Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>

Climatologia aplicada ao estudo da dengue na cidade de São Luís, Maranhão, Brasil

Marco Aurélio Neri Torres¹, Priscilla Coelho Ribeiro², Audivan Ribeiro Garcês Junior³, Zúlimar Márta Ribeiro Rodrigues⁴, José Aquino Júnior⁵

¹ Mestrando em Geografia – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Faculdade de Ciência e Tecnologia de Presidente Prudente, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rua Roberto Simonsen, 305 - Centro Educacional - P. Prudente/SP - CEP 19060-900. marco.torres.geo@gmail.com (autor correspondente). ² Ms. em Saúde e Ambiente - Programa de Pós-Graduação em Saúde e Ambiente. Universidade Federal do Maranhão. Av. dos Portugueses, 1966. Bacanga - CEP 65080-805. pris.coelho.slz@gmail.com. ³ Doutorando em Geografia – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Campus do Pici, Universidade Federal do Ceará. Av. da Universidade, 2853 - Benfica, Fortaleza - CE, CEP 60020-181. audivanribeiro@gmail.com. ⁴ Dra. Em Geografia. Professora Adjunta do Departamento de Geociências. Universidade Federal do Maranhão. Av. dos Portugueses, 1966. Bacanga - CEP 65080-805. zulimar.marita@ufma.br. ⁵ Dr. Em Geografia, Professor Adjunto do Departamento de Geociências. Universidade Federal do Maranhão. Av. dos Portugueses, 1966. Bacanga - CEP 65080-805. aquino.jose@ufma.br.

Artigo recebido em 29/09/2020 e aceito em 10/11/2021

RESUMO

A dengue é uma doença viral, transmitida pelo *Aedes aegypti*, que apresenta sua distribuição espacial relacionada ao clima, com ampla distribuição tropical. O estudo analisou a relação do clima com a doença na cidade São Luís-MA, associando as variáveis climáticas com as taxas de incidência de dengue entre os anos de 2015 e 2016. Foram realizados procedimentos estatísticos descritivos e analítico, através das Análises de Componentes Principais (PCA), para extração de resultados dos níveis e formas de relações das variáveis climáticas com o número de casos da doença, assim como o grau de contribuição para o cenário amostral analisado. Em 2015 e 2016 foram registradas 7.143 notificações de dengue para o município, sendo mais de 2/3 somente em 2016. As temperaturas altas, porém, não extremas, e a elevada umidade ocasionada pela proximidade das grandes massas oceânicas, do Equador e os quantitativos de precipitação distribuídos ao longo dos meses se mostram propícios ao desenvolvimento do vetor. Para precipitação e umidade, os casos se correlacionaram de forma diretamente proporcional, conforme o esperado, gerando mais casos de notificações nos períodos em que foram registrados maiores valores das duas variáveis. Foi observado que as temperaturas possuem associação positiva, pois, as altas temperaturas tiveram influências diretamente proporcionais até próximas de 29°, e de maneira inversa para faixas superiores a esta. A pressão atmosférica e velocidade dos ventos foram pouco expressivas nas análises apontando que para o modelo amostral estes não contribuíram para a incidência da dengue.

Palavras Chave: arbovirose; Geografia da Saúde; *Aedes aegypti*.

Applied climatology: The study of dengue to city of São Luís, Maranhão, Brazil.

ABSTRACT

Dengue is a viral disease, transmitted by *Aedes aegypti*, which presents its spatial distribution related to climatic influences, with wide tropical distribution. The study analyzed the relationship between climate and dengue incidence rates, between 2015 and 2016, in the city of São Luís-MA. Descriptive and analytical statistical procedures were performed to extract information from the levels and forms of relations between the climatic variables and the number of cases of the disease, as well as the degree of contribution to the scenario analysed using Principal Component Analyses (PCA), based on their correlation. From 2015 to 2016, 7,143 notifications of dengue cases were registered for the municipality, with more than 2/3 only in 2016. High but not extreme temperatures and the high humidity, caused by rainfall levels and the proximity of the oceanic masses and the equator, are propitious to the development of the vector, presenting a distinct trend after the optimum point. For precipitation and humidity, the cases correlated directly proportional, as expected, presenting the highest number of cases of the disease for the periods of higher values of these variables. Although the temperatures have a positive association, in this study, the high temperatures had a directly proportional influence up to 29°, being inversely proportional for higher ranges. The atmospheric pressure and wind speed were not very expressive in the analyses, contributing little to the cases analyzed.

Keywords: Arbovirose; Geography of Health; Climate.

Introdução

A dinâmica do processo saúde e doença, no mundo, passou por importante mudança no que tange ao ressurgimento e aparecimento de novas doenças, aos tratamentos disponibilizados, à distribuição espacial dos aparatos de saúde, e ao seu acesso por alguns grupos. No Brasil, embora tenha havido avanços ao atendimento à saúde, com a criação do Sistema Único de Saúde (SUS), da Estratégia da Saúde da Família (ESF), a criação de diversos bancos de dados para estudo, monitoramento e controle da saúde, ainda existem déficits de cobertura para todo o território nacional.

A história das epidemias em âmbito mundial nos leva a entender que elas fazem parte do contexto sociocultural e socioeconômico das sociedades. Antes do século XX, as epidemias eram ocasionadas por diversos fatores, dentre os quais negligência com medidas sanitárias e higiênicas, falta de políticas públicas de promoção da saúde, e os avanços tímidos da ciência médica para combate às doenças (UvirajarI, 2009). As primeiras grandes epidemias registradas de dengue, por exemplo, ocorreram na Ásia, África e América de forma quase que simultânea, entre 1879 e 1880; o que sugere que o vírus e seu principal vetor tem uma distribuição geográfica nos trópicos há mais de 200 anos (Gluber & Clark, 1995; Gluber 1997).

O século XX tem grande relevância para a disseminação epidemiológica da doença, por dois motivos. O primeiro foi que, em meados da década de 1950, a dengue foi considerada erradicada em muitos países do mundo por causa de campanhas coordenadas da Organização Mundial de Saúde (OMS). O segundo, diz respeito à reemergência da doença em áreas consideradas livres, o que ocasionou um enorme problema de saúde pública em grande parte das áreas consideradas de risco.

A dengue é uma doença viral transmitida pelo mosquito *Aedes aegypti*, disseminado em grande parte dos países considerados tropicais. Conforme Zuchi (2016, p. 31), “a dengue é classificada como arbovirose”, ou seja, uma virose que é transmitida por artrópodes. Segundo o relatório da Organização Pan-Americana de Saúde (2008, p. 25) “as doenças transmitidas por vetores constituem, ainda hoje, importante causa de morbidade e mortalidade no Brasil e no mundo”. Por ser uma doença viral, a dengue pertence ao tipo Flavivírus da família Flaviviridae. Tem quatro sorotipos: DEN 1, DEN 2, DEN 3, DEN 4. Estes sorotipos causam tanto a dengue clássica (DC), quanto a febre hemorrágica da dengue (FHC) (Gluber, 1998; Catão, 2012).

Acredita-se que a origem geográfica do principal vetor da dengue para humanos, ou seja, o

Aedes aegypti, sejam as florestas africanas, porém não se conhece o local exato (Catão, 2012). Conforme Gubler (1998), o mosquito esteve presente inicialmente nas florestas africanas e asiáticas, onde não precisava necessariamente de humanos para se alimentar, se alimentando inicialmente por meio de primatas encontrados na região.

Conforme já destacado, o principal vetor da doença é o *Aedes aegypti*, porém, há outros mosquitos da mesma família que são responsáveis pela contaminação de animais (primatas) em todo mundo, nas áreas rurais e urbanas, como o *Aedes albopictus*, embora em escala muito menor. (Gluber 1988, Catão, 2014)

Nos humanos, o vírus é transmitido pelas fêmeas do *Aedes*. Após se efetivar o ciclo de transmissão da doença, o indivíduo infectado pelo vírus apresenta os primeiros sintomas de 24 a 36h, podendo ficar no organismo por um período de 3 a 14 dias (Glouber, 1998).

O ciclo de vida dos vetores das doenças infecciosas que participam da cadeia de transmissão de doenças está relacionado fortemente aos ecossistemas nos quais eles se inserem. Atualmente, o maior risco ao contágio pela dengue está situado em territórios de países da faixa tropical, em que os altos índices de temperatura se mantém praticamente o ano inteiro. Outra característica dessas áreas é a sazonalidade de precipitações centradas em diferentes meses do ano. Pode-se destacar ainda que nessas áreas se encontra boa parte dos piores indicadores socioambientais do planeta, o que torna um forte indicativo relativo à disseminação do vetor (BRASIL, 2008).

No Brasil foram realizadas tentativas de “erradicação” do vetor transmissor do vírus nas décadas de 1950 e 1960. Entretanto, a dengue reemergiu a partir da década de 1970. Desde então os casos foram recorrentes e tiveram um crescimento exponencial em praticamente todo o território nacional. Atualmente a dengue está notificada em basicamente todos os estados brasileiros, causando epidemias. Os estudos evidenciam que a dengue está se instaurando em áreas que, antes eram consideradas livres da proliferação. Isso mostra que cada vez mais a dengue vem se adaptando e se manifestando em novos territórios (Mendonça, Souza, Dutra. 2009; Catão, 2012).

A distribuição do vetor da dengue, ao longo do mundo, tem forte ligação ao fator climático, as variáveis de temperatura, umidade, precipitação, velocidade do vento, dentre outras, podem influenciar diretamente o aparecimento e desenvolvimento do vetor em determinadas faixas

do globo. Os estudos de Glasser e Gomes (2002) demonstram que a distribuição espacial do *Aedes* sofre influências climáticas e tem ampla propensão nos ambientes tropicais, e em muitos dos casos limitadas a isoterma de 10°C.

A climatologia, por sua vez, é caracterizada por ser uma ciência dinâmica que amplia os conhecimentos sobre os fenômenos que agem na atmosfera/litosfera e também atuam de forma direta em na relação com a superfície antropizada. Esse ramo de conhecimento apresenta várias ramificações, como climatologia analítica, separativa ou tradicional; climatologia dinâmica, climatologia sinótica; e climatologia sintética ou moderna, entre outras (Borsato, 2016).

As principais vertentes dos estudos sobre o clima são o clima urbano, clima e agricultura, clima e saúde e mudanças climáticas. A relação intrínseca entre clima e saúde tem grande importância, pois discute a influência dos tipos de tempo na morbidade epidemiológica e nos casos de enfermidades, condicionados aos aspectos culturais (hábitos e costumes), à segregação socioespacial e ao planejamento da saúde pública” (Sant’anna Neto, 2008, p. 53).

A revisão de estudos que dizem respeito à dengue e sua relação com o clima e seus elementos atmosféricos mostram que estes são os mais publicados nos periódicos científicos no que se refere aos estudos epidemiológicos em saúde na última década (SOUSA *et al*, 2018).

Existem pesquisas de grande importância para o entendimento da dengue e da sua íntima ligação com o clima em diferentes regiões do Brasil, tais como Aquino Junior (2010), Catão (2011), Gomes (2011), Magalhães (2011), Rosenghini (2013), Aquino Junior (2014); Silva, Silva e Chaves (2014) e Garcês Junior (2017); consideramos que a continuidade dessas pesquisas é um forte indicador do reaparecimento da doença no território nacional

Sobre a dengue em São Luís, capital do Maranhão, Moreira (2016) e Garcês Junior (2017) afirmam que o problema não difere da situação nacional atual. Na última década as epidemias da doença se tornaram um sério problema para saúde, causando transtornos tanto à gestão da saúde pública da cidade quanto aos moradores que adoeceram.

Portanto, esta pesquisa teve por objetivo analisar a relação entre clima e a incidência dos casos notificados de dengue na cidade de São Luís, entre 2015 a 2016. Buscou-se contribuir para a melhor compreensão dos casos e pensar em ações que possibilitem uma melhor controle e monitoramento da doença.

Metodologia

Para a efetivação da pesquisa, utilizaram-se dados secundários disponibilizados por meio de bancos de dados online. Na confecção do material cartográfico os dados vetoriais em formato de malha digital referentes a São Luís, disponibilizados pelo site Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE); e os dados referentes a variáveis climáticas obtidos por meio do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Nos estudos que buscam uma relação entre climatologia aplicada a análises de arboviroses como a dengue, as variáveis meteorológicas mais estudadas são as temperaturas (mínima, média e máxima), a umidade relativa do ar, a precipitação e a velocidade do vento (Aquino Junior, 2014). A estação de dados do INMET responsável pela obtenção das variáveis climáticas foi a estação meteorológica de São Luís, localizada na APA do Itapiracó (coordenadas 2°31'36.37"S e 44°12'48.73"O). Inicialmente, os dados foram coletados na escala diária. No entanto, tendo em vista a perda de dados resultante de falhas relacionadas ao próprio servidor dos dados, optou-se pela coleta da escala horária para depois fazer a organização em médias e acumulados diários e mensal para os anos 2015 e 2016.

Os dados horários do INMET são disponibilizados na hora universal ou tempo universal (TU), definido segundo o tempo solar médio. Para tanto, foi necessário fazer a correção de horário mediante a subtração de menos 03:00h do horário de Brasília em relação a Greenwich para os dados das variáveis meteorológicas estudados diariamente.

Quanto aos casos notificados de dengue para a cidade de São Luís, as informações foram disponibilizadas diretamente pela Secretaria Estadual de Saúde do Estado do Maranhão (SES). Os dados são dos anos de 2015 a 2016, na escala temporal diária e mensal, 2.408 casos confirmados da doença em 2015 e 4.735, em 2016.

Foram utilizados diferentes softwares para análise dos dados secundários. O *Microsoft Excel 365* (2018), para organizar e tabular os dados; o *Statistica 7* (STATSOFT INC, 2004), para realizar as análises estatísticas; e o *Qgis 2.18*, para elaborar o material cartográfico.

Neste estudo, aplicou-se a matriz de correlação entre as variáveis temperaturas (máxima, média e mínima), precipitação, umidade relativa do ar, velocidade dos ventos e pressão atmosférica, para gerar os valores de porcentagem de variabilidade das variáveis para cada componente. Segundo Bernardi, Flower e Landim (2001), esses valores, ao serem multiplicados pela matriz principal, forneceram a matriz de “scores”

que foram dispostos em um diagrama de dispersão bidimensional, com as duas componentes de maior % de explicação dos dados. O coeficiente de correlação (r) informa o modo e as intensidades das relações analisadas. Desta forma, a medida que este valor se distancia de zero (relações nula), descreve-se um aumento da intensidade variando de fraca a extremamente forte com a proximidade de r do valor 1, sendo diretamente proporcional quando se apresenta de modo positivo ($r \rightarrow +1$), ou inversamente proporcional para valores negativos ($r \rightarrow -1$), conforme explica (Moore, 2007).

Através da análise de componentes principais (*Principal Component Analysis* - PCA) se descreveu as tendências de comportamento entre as variáveis climáticas e os casos notificados de dengue, priorizando os dois cenários (fatores eixos) de maior porcentagem de explicação da contribuição das variáveis nos casos de dengue, permitindo avaliar um conjunto de variáveis a partir das respectivas matrizes e das correlações observadas, com perda mínima de dados, visando sua redução e eliminação de sobreposição e a

escolha das formas mais representativas a partir de combinações lineares das variáveis originais (Manly, 2004; Andrade e Pinto, 2003). A primeira componente (CP_1) ou fator é a responsável pela percentagem mais alta de explicação dos dados originais, quando considerado o valor das matrizes, sendo as seguintes em ordem decrescente de porcentagens de explicação de variáveis originais ($CP_2, CP_3, \dots CP_n$); a soma das componentes é igual a 100%. Quanto maior for a correlação entre as medidas originais, maior será a parcela de variação explicada pelos primeiros dois eixos (Gomes, 1985; Landim, 2000).

Área de Estudo

São Luís (Figura 1) limita-se com o Oceano Atlântico, ao Norte; com o Estreito dos Mosquitos, ao Sul; com a baía de São Marcos, a Oeste; e com o município de São José de Ribamar, a Leste. Está localizada na Latitude: $02^{\circ}31'47''S$ e Longitude: $44^{\circ}18'10''W$.

Figura 01. Localização da área de estudo.
Fonte: elaborado pelo autor a partir de IBGE, 2015.

O município possui densidade demográfica de 1.043,3 hab/km². Pertence à Microrregião Aglomeração Urbana de São Luís e à Mesorregião Norte Maranhense. Ocupa mais da metade (57%) da ilha do Maranhão – onde estão

também os municípios de São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa. Todos esses municípios fazem parte da região metropolitana da Grande São Luís. (IBGE, 2011).

Destaca-se também a importância das Linhas de Instabilidade (LI), outro sistema atmosférico responsável pelas precipitações em São Luís (Araújo, 2014). Conforme Cohen et al. (2009), as LI's são sistemas que ocorrem basicamente na costa norte-nordeste da América do Sul, com tendências a se propagar para o interior do continente. Ferreira e Mello (2005) esclarecem que as LI's são caracterizadas por nuvens provocadoras de chuva do tipo cúmulos, organizadas em forma de linha, que podem atuar na região nordeste do Brasil, principalmente entre fevereiro e março.

Os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL) também atuam na região e se formam a partir da área de influência da zona de convergência dos alísios nas proximidades da linha do Equador. O DOL tem deslocamento de leste para oeste, do oceano para o continente. Esse fenômeno provoca o aumento da pluviosidade, porém seus episódios não ocorrem em um período específico, mas durante o ano todo, no período chuvoso e seco (Pinheiro, 2018).

Nos meses em que se concentra o período seco, caem os níveis de precipitação e a umidade relativa, o que se contrapõe a um aumento gradativo das temperaturas e da velocidade do vento. Neste período (de julho a dezembro), há a atuação da Massa Equatorial Atlântica (MEa) (Cavalcanti et al., 2009). E também pela influência da Alta Subtropical Do Atlântico Sul (ASAS), responsável pela redução da ocorrência de chuvas em grande parte do nordeste.

Resultados e discussão

A cidade de São Luís tem características climáticas bem distintas, representada por uma sazonalidade climática. No que se refere à caracterização climática da cidade, São Luís está situada dentro de uma zona em que o regime climático se manifesta predominantemente pelo clima quente com chuva de verão do tipo Aw, segundo a classificação realizada por Dubreuil et al. (2017)

O município está sob uma faixa em que predominam altos índices de radiação solar, que se refletem em temperaturas médias elevadas (Feitosa, Trovão, 2006). Tem regularidade térmica durante todo ano, apresentando duas estações bem

definidas pelo regime pluviométrico, caracterizada por uma estação chuvosa e outra de seca ou de estiagem (Feitosa, 1990; ARAÚJO, 2001, Araújo, 2014; Pinheiro, 2015; Pinheiro, 2018).

O período chuvoso é caracterizado por precipitações elevadas que ocorrem de janeiro a junho. O período de estiagem ocorre de julho a dezembro, quando a precipitação diminui, chegando a níveis muito baixos ou até ausência. Com isso, ocorrem aumento das temperaturas (mínimas, máximas e médias) e da velocidade do vento e, em consequência, o decréscimo da umidade relativa (Feitosa, 1990; Araújo, 2014; Pinheiro, 2018).

As precipitações na cidade de São Luís estão atreladas principalmente ao sistema atmosférico denominado como Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (Araújo, 2014). Segundo Cavalcanti et al. (2009), este sistema atmosférico é o que mais influencia as precipitações nos continentes sul-americano. Nessa região a zona de convergência intertropical migra sazonalmente. Nos anos considerados normais, ela migra entre 14° N e 2° S e nos anos chuvosos a ZCIT pode atingir até 5°S. Além de influenciar diretamente na precipitação de São Luís, a ZCIT influencia diretamente a região Norte e Nordeste do País.

No geral, percebeu-se uma tendência de casos confirmados de dengue iniciando-se no mês janeiro, com ao final de março até maio. Os meses que apresentam o maior número de casos foram março e abril. A partir de junho, há uma queda considerável do número de casos da doença, chegando a meses com poucos casos confirmados da doença, voltando a ter um acréscimo em novembro e dezembro (Figura 2).

No ano de 2016, houve um aumento do número de casos em comparação com 2015, sendo a maior concentração no primeiro semestre. Essa diferença significativa entre os anos, além de sua relação com os fatores ambientais e climáticos atuantes, pode ser explicada pelas possíveis subnotificações dos dados de saúde, em decorrência das similaridades dos sinais e sintomas da dengue com os de outros agravos. Araújo (2018) relata que nesse período houveram muitos casos de dengue que teriam sido notificados de forma equivocada.

Figura 2. Casos de dengue em São Luís ao longo dos meses para 2015 e 2016

Fonte: Elaborado a partir Secretaria Estadual de Saúde do Estado do Maranhão.

A análise da relação das notificações de casos de dengue, para o período estudado, mostrou comportamento semelhante com outros estudos que relacionavam estes as variáveis climáticas, com atenção especial ao estudo de Garcês Junior (2017), que destacou a relação das atividades de precipitação e umidade com os casos notificados em tendência diretamente proporcional, com tendências inversas e fracas com as variáveis ligadas a temperatura. Porém, os valores de correlação de precipitação, umidade, temperatura e velocidade de vento foram mais significativas, se comparado ao estudo mencionado, apresentando correlação descrita como extremamente forte ou significativas, evidenciando a colaboração individual de cada variável sobre as notificações (Tabela 1).

Nos anos estudados, a grande quantidade de casos notificados no primeiro semestre,

principalmente em março, abril e maio, exibe comportamento similar aos valores acumulados de precipitação e com curtos intervalos entre os episódios chuvosos no mesmo período (Figuras 3 e 4). Em 2015, 79% da precipitação anual, ocorreu no trimestre que vai de março a maio. Já em 2016, aproximadamente 96% da precipitação anual, se acumulou em sete meses, caracterizado pelo semestre que vai de janeiro a junho (85%) e o mês de dezembro (11%).

A incidência das fortes precipitações ocorridas no primeiro semestre e, conforme já destacado, acontece de forma mais intensa de março a maio e pode favorecer o desenvolvimento do vetor. A constante pluviométrica observada, atrelado a capacidade de evapotranspiração, pode ajudar a permuta por acumulação de água da chuva de possíveis criadouros do mosquito (Figuras 5 e 6).

Figura 3. Correlação das notificações de casos de dengue de 2015 e 2016 com as variáveis climáticas ($p < 0,05$).

Casos de dengue	Temp. Máx. (C°)	Temp. Méd. (C°)	Temp. Mín. (C°)	Umid. Rel. (%)	Pressão (hPa)	Vel. Vento (m/s)	Precip. (mm)
2015	-0,54	-0,26	-0,04	0,51	-0,24	-0,41	0,69
2016	-0,42	-0,39	0,11	0,83	0,01	-0,77	0,83

Fonte: Elaborado a partir de dados do INMET e da Secretaria Estadual de Saúde do Estado do Maranhão.

Figura 4. Precipitação ao longo dos meses e casos de dengue em São Luís – 2015 e 2016.
Fonte: Elaborado a partir de dados do INMET e da Secretaria Estadual de Saúde do Estado do Maranhão.

Figura 5. Dias sem precipitação ao longo dos meses e casos de dengue em São Luís - 2015.
Fonte: Elaborado a partir de dados do INMET e da Secretaria Estadual de Saúde do Estado do Maranhão.

Figura 6. Dias sem precipitação ao longo dos meses e casos de dengue em São Luís - 2016. Fonte: Elaborado a partir de dados do INMET e da Secretaria Estadual de Saúde do Estado do Maranhão
Souza, L. S. B.; Moura, M. S. B.; Sedyama, G.C.; Silva, T.G. F.

Essas relações entre os casos notificados de dengue e o acumulado de precipitações tem tendência de relação natural com o vetor, que necessita do acúmulo de águas em possíveis criadouros intra e extradomiciliares. Estes que por sua vez são os principais focos para a disseminação do mosquito.

A umidade relativa também tem correlação forte com as notificações de dengue (Figura 3). A umidade se manteve elevada nos anos dois anos, com valores altos no primeiro semestre e menores no segundo semestre, sem diferenças acentuadas, porém, os valores máximos e mínimos registrados foram, respectivamente, de 95,0% e 64%, para 2015; e 94,6% e 69%, para 2016. Tais valores podem ser explicados pela sua situação geográfica de caráter litorâneo, próximo de grandes

massas de água oceânicas, que influencia a umidade relativa da cidade, permanecendo elevada - acima de 77% em grande parte do ano (Figura 7).

Embora a umidade relativa apresente uma correlação extremamente forte, sua relação com o vetor não é direta. O que acontece é que no período de grandes notificações da doença, temos a elevada precipitação que, condicionadas as temperaturas tropicais e a alta insolação, elevam os níveis de umidade relativa por intensos processos de evapotranspiração. Sua relação com os casos notificados pode ser resultante do ressecamento dos ovos, pois a resistência ao ressecamento só é adquirida após 15h após a postura, e este, em condições de temperaturas e umidade ideais tem o desenvolvimento do vetor em até 72 horas (FUNASA, 2001; VIANNA, 2001).

Figura 7. Umidade Relativa em São Luís ao longo dos meses para 2015 e 2016.

Fonte: Elaborado a partir de dados do INMET.

Todavia, a chuva e a umidade não são os únicos responsáveis para o bom desenvolvimento do vetor. Beserra *et al* (2006) demonstram que as temperaturas são de grande importância para o crescimento do mosquito *Aedes aegypt*.

No período de estiagem, no segundo semestre do ano (julho a dezembro), ocorre o decréscimo das precipitações e dos níveis umidade em comparação ao primeiro semestre, apresentando uma frequência maior dos episódios de elevadas temperaturas, caracterizando como os

meses mais quentes do ano. Segundo o INMET (2018), a partir das normais climatológicas de 1981 a 2010, outubro é o mês mais quente do ano. Apresenta um total de menos de 10 mm de precipitação e, em alguns casos, dependendo da variabilidade climática, existem anos com o mês de outubro totalmente sem precipitação.

Quanto as temperaturas, São Luís apresentou nos dois anos estudados, temperatura média em torno dos 27,1°C, com máxima de 34,6°C para 2015 e de 34,9°C para 2016, e mínimas de

21,5° C e 21,1°C, respectivamente. Os valores de correlação entre as temperaturas e os casos notificados de dengue foram caracterizados como fracas no geral, sendo que para a máxima foram moderadas; porém com efeito inverso, mostrando

um leve decréscimo dos casos a medida que as temperaturas se elevam, principalmente nos meses com frequência de temperaturas superiores de 27,0°C. (Figuras 3 e 8).

Figura 8. Temperaturas ao longo dos meses em São Luís – 2015 e 2016.

Fonte: Elaborado a partir de dados do INMET.

Desta maneira, para a cidade, observa-se uma tendência de limitação para o vetor em elevadas temperaturas, que em teoria estaria condicionada dois pontos: o primeiro relacionado a existência do criadouro, já que elevada temperatura e baixa precipitação favorecem a escassez de água parada em locais propícios ao acúmulo natural; o segundo, relacionado aos aspectos reprodutivos do mosquito, pois como observado anteriormente, no segundo semestre, caracterizado pela elevação das temperaturas, acontece um decréscimo das precipitações e dos níveis de umidade que favorecem o dessecamento do ovo recém posto, inviabilizando lavas. Entretanto, devido a amplitude térmica baixa, típica de ambientes tropicais, aliada a resistência a dessecação, favorecem para o crescimento e desenvolvimento do mosquito ao longo do ano (BESERRA *et al.*, 2006).

Apesar de a literatura observar que a velocidade do vento pode influenciar a dispersão do vetor, pouco se produziu sobre o assunto.

Conforme afirmam Torres *et al.* (2017), a velocidade do vento não tem influência direta sobre os casos de dengue em São Luís, porém é expressivo o comportamento inverso dos casos de dengue à medida que as velocidades aumentam (Figura 3). Este comportamento é visto na cidade no segundo semestre do ano, quando ocorre um forte aumento das velocidades do vento, mais precisamente entre setembro e novembro (Figura 9). Entretanto, nesse mesmo período, como já mencionando anteriormente, existe um decréscimo das precipitações e umidade, além do aumento das temperaturas, variáveis estas com relação conhecida na literatura.

A pressão atmosférica é elevada durante todos os meses do ano, não demonstrando variações significativas e nem grandes amplitudes (Figura 10). Não se percebe muita relação da pressão atmosférica com os casos de dengue na cidade (Figura 3). Torres *et al.* (2017) evidenciam também que há pouca relação da pressão atmosférica com os casos confirmados de dengue.

Figura 9. Velocidade do vento em São Luís ao longo dos meses para 2015 e 2016. Fonte: Elaborado a partir de dados do INMET.

Figura 10. Pressão Atmosférica ao longo dos meses em São Luís – 2015 e 2016.

Fonte: Elaborado a partir de dados do INMET.

Para uma melhor compreensão das tendências de comportamento entre as variáveis climáticas e os casos notificados de dengue, as análises da PCA foram necessárias. Desta forma, utilizando variáveis sínteses da dinâmica estabelecida para os anos analisado, destacamos a influência dos diferentes tipos de tempo e a tendência interanual das notificações considerando

a interação simultânea das variáveis, conforme pode ser observado no (Figura 11).

Ao analisar simultaneamente as variáveis estudadas, foram identificados dois fatores majoritários que contabilizaram mais de 80% das possíveis interações. Para simplificar a explicação, aqui renomeamos tais fatores pelos binômios das variáveis explicativas.

Figura 11. Cenários da dinâmica climática e notificações de dengue - 2015 e 2016.

Fonte: Elaborado a partir de dados do INMET e da Secretaria Estadual de Saúde do Estado do Maranhão.

O Fator 1 explica mais de 60% das notificações de dengue, sendo nomeado aqui como binômio precipitação e umidade relativa, considerando que foi sensível a relação de aumento dos casos à medida que as duas variáveis elevaram seus valores. As temperaturas apresentaram tendência inversa, direcionando de forma clara a limitação das notificações a possíveis características biológicas do vetor.

Embora tenha-se observado grande afinidade com as variáveis precipitação e umidade relativa, mesmo no segundo semestre dos anos, quando os valores decresceram, ainda existiu notificações com média de 125 casos/mês em 2015 e 214 casos/mês em 2016. Isto pode ser explicado por dois condicionantes: o primeiro com premissa biológica, ocasionado pela resistência ao ressecamento dos ovos que, ao possuírem um embrião viável, podem resistir a longo período de baixa precipitação e níveis umidade, até momento propício a eclosão; o segundo com premissa socioambiental, condicionado a um abastecimento deficiente de água vivenciado pela maior parte da população da cidade (rodízio), obrigando os moradores a usar métodos inadequados de armazenamento de água de forma intradomiciliar,

tais como tanques, caixas d'água, entre outros, que por muitas vezes não são fechados ou vedados, favorecendo a proliferação do mosquito e o potencial de contaminação. .

O Fator 2 explicou aproximadamente 19% das notificações, aqui nomeado como binômio velocidade do vento e pressão atmosférica, que destaca as relações de notificações contrária ao aumento constante.

A tendência de diminuição de notificações à medida que aumenta a velocidade do vento pode estar relacionada a dois pontos. O primeiro ao fato que no período de aumento de velocidade ocorre a diminuição das chuvas e da umidade local, além do aumento das temperaturas. O segundo considera que a perturbação provocada com aumento da velocidade do vento na superfície aquosa por meio de transferência de energia cinética, não é favorável ao desenvolvimento do vetor, já que a fêmea do *Aedes aegypti* faz a desova, preferencialmente, em criadouros com água parada, podendo ser limpa ou suja, depositados nas paredes do criadouro, porém não diretamente sobre o líquido.

A pressão atmosférica mostrou pouca relação com a variável dengue. Este tipo de

elemento climático, a nível do mar sofre pouca variação ao longo do ano, o que a deixa inexpressiva quanto elemento influenciador da dengue, isso dentro do tipo de ambiente litorâneo presente na cidade de São Luís.

Considerações Finais

A pesquisa demonstrou que existe uma forte relação de alguns elementos atmosféricos com a dengue no contexto geográfico de São Luís. Foi evidenciado que os períodos dos anos em que se concentram o maior número de casos da doença se relacionam com os períodos que ocorre o maior acúmulo de precipitações. Ou seja, a incidência da dengue está pautada pela sazonalidade climática da região no período estudado.

Ficou evidente também que as precipitações podem favorecer a criação intra e extradomiciliar de criadouros, responsáveis pelo desenvolvimento do vetor da dengue. Destaca-se que, a pesquisa evidenciou uma constante pluviométrica que foi observada entre março a maio, deixando poucos dias sem precipitação, causando grande importância no impacto para a manutenção de um cenário mais propício para o desenvolvimento do vetor. Assim a constante pluviométrica, atrelada às temperaturas e à umidade relativa formaram um contexto muito significativo para o desenvolvimento do vetor.

A redução da precipitação e o aumento das temperaturas nos segundos semestres dos dois anos estudados foram inversamente proporcionais ao surgimento de grande número casos de dengue na cidade. No entanto, as notificações ocorreram durante todos os períodos do ano, mesmo que em menor continuidade nos segundos semestres. No segundo semestre, possivelmente, as condições socioambientais de muitos bairros de São Luís, que são afetados por problema de intermitência de fornecimento água, leva os moradores a armazenarem água de forma inadequada, o que pode influenciar a criação de novos focos do mosquito e consequentemente nas notificações dos casos.

As estatísticas pela análise de componentes principais (PCA) ratificou que as variáveis que mais se relacionam com a dengue foram a precipitação e umidade.

É preciso ainda uma proximidade maior entre a pesquisa científica, desenvolvida nas universidades, e nos centros de pesquisas e órgãos responsáveis pela gestão em saúde, a fim de que se otimizem as práticas de combate e controle de doenças na cidade de São Luís e o estado do Maranhão. Pode-se pensar também na criação de sistemas de monitoramento climático de agravos em saúde sensíveis ao clima, para gerar previsões

que ajudem a mitigar os efeitos das doenças sobre as populações.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de Pós - Graduação em Geografia da Universidade Estadual Paulista- UNESP/Presidente Prudente - SP, pelo apoio institucional, ao Conselho a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo-FAPESP (processo número 2019/12170-4), ao Programa de Pós-Graduação em Saúde Ambiente da Universidade Federal do Maranhão – UFMA/São Luís – MA, ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Ceará – UFC/Fortaleza – CE e ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Maranhão – UFMA.

Referências

- Andrade, M.C.; Pinto, L.C.M., 2003. Classificação de folhas por tamanho e Forma Através de Descritores Geométrico e Análise dos Componentes Principais. Anais do IV Workshop em Tratamento de Imagens, NPDI/DCC/ICEx/UFMG, p. 54-61
- Aquino Junior, J., 2010. A dengue na área urbana contínua de Maringá/PR. 188 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná - UFPR, Curitiba
- Araújo, A.J., 2014. A produção do espaço urbano em São Luís do Maranhão, passado, presente; há futuro? São Luís: EDUFMA
- Araujo, R.R., 2001. O processo de urbanização na produção do clima urbano de São Luís-MA. 178f. Dissertação (Mestrado em Geografia) -Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho” – UNESP, Presidente Prudente
- Araújo, A. S., 2018. Análise espacial de casos prováveis de febre pelo vírus Zika no município de São Luís, Maranhão, Brasil. 94f. Dissertação (Mestrado em Saúde e Ambiente) Universidade Federal do Maranhão – UFMA, São Luís
- Bernardi, J.V.E.; Fowler, H.G.; Landim, P.M.B., 2001. Um estudo de impacto ambiental utilizando análises estatísticas espacial e multivariada. *Holos Environmental*, 1: 162-172

- Beserra, E.B.; Castro Jr, F.P.; Santos, J.W.; Santos, T.S.; Fernandes, C.R.M., 2006. Biologia e Exigências Térmicas de *Aedes aegypti* (L.) (Diptera: Culicidae) Provenientes de Quatro Regiões Bioclimáticas da Paraíba. Neotropical Entomology. 35, 853-860
- Borsato, V. A., 2016. A dinâmica climática do Brasil e massas de ares. 1º ed. Curitiba: CRV
- Brasil, 2011. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Bases de Informações do Censo Demográfico 2010: Resultados do Universo Por Setor Censitário. Rio de Janeiro: IBGE
- Brasil, 2018. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE Cidades. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/v4/brasil/ma/sao-luis/panorama>>. Acesso em: 01 de outubro de 2018
- Brasil, 2008. Ministério da Saúde. Mudanças climáticas e ambientais e seus efeitos na saúde: Organização Pan-Americana da Saúde. – Brasília: Organização Pan-Americana da Saúde
- Burnett, F.L., 2008. Urbanização e desenvolvimento sustentável: a sustentabilidade dos tipos de urbanização na cidade de São Luís do Maranhão. São Luís: UEMA
- Catão, R.C., 2011. Dengue no Brasil: abordagem geográfica na escala nacional. 1699 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho” – UNESP, Presidente Prudente
- Catão, R.C., 2012. Dengue no Brasil: abordagem geográfica na escala nacional. São Paulo: Cultura Acadêmica
- Cavalacanti, I.F.B., Ferreira, N.J., Silva, M.G.A.J., Dias, M.A.F.S., 2009. Tempo e clima no Brasil. São Paulo: Oficina de Textos
- Cohen, J., 1988. Statistical power analysis for the behavioral sciences. Hillsdale, NJ, Erlbaum
- Cohen, J., Cavalacanti, I.F.B., Braga, R.H.M., Neto, L.S., 2009. Linhas de Instabilidade na Costa N-NE da América do Sul. In: Ferreira, N.J., Silva, M.G.A.J., Dias, M.A.F.S. Tempo e clima no Brasil. São Paulo: Oficina de Textos
- Diniz, J.S., 2017. As condições e contradições no espaço urbano de São Luís (MA): traços periféricos. In: Rodrigues, S.J.D., Santos, L.E.N. dos., Costa, C.R.R. da., 2017. Temas da Geografia do Maranhão: territórios e desenvolvimento regional. Lugar educação e cultura. São Luís: EDUFMA
- Dubreuil, V., Fante, K.P., Planchon, O., Sant'anna Neto, J.L., 2017. Les types de climats annuels au Brésil: une application de la classification de Köppen de 1961 à 2015. EchoGéo [Online], 41
- Feitosa, A.C., 1996. Dinâmica dos processos geomorfológicos da área costeira a nordeste da Ilha do Maranhão. 249f. Tese (Doutorado em Geografia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro (SP)
- Feitosa, A.C., 1990. Evolução morfogenética do litoral norte da ilha do Maranhão. 249f. Dissertação. (Mestrado em Geografia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro (SP)
- Feitosa, A.C.; Trovão, J.R., 2006. Atlas escolar do Maranhão: espaço geo-histórico e cultural. João Pessoa: Grafset
- Ferreira, A.G.; Mello, N.G.S., 2005. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região nordeste do Brasil e a influência dos oceanos pacífico e atlântico no clima da região. Revista Brasileira de Climatologia, vol. 1, nº 1
- Garces Junior, A.R., 2017. Saúde e ambiente: contribuições para análise da dengue no município de São Luís, Maranhão. 116 f. Dissertação (Mestrado em Saúde e Ambiente). Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal do Maranhão – UFMA, São Luís
- Glasser, C.M., Gomes, A.C., 2002. Clima e sobreposição da distribuição de *Aedes aegypti* e *Aedes albopictus* na infestação do Estado de São Paulo. Rev. Saúde Pública. v. 36, 2:166 -172
- Gomes, A.F., 2011. Análise espacial e temporal da relação entre dengue e variáveis meteorológicas na cidade do Rio de Janeiro no período de 2001 a 2009. 94 f.

- Dissertação (Mestrado em Saúde Pública). Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca – ENSP, Rio de Janeiro
- Gomes, M.B., 1985. Determinação de Componentes Principais. *Ciência & Cultura*, v. 37:10-12
- Gubler, D., 1998. dengue and dengue Hemorrhagic fever. *Clinical Microbiology Reviews*, Philadelphia, 3:480-96, jul
- Gubler, D., 1997. epidemic dengue/dengue Haemorrhagic fever: a global public health problem in the 21st century. *Dengue Bulletin*, 21, 1-19
- Gubler, D.J.; Clark, G.G., 1995. Dengue hemorrhagic fever: the emergence of a global health problem. *Emerging infectious diseases*, 1, 55
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. 2018. Normais Climatológicas do Brasil 1981 a 2010. Brasília
- Landim, P.M.B., 2000. Análise estatística de dados geológicos multivariados. Lab. Geomatemática, DGA, IGCE,UNESP/Rio Claro, Texto Didático 03, 128 pp. Disponível em <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>. Acesso em 22/02/2004
- Le Boedec, K., 2016. Sensitivity and specificity of normality tests and consequences on reference interval accuracy at small sample size: a computer-simulation study. *Vet Clin Pathol*. 45(4):648-56
- Magalhães, C.B., 2011. Clima e saúde: relação entre os elementos atmosféricos e dengue na região metropolitana de fortaleza. 174f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Centro de Ciências do Departamento de Geografia, Universidade Federal do Ceará - UFC, Fortaleza
- Manly, B.F.J., 1986. Multivariate statistical methods. New York, Chapman and Hall.159
- Manly, B.F.J., 2004. Multivariate statistical methods: a primer. CRC Press
- Mendonça, F.A., Souza, A.V., Dutra, D.A., 2009. Saúde pública, urbanização e dengue no Brasil. *Sociedade & natureza*, 2
- Mendonça, F.A.; Souza, A.V. e, Dutra, de A.D., 2009. Saúde pública, urbanização e dengue no Brasil. *Sociedade & natureza*, v. 21, n. 3.
- Moore, D.S., 2007. The Basic Practice of Statistics. New York, Freeman.
- Moreira, E.P.B., 2016. Análise espaço-temporal de casos de dengue por distrito sanitário, São Luís, Maranhão, Brasil. 69f. (Dissertação). Programa de Pós- Graduação em Saúde e Ambiente, Universidade Federal do Maranhão. São Luís.
- Pinheiro, J.M., 2015. Dinâmica climática da ilha do maranhão. In: Filho, S.F., Celeri, M.J. (Org.) Geografia da ilha do Maranhão. 1ed. São Luís: EDUFMA, v. 1,24-53.
- Pinheiro, J.M., 2018. Clima Urbano da Cidade de São Luís do Maranhão. 242f. Tese de doutoramento (Programa de Pós-Graduação em Geografia Física) Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Roseghini, W.F.F., 2013. Clima urbano e dengue no centro-sudoeste do Brasil. 188 f. TESE (Doutorado em Geografia). Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná - UFPR, Curitiba.
- Sant'Anna Neto, J.L., 2008. Da Climatologia Geográfica à Geografia do Clima Gênese, Paradigmas e Aplicações do Clima como Fenômeno Geográfico. *Revista da ANPEGE*, v. 4, 04:51-72,.
- Shapiro, S.S., Francia R., 1972. An approximate analysis of variance test for normality. *J Am Stat Assoc*. 67(337):215-6
- Silva, R.M., Silva, A.M., Chaves, J.J.S., 2014. Vulnerabilidade espacial da dengue e sua relação com a variabilidade termopluviométrica em João Pessoa-pb. *Hygeia*, v. 10, 18:177-189.
- Torman, V.B.L., Coster, R., Riboldi, J., 2012. Normality of variables: diagnosis methods and comparison of some nonparametric tests by simulation. *Rev HCPA*. 32:227-34.
- Torres, M.A.N., Garces Junior, A.R., Ribeiro, P.C., Aquino Junior, J., 2017. Análise dos elementos climáticos e as notificações de dengue em São Luís, Maranhão, Brasil. In: Perez Filho, A., Amorim, R.R. (Org.). Os desafios da Geografia Física na fronteira do conhecimento. 01ed.Campinas - SP: UNICAMP.
- Ujvari, S.C., 2009. A História da Humanidade Contada Pelos Vírus. São Paulo: Editora Contexto.
- Vianna, M.S.R., 2001. A transmissão urbana da febre amarela e dengue. *Saúde Rio*. Rio de Janeiro. 5p.
- FUNASA- Fundação Nacional De Saúde., 2001. Dengue Instruções de Combate ao vetor. Manual de Normas Técnicas. Ministério da Saúde, Brasília, Brasil.

Zucchi, P., 2016. Os desafios da dengue. Revista da Faculdade de Ciências Médicas de Sorocaba, v. 18, n. 2, 121-122.

Statsoft Inc. 2004. Statistica: data analysis software system, version 7. Disponível em <
<http://www.statsoft.com/>>

QGIS.org, 2018. QGIS 2.18. Geographic Information System API Documentation. QGIS

Association. Disponível em <
<https://www.qgis.org/en/site/>>

Microsoft Corporation. Microsoft Excel® 365 (2018). Disponível em <
<https://www.microsoft.com/pt-br/microsoft-365/business/compare-all-microsoft-365-business-products-b>>