso passo na compreensão da dinâmica das doenças vetoriais em um contexto de mudanças climáticas, incentivando a continuidade das investigações e aprimoramento das estratégias de enfrentamento desses desafios globais.



## Referências

- [1] BARCELLOS, et al. Mudanças climáticas e ambientais e as doenças infecciosas: cenários e incertezas para o Brasil. *Epidemiol. Serv. Saúde*, Brasília, 18(3):285-304, jul-set 2009.
- [2] BEEBE, N. W.; COOPER, R. D.; MOTTRAM, P.; SWEENEY, A. W. Australia's dengue risk driven by human adaptation to climate change. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, Vol. 3, No. 5, p. 1-9, May/2009.
- [3] BRASIL. Ministério da Saúde, 2017. Boletim Epidemiológico. Acessado em julho de 2023.
- [4] BRASIL. Ministério da Saúde. Manual de Controle da Leishmaniose Tegumentar Americana. Brasília, DF, 2000.
- [5] BRITO, D. Ecoepidemiologia e vigilância da leishmaniose tegumentar americana no município de Prainha, estado do Pará. Universidade Federal do Pará, 2012. (Dissertação de Mestrado).
- [6] COHEN, Julia Clarinda Paiva; BELTRÃO, Josivan da Cruz; GANDU, Adilson Wagner; et al. Influência do desmatamento sobre o ciclo hidrológico na Amazônia. *Ciência e Cultura*, v. 59, n. 3, p. 36–39, 2007.
- [7] Data Zoom Amazônia. Disponível em: <https://datazoomamazonia.com.br/>. Acesso em: 23 jul. 2023.
- [8] DESCHÊNES, O.; GREENSTONE, M. Climate change, mortality, and adaptation: evidence from annual fluctuations in weather in the US. NBER Working Paper Series, n. 13178. Cambridge (USA): National Bureau of Economic Research, jun. 2007. Disponível em: <http://www.nber.org/papers/w13178>. Acesso em: 22/07/2023.
- [9] DIAS ES, Silva JCF, Silva JCD, Monteiro ÉM, Paula KMD, Gonçalves CM, Barata RA. 2007. Flebotomíneos (Diptera: Psychodidae) de um foco de leishmaniose tegumentar no Estado de Minas Gerais. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*, 40(1):49-52.
- [10] ELNAIEM, D et al. Risk mapping of visceral leishmaniasis: The role of local variation in rainfall and altitude on the presence and incidence of kala-azar in eastern Sudan. *The American Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 68(1), pp. 10- 17, 2003.
- [11] FRAGA, A.B.; SILVA, F.L.; HONGYU, K.; SANTOS, D.D.S.; MURPHY, T.W.; LOPES, F.B. Multivariate analysis to evaluate genetic groups and production traits of crossbred Holstein × Zebu cows. *TropAnim Health Prod.* p. 1-6. 2015.
- [12] FRANKE, C. R.; ZILLER, M.; STAUBACH, C.; LATIF, M. Impact of the El Niño/Southern oscillation on visceral leishmaniasis, Brazil. *Emerging Infectious Diseases*, Vol. 8, No.9, pp.914-917, September/2002.-72.

- [13] FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ. Casa de Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, Brasil. Paula, L. M. (2022).
- [14] GRIMALDI, Jr G, Momen H, Naiff RD, McMahon-Pratt D, Barrett TV. Characterization and classification of leishmanial parasites from humans, wild mammals, and sand flies in the Amazon Region of Brazil. *Am J Trop Med Hyg.* 1991 Jun;44(6):645-61.
- [15] HAY, S.I, Guerra CA, Tatem AJ, Noor AM, Snow RW. The global distribution and population at risk of malaria: past, present and future. *Lancet Infectious Diseases* 2004;4(6):327-336.
- [16] IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. The Science of Climate Change – The Scientific Basis – Contribution of Working Group 1 to the IPCC. The assessment report. Cambridge Univ; 2021.
- [17] JOHNSON, Richard A.; WICHERN, Dean W. Applied multivariate statistical analysis. 6th ed. Upper Saddle River, N.J: Pearson Prentice Hall, 2007.
- [18] KAWA H, SABROZA CP, Oliveira RM, Barcellos C. A produção do lugar de transmissão da leishmaniose tegumentar: o caso da Localidade Pau da Fome na cidade do Rio de Janeiro, Brasil. *Cad Saude Publica.* 2010 ; 26(8):1495-507.
- [19] LIMA, TN. Arboviroses emergentes e novos desafios para a saúde pública no Brasil. *Rev Saúde Pública,* 2016; 50:36.
- [20] MACEDO ITF, Bevilaqua CML, Morais NB, Sousa LC, Linhares FE, Amóra SSA. 2008. Sazonalidade de flebotomíneos em área endêmica de leishmaniose visceral no município de Sobral, Ceará, Brasil. *Ciência Animal.*
- [21] MACIEL, M. Distribuição espacial e temporal da leishmaniose tegumentar americana no estado do Amazonas no período de 2001 a 2010. Universidade do Estado do Amazonas, 2013. (Dissertação de Mestrado).
- [22] MANLY, Bryan F. J. Multivariate statistical methods: a primer. 2nd ed. Boca Raton: Chapman Hall/CRC, 1994.
- [23] Mapbiomas Brasil. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em: 23 jul. 2023. McMICHAEL A. J. Global climate change and health: an old story writ large. In: McMichael AJ, Campbell-Lendrum DH, Corvalan CF, Ebi KL, Githenken A, Scheraga JD, et al, editors. Climate change and human health. Risks and responses. Geneva: WHO; 2003. p. 1-17.
- [24] MENDES, C. Mudanças Climáticas e seus impactos econômicos sobre a saúde humana: uma análise da leishmaniose e da dengue no Brasil. Universidade Federal de Viçosa, 2013 (Tese de Doutorado).

- [25] NASCIMENTO, G. Os fatores ambientais que influenciam na ocorrência da leishmaniose tegumentar americana (LTA) no estado do Espírito Santo. Universidade Federal do Espírito Santo, 2009. Dissertação de Mestrado.
- [26] RANGEL, EF, Lainson R. Flebotomíneos do Brasil. Rio de Janeiro: FIOCRUZ; 2003. 368 p.
- [27] REIS, I. Doenças transmitidas por vetores. Observatório Nacional de Clima e Saúde, FIOCRUZ, Outubro 2017.
- [28] REITER, Paul. Climate and mosquito-borne disease. *Environmental Health Perspectives*, V. 109, No.1,— March/2001.
- [29] REY L. Parasitologia: parasitos e doenças parasitárias do homem nos trópicos ocidentais. 4<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2008. p.359-412.
- [30] SHARMA, D. A.; BERN, C.; VARGHESE, B.; CHOWDHURY, R.; HAQUE, R.; ALI, M.; AMANN, J.; AHLUWALIA, I. B.; WAGATSUMA; Y.; BREIMAN, R. F.; MAGUIRE, J.; MCFARLAND, D. A. The economic impact of visceral leishmaniasis on households in Bangladesh. *Tropical Medicine and International Health*. V. 2, No. 5, p. 757-764, May/2006.
- [31] TAUIL, P.L. Controle de doenças transmitidas por vetores no Sistema Único de Saúde. *Informe Epidemiológico do SUS* 2002;11(2):59-60.
- [32] TSENG, W. C.; CHEN, C. C.; CHANG, C.C.; CHU, Y.H. Estimating the economic impacts of climate change on infectious diseases: a case study on dengue fever in Taiwan. *Climatic Change*, Vol. 92, No. 1-2, p. 123-140, 2009.
- [33] WARD, RD, Shaw JJ, Lainson R, Fraiha H. Leishmaniasis in Brazil: VIII. Observations on the phlebotomine fauna of an area of highly endemic cutaneous leishmaniasis in the Serra dos Carajás, Pará state. *Trans R Soc Trop Med Hyg*. 1973;67(2):174-83.