



ARTIGO CIENTÍFICO

Variáveis climáticas e casos notificados de dengue no município de Uberaba, Minas Gerais

Climatic variables and reported cases of dengue in the city of Uberaba, Minas Gerais, Brazil

Fabrício Pelizer Almeida¹; Flávia Alice Borges Soares Ribeiro²

Resumo: A dinâmica dos elementos climáticos de uma determinada região, intervém nas relações socioambientais constituídas, inclusive quanto aos aspectos da saúde ambiental, prevalência de vetores transmissores de doenças e o quadro epidemiológico local. Objetivou-se portanto, descrever a capacidade de transmissão impulso-resposta entre os registros históricos de variáveis climáticas e os dados de casos notificados de dengue no município de Uberaba, Minas Gerais, à partir de um modelo de vetores autorregressivos (VAR). Foram tabulados dados secundários climáticos médios mensais e casos notificados de dengue, no período de janeiro de 2009 a dezembro de 2016 para o município. Desenvolveu-se um modelo de vetores autorregressivos (VAR) das séries históricas logaritmizadas, obtendo-se gráficos de resposta no número de casos notificados de dengue (variável dependente) devido aos impulsos nas componentes climáticas (variáveis independentes). Os resultados demonstraram que o aumento de 1% na temperatura, corresponde ao incremento de 0,45% no número de casos de dengue no mês seguinte, reduzindo o efeito a partir do 3º mês. O aumento da precipitação impacta em até 0,15% nos casos notificados de dengue já no mês seguinte, enquanto o aumento nos índices de umidade relativa do ar impacta negativamente a variável dependente. A série histórica de casos notificados de dengue é dependente de impulsos da própria variável (68%) e cerca de 20% das variações na temperatura média mensal. Diante da adaptabilidade dos vetores da doença às variações climáticas, as estratégias municipais de controle epidemiológico devem incluir o planejamento, monitoramento e gestão dos indicadores climáticos locais em função da vulnerabilidade socioambiental.

Palavras-chave: Modelagem ambiental; Séries históricas; Saúde ambiental.

Abstract: The dynamics of the climatic elements of a given region, intervenes in the socio-environmental relations constituted, including the aspects of environmental health, prevalence of vectors transmitting diseases and the local epidemiological scenario. The objective of this study was to describe the capacity of impulse-response transmission between the historical records of climatic variables and the data of reported cases of dengue fever in the city of Uberaba, Minas Gerais, using a vector autoregressive (VAR) model. Monthly average climatic secondary data and reported cases of dengue were tabulated from January 2009 to December 2016 for the municipality. An autoregressive vector (VAR) model of the logarithmic historical series was developed, obtaining response graphs in the number of reported cases of dengue (dependent variable) due to the impulses in the climatic components (independent variables). The results showed that the 1% increase in temperature corresponds to a 0.45% increase in the number of dengue cases in the following month, reducing the effect from the 3rd month. The increase in precipitation impacts up to 0.15% in the reported cases of dengue in the following month, while the increase in the relative air humidity index negatively impacts the dependent variable. The historical series of reported cases of dengue is dependent on impulses from the variable itself (68%) and about 20% of the variations in average monthly temperature. Given the adaptability of disease vectors to climatic variations, municipal epidemiological control strategies should include the planning, monitoring and management of local climatic indicators due to socio-environmental vulnerability.

Key words: Environmental modeling; Historical series; Environmental health.

*Autor para correspondência

Recebido para publicação em 10/10/2018; aprovado em 12/11/2018

¹Doutor em Geografia/Geociências. Coordenador e Docente do Curso de Engenharia Ambiental. Instituto de Tecnologia, Universidade de Uberaba (Uniuibe), Campus Uberlândia, MG. Contato: 34 32925629, fabricao.almeida@uniube.br.

²Mestra em Engenharia Civil. Docente do Curso de Engenharia Ambiental. Instituto de Tecnologia, Universidade de Uberaba (Uniuibe), Campus Uberlândia, MG. Contato: 34 32925600, flavia.soares@uniube.br.



INTRODUÇÃO

Nas ltimas dcadas, os pas localizados nas zonas tropicais do planeta registraram graves epidemias de dengue, com rpida disperso e adaptabilidade geogrfica do mosquito-vetor da doena. Alm do carter adaptativo do inseto, o modelo de expanso urbana e crescimento das cidades, aliados a deteriorao na infraestrutura de sade pblica e a adoo de estratgias equivocadas no controle do mosquito - comuns a maioria dos pas situados nas regies tropicais do planeta - so fatores fundamentais para a compreenso da dinmica de expanso da doena (GLUBER, 2011).

A dinmica sazonal do vetor da dengue e comumente associada as mudanas e flutuaes climticas, especialmente, pelo aumento da temperatura e amplitudes bruscas na pluviosidade e umidade relativa do ar, que viabilizam o aumento de criadouros disponveis e conseqentemente, o seu desenvolvimento biolgico (RIBEIRO et al., 2006; HEMMER et al., 2007; REID et al., 2012). Sabe-se que mosquito transmissor da doena - *Aedes aegypti* e o *Aedes albopictus* - possui duas fases distintas, sendo uma aqutica, com as etapas de desenvolvimento de ovo, larva e pupa, e a terrestre, que corresponde ao mosquito na forma adulta, estando ambas as fases sujeitas as alteraes ambientais e meteorolgicas (JETTEN; FOCKS, 1997; TABACHNICK, 2010).

No Brasil, o contexto geogrfico diversificado em funo da ocorrncia de elevadas amplitudes de faixas de temperatura e regimes de precipitao em sua extenso territorial, associado a infraestrutura urbana desigual entre as cidades, e os padres diferenciados de ocupao do territrio, explicam em grande parte, a complexa interao socioambiental do vetor e extenso de casos notificados da doena em todo o pas (BARRETO; TEIXEIRA, 2008; TEIXEIRA et al., 2008; BARRETO et al., 2011; BARCELLOS; LOWE, 2013).

E preciso destacar o carter determinante de baixa efetividade dos planos de saneamento bsico nos municpios brasileiros, e os vazios urbanos produzidos por um processo de ocupao acelerado, incompleto e desigual, no grau de severidade e prevalncia de eventos epidemiolgicos nos principais centros urbanos, conforme tratado em Hales et al. (2002); Maricato (2003); Bueno (2008); Costa et al. (2008).

Diversos estudos descrevem as possveis correlaes entre as variaes climticas e os desdobramentos nos registros de eventos epidemiolgicos, ao nvel de cidades e regies metropolitanas brasileiras. Nos estudos que focalizaram a regio centro-sul do pas, o perodo chuvoso e associado a condio altamente crtica para a produo de larvas, pupas, registros de infestaes do vetor e ocorrncia de casos notificados de dengue, coincidindo inclusive, em grande parte com o perodo mais quente do ano (FORATTINI et al., 2000; SOUZA et al., 2010; COSTA et al., 2008).

Entretanto, Maciel de Freitas et al. (2008) e Honrio et al. (2009) descrevem um padro sazonal irrestrito para a infestao do vetor, concluindo que a atividade do mosquito e prevalente o ano todo na regio sudeste. Para Costa et al. (2008) e Dibo et al. (2008), ha franca capacidade de infestao e viabilidade de ovos

entre perodos sazonais devido a ocorrncia de perodos secos e quentes durante o inverno no centro-oeste do pas.

Barcellos e Lowe (2013) destacam que os corredores de difuso da dengue se espalham das reas metropolitanas para as pequenas e mdias cidades brasileiras, gerando surtos em toda a regio de influncia. No entanto, a permanncia a longo prazo da transmisso depende da existncia de um clima favorvel, populao abundante e conectividade territrio-clima. Quanto as estratgias de controle e interveno, Xavier et al. (2017) propem um modelo de respostas para a cidade do Rio de Janeiro, capaz de determinar o comportamento da difuso da doena, trajetrias geogrficas de infestao e meses oportunos para a interveno.

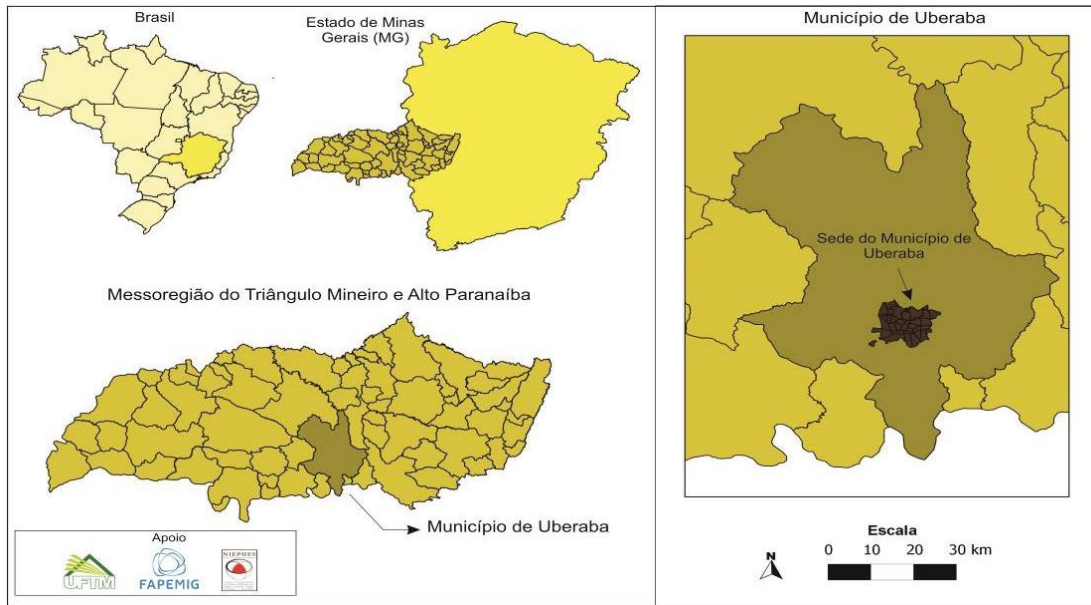
Baseando-se nos referenciais que versam sobre as relaes entre variveis climticas e eventos epidemiolgicos em diversas regies brasileiras, percebeu-se a necessidade de se compreender de que forma essas mesmas interaes ocorrem no municpio de Uberaba, Minas Gerais, que pertence ao estrato de grande porte para avaliao de desempenho em sade (CALVO et al., 2016). Portanto, o objetivo desse trabalho e descrever um modelo estatstico de impulso-resposta entre os registros histricos de variveis climticas e os dados de casos notificados de dengue no municpio de Uberaba, Minas Gerais.

MATERIAL E MTODOS

O estudo constituiu-se em uma pesquisa de natureza aplicada, explicativa e sob uma abordagem quantitativa do fenmeno causal entre as variveis climticas e dos registros de casos notificados de dengue. A pesquisa remete ao municpio de Uberaba que est localizado na poro oeste do Estado de Minas Gerais, na mesoregio do Triangulo Mineiro/Alto Paranaiba, sob as coordenadas geogrficas 19.74° de Latitude Sul e 47.93° de Longitude Oeste (Figura 1). De acordo com o ltimo censo realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatstica - IBGE (2010), o municpio tem uma populao estimada de 295.988 habitantes e uma densidade demogrfica de 65,43 habitantes por km². Est inserido predominantemente no bioma Cerrado, apresentando alguns resqucios da Mata Atlntica. A economia do municpio e baseada nas atividades agropecurias, industriais e de servio, com destaque para o setor pecuarista, sobretudo pela genetica animal (IBGE, 2010).

A rea de unidade territorial do municpio de Uberaba compreende cerca de 4.523,957 km² (IBGE, 2013), sendo que 97,2% dos domiclios possuem esgotamento sanitrio adequado. A arborizao pblica compreende 90,7% dos domiclios urbanos e 31,5% dos domiclios urbanos em vias pblicas possuem urbanizao adequada (presena de bueiro, calada, pavimentao e meio-fio). A taxa de mortalidade infantil mdia no municpio e de 10,26 obitos por 1.000 nascidos vivos, e as internaes devido a diarreias so de 0,3 para cada 1.000 habitantes (IBGE, 2014). Em 2009, havia no municpio 71 estabelecimentos de sade do SUS - Sistema nico de Sade (IBGE, 2010).

Figura 1. Localização geográfica do município e sede de Uberaba, Minas Gerais.



Fonte: Base Cartográfica IBGE (2013). Org. Luiz Gustavo Leonel dos Reis (2013).

Quanto aos procedimentos da pesquisa para a composição de modelos explicativos das relações causais entre variáveis climáticas e os registros de casos notificados de dengue no município de Uberaba (MG), foram extraídos e organizados os dados secundários das séries históricas mensais climatológicas - precipitação total (ppt em mm), temperatura média (tpm em °C) e umidade relativa média (urm em %) junto ao Instituto Nacional de Meteorologia no BDMEP – Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa referente à Estação Climatológica Convencional do município de Uberaba (MG), e os dados de casos notificados de dengue (cnd), para o mesmo município, junto ao sítio do Ministério da Saúde (MS), especificamente no DATASUS – Banco de Dados do Sistema Único de Saúde. Houve necessidade de se ajustar o conjunto de séries históricas, em função das semanas do calendário epidemiológico vigente no ano de referência.

A abrangência do estudo e das séries históricas compreende o período de janeiro de 2009 a dezembro de 2016. O conjunto de dados foi submetido inicialmente à análise estatística descritiva, com o intuito de se identificar o comportamento anual das principais medidas de variabilidade para cada série histórica. Optou-se pela transformação logarítmica de todas as séries históricas descritas no trabalho, por permitir dessa forma, a obtenção direta de elasticidades correspondentes aos próprios coeficientes estimados. Na proposição do modelo de vetores autorregressivos (VAR), as séries históricas foram submetidas ao teste de raiz unitária de Dickey-Fuller Aumentado (DICKEY; FULLER, 1981) conhecido como teste ADF, com o intuito de se verificar a estacionariedade de cada série histórica conforme Eq. 1:

$$\Delta Y_t = \beta_1 + \beta_2 t + \delta Y_{t-1} + \alpha \sum_{t=1}^{p-1} \Delta Y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (1)$$

Em que β_1 é o intercepto; t é a tendência; δ é o operador de diferença. A ordem da defasagem (p) foi determinada pelo

Critério de Informação Bayesiano (BIC) obtendo-se resíduos não correlacionados (ENDERS, 1995). O modelo de vetores autorregressivos foi descrito à partir da obtenção dos efeitos em $Y_{(t)}$, em função dos impactos possíveis dos parâmetros do conjunto de séries, dada a significância na estimação desses efeitos (Gujarati, 2000), conforme demonstrado na Eq. 2:

$$Y_t = \gamma + \sum_{i=0}^n \alpha_i X_{t-1} + \sum_{j=1}^m \beta_j Y_{t-j} + \sum_{k=1}^q \lambda_k Y_{t-k} + \varepsilon_t \quad (2)$$

Em que, Y_t (variável dependente) é a série histórica dos casos notificados de dengue em Uberaba (MG); γ é a constante (ou intercepto), α , β e λ são os parâmetros a serem estimados de cada variável independente; i e j são os números de defasagens e ε_t são os erros aleatórios.

Baseando-se nesses parâmetros foi possível descrever horizontes de resposta da variável dependente (Y_t) para cada variável independente, e a decomposição da variância de Y_t considerando as dependências de impulso de cada variável independente do modelo. As saídas do modelo VAR foram organizadas em tabelas e gráficos de impulso-resposta com os respectivos coeficientes e o p -valor. Utilizou-se o pacote Modelo/Série Temporal/Multivariado e a função VAR do software GRETL (v. 2018).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Baseando-se na estatística descritiva dos dados históricos mensais (Tabela 1) percebe-se franca irregularidade na amplitude dos casos notificados de dengue (cnd) no decorrer do período. Houve picos de altas nos registros oficiais dessa variável para o município em 2010, 2012, 2013 e 2016, especialmente em 2013, que totalizou 13.262 casos.

Tabela 1. Média (\bar{X}), desvio-padrão (σ), somatório de valores registrados, máximo e mínimo registrados anualmente e amplitude para os casos notificados de dengue (cnd), precipitação anual (ppt), temperatura média anual (tpm) e umidade relativa do ar anual (urm) no período de 2009 à 2016, para o município de Uberaba, Minas Gerais.

Variável	Ano	\bar{X}	σ	Soma	Mínimo	Máximo	Amplitude
cnd	2009	40,2	57,1	482	1,0	199	198
	2010	197,8	239,2	2.373	8,0	619	611
	2011	149,3	133,5	1.791	1,0	412	411
	2012	232,6	201,2	2.791	13,0	603	590
	2013	1105	1613	13.262	35	4.521	4.486
	2014	26,67	20,04	320	5,00	72	67
	2015	129,7	118,3	1.556,0	14,0	422	408
	2016	192,3	272,3	2.307,0	3,0	704	701
ppt (mm)	2009	135,6	113,9	1.627,5	11,4	339,3	327,9
	2010	146,6	140,4	1.758,7	0,0	411,2	411,2
	2011	162,3	185,5	1.948,0	0,0	629,3	629,3
	2012	118,2	115,7	1.417,9	0,0	415,5	415,5
	2013	134,9	92,7	1.619,2	0,0	293,2	293,2
	2014	102,2	96,6	1.226,5	0,6	309,3	308,7
	2015	135,6	119,0	1.627,3	0,0	349,8	349,8
	2016	147,7	151,4	1.772,6	0,0	458,3	458,3
tpm (°C)	2009	22,768	2,071	-	18,209	25,082	6,873
	2010	22,602	2,227	-	18,182	24,736	6,553
	2011	22,205	2,214	-	17,180	24,347	7,168
	2012	22,689	2,394	-	18,601	26,359	7,759
	2013	22,163	2,015	-	18,258	24,355	6,097
	2014	22,846	2,203	-	19,026	25,554	6,528
	2015	23,119	2,364	-	19,197	26,668	7,471
	2016	22,919	2,014	-	19,052	24,917	5,865
urm (%)	2009	70,07	6,98	-	55,26	80,38	25,12
	2010	65,17	11,10	-	43,43	76,17	32,74
	2011	67,74	12,01	-	42,43	85,53	43,11
	2012	69,50	8,97	-	52,99	81,81	28,82
	2013	70,93	10,48	-	50,24	81,85	31,61
	2014	65,47	9,89	-	49,83	76,53	26,70
	2015	70,05	9,29	-	54,64	82,81	28,17
	2016	66,73	11,74	-	46,08	82,22	36,13

Fonte: Ministério da Saúde - DATASUS (BRASIL, 2018). Instituto Nacional de Meteorologia no BDMEP – Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (2018).

Para Pedroso e Mendes (2012), o município de Uberaba conviveu com a iminência de surtos e registros elevados de casos notificados de dengue no ano de 2011, resultado de políticas públicas que priorizam ações corretivas em detrimento às estratégias preventivas. Os autores atribuem esse cenário à diminuição recorrente do número de agentes de saúde e visitas aos imóveis, a redução de verbas para campanhas e comunicação educativa junto a população, e precariedade da infraestrutura urbana nos bairros periféricos do município.

Em 2011 foi registrado o maior volume acumulado de chuvas (629,3 mm) no município para o período analisado, justamente antecedendo o ano de 2012, que totalizou 2.791 casos notificados de dengue. A percepção dessa relação entre o aumento da pluviosidade e o aumento nos casos notificados de dengue evidencia e muito, o aspecto de infraestrutura urbana e o

modelo de estratégias de controle adotadas pela gestão municipal, considerando a capacidade de multiplicação e persistência dos criatórios do mosquito, prolongando a extensão do surto nas áreas urbanas (TAUIL, 2002).

Observa-se ainda, que a maior amplitude térmica mensal ocorre nos anos de 2009, 2011, 2012 e 2015, e que os registros de temperaturas médias anuais mais elevadas ocorreram nos anos que antecedem aqueles com aumento registrado no número de casos notificados de dengue. Ao menos empiricamente, atribui-se uma relação temporal entre os registros de variações climáticas e a resposta no aumento ou redução dos casos de dengue para o município de Uberaba, corroborando com as ponderações descritas em Pedroso e Mendes (2012), no período de 2001-2011.

Quanto aos resultados do teste de Dickey-Fuller Aumentado (ADF), conforme descrito na Tabela 2, obteve-se estacionariedade das séries logaritmizadas no teste de raiz unitária sem constante (T) em *lppt* (τ : -3,2505) ou com constante ($T\mu$) em *lcnd* (τ : -4,1340), em *ltpm* (τ : -5,7004) e *lurm* (τ : -5,1713) ao nível de significância de 1%, ou seja, não possuem raiz unitária, e portanto, podem compor um modelo estocástico não estacionário. Satisfeita a premissa de não haver correlação serial, obteve-se o valor mínimo do critério de informação com uma ordem de defasagem para o conjunto de séries descritas no modelo de vetores autorregressivos (VAR) pelo Critério de Informação Bayesiano (BIC).

Tabela 2. Resultados do Teste de Dickey-Fuller Aumentado (ADF) para as séries históricas logaritmizadas de casos notificados de dengue (*lcnd*), precipitação total mensal (*lppt*), temperatura média mensal (*ltpm*) e umidade relativa do ar média mensal (*lurm*).

Variáveis	ADF statistic	τ	<i>p</i> -valor
<i>lcnd</i>	$T\mu$ -4,1340		<0,001 ***
<i>lppt</i>	T -3,2505		<0,001 ***
<i>ltpm</i>	$T\mu$ -5,7004		<0,001 ***
<i>lurm</i>	$T\mu$ -5,1713		<0,001 ***

*** Significativo a 1%.

As estimativas do modelo de vetores autorregressivos (VAR), conforme disposto na Tabela 3, referem-se aos coeficientes das variáveis explicativas, e a significância (*p*-valor) de cada ajuste na variável dependente (Y_t). O valor da estatística de Durbin-Watson (1,923), muito próximo de 2,000, implica na rejeição da hipótese de haver autocorrelação serial, ou seja, não se observa no modelo a dependência temporal dos valores sucessivos dos termos de ϵ_t , que prejudicaria a validação das conclusões acerca do modelo impulso-resposta entre as séries históricas (GUJARATI, 2000).

Figura 2. Horizonte de resposta da variável dependente (casos notificados de dengue - *lcnd*), em 12 meses, à um impulso na série histórica mensal da temperatura média mensal - *ltpm* (A) e de precipitação total - *lppt* (B) com 1 mês de defasagem. A área sombreada refere-se ao intervalo de confiança bootstrap ($1-\alpha = 0,95$).

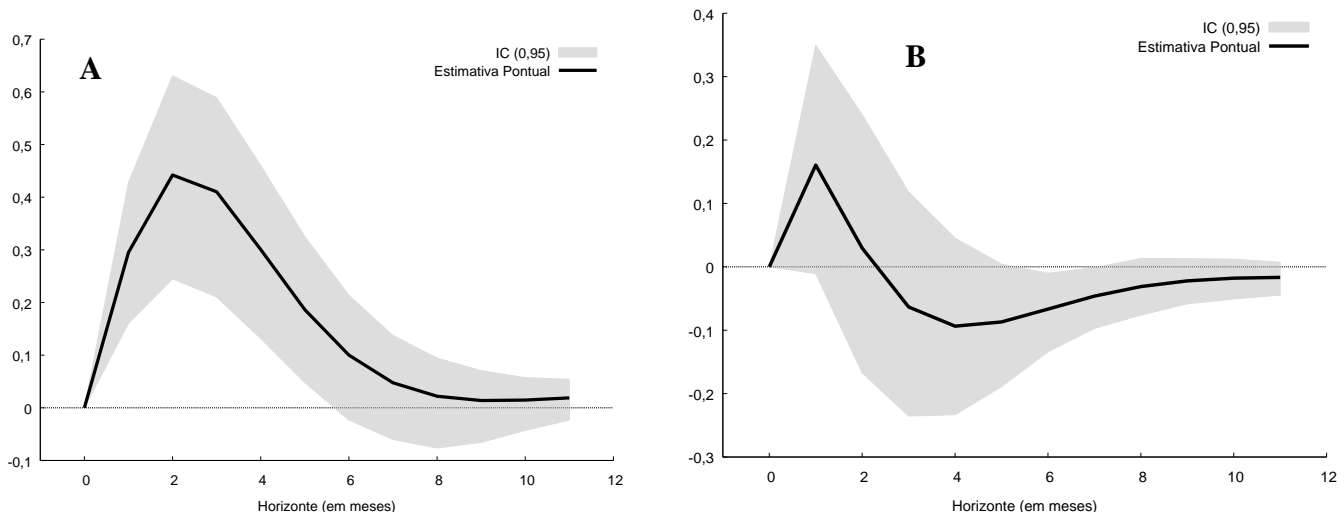


Tabela 3. Estimativas do modelo VAR para os parâmetros estimados - constante, variável dependente (casos notificados de dengue - *lcnd*) e variáveis independentes (precipitação total mensal - *lppt*, temperatura média mensal - *ltpm* e umidade relativa do ar mensal - *lurm*).

Coeficientes	Variável Dependente	<i>p</i> -valor
	<i>lcnd</i>	
Constante	-19,3700	0,0006 ***
<i>ltpm</i> (1)	3,71185	<0,0001 ***
<i>lurm</i> (1)	-2,65477	<0,0001 ***
<i>lppt</i> (1)	0,0972756	0,0010 ***

*** Significativo a 1%. Durbin-Watson: 1,922974.

Os parâmetros estimados das variáveis independentes foram significativos à 1% no teste de F, e, portanto, permitem ponderações do tipo impulso-resposta, com um mês de defasagem, na variável dependente (Y_t). O sinal positivo nos coeficientes das variáveis *lppt*(1) e *ltpm*(1), e negativo em *lurm*(1), conforme disposto na Tabela 3, conferem o sentido do efeito da resposta em *lcnd*, ou seja, admite-se que, um eventual aumento na temperatura média mensal e no volume de chuvas confere, com um mês de defasagem, um ajuste positivo e perceptível nos casos notificados de dengue para o município. No entanto, os registros de umidade relativa do ar, sob a mesma perspectiva, sugerem um efeito negativo na resposta de casos notificados de dengue.

O horizonte de transmissão dos efeitos (impulso-resposta) descrito graficamente, facilita a compreensão da causalidade entre as variáveis independentes e a variável resposta (dependente). Portanto, as Figuras 2A, 2B e 3 são uma extensão em 12 (doze) meses dos coeficientes descritos na Tabela 3, valendo-se inclusive dos mesmos critérios de significância.

Analisando a Figura 2A, sob a perspectiva de impulso-resposta, pode-se afirmar que um provvel aumento de 1% na temperatura em um determinado ms, impacta em at 0,45% no aumento do nmero de casos de dengue nos meses subsequentes, reduzindo significativamente a partir do quarto ms e estabilizando no oitavo ms aps o impulso. Espera-se que de fato haja evidncias de respostas positivas entre essas duas variveis, considerando a adaptabilidade climtica do mosquito e viabilidade de ovos e larvas s elevaes de temperaturas mdias, especialmente no perodo com maior atividade de insolaao (GRASSLY; FRASER, 2006; CONFALONIERI et al., 2009).

Importante destacar, a capacidade de resposta da varivel dependente (entre 0,45% e 0,1%), em funao de impulso na varivel temperatura mdia mensal (ltpm), no horizonte de seis meses aps o impulso. De fato, um eventual aumento nos registros de casos de dengue no municpio, est estritamente relacionado com a ocorrncia de temperaturas mais elevadas, com destaque para o vero, e que deve determinar o potencial de infestao do mosquito transmissor no perodo intersazonal.

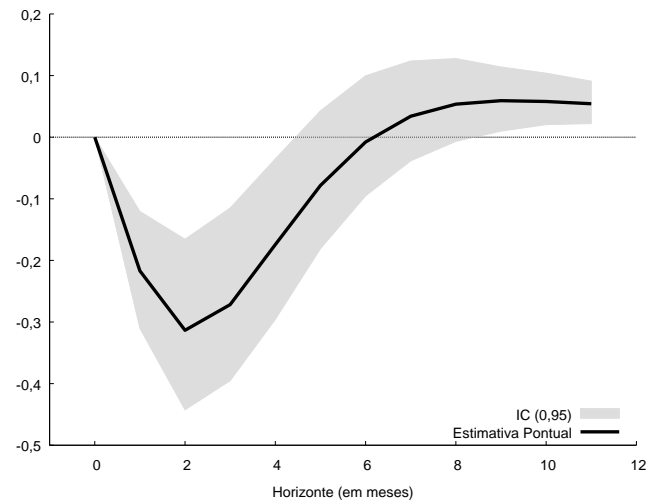
O aumento da precipitao total mensal impulsiona em at 0,15% nos casos notificados de dengue no ms subsequente, reduzindo abruptamente at o quarto ms aps o impulso, para termos negativos (Figura 2B). Por, os efeitos do volume acumulado de chuvas totalizados no perodo de um ano, devem ser mais relevantes que a caracterizao ms a ms, apesar da significncia da relao impulso-resposta entre as duas sries (p=0,001). Isso se deve aos impactos de mdio e longo prazo impostos pelo *continuum* do cenrio climtico local, descrevendo um padro sazonal adaptativo ao mosquito, conforme discutido em Ribeiro et al., (2006) e Hemmer et al., (2007).

No entanto, a extenso tpica de trs meses do impulso na varivel de precipitao mdia mensal (lppt) no horizonte de resposta da varivel dependente, conforme descrito na Figura 2B, sustenta o carter intrasazonal entre as duas sries histricas no modelo. Para Souza et al., (2010), a situao epidemiolgica favorvel descrita para a ocorrncia de dengue inclui, necessariamente, a diferenciao entre perodos extensos de maior e menor acmulo de ndices pluviomtricos registrados nas regies com agravantes urbanos e sociais, repetindo-se os ciclos no decorrer dos anos.

A variao nos ndices mensais de umidade relativa do ar impacta negativamente, cerca de -0,3% at o terceiro ms aps o impulso nos casos notificados de dengue para o municpio, no perodo delimitado do estudo (Figura 3). Implica na afirmao, de que uma possvel alta nos casos notificados de dengue no esteve condicionada ao ms subsequente de aumento registrado da umidade relativa do ar.

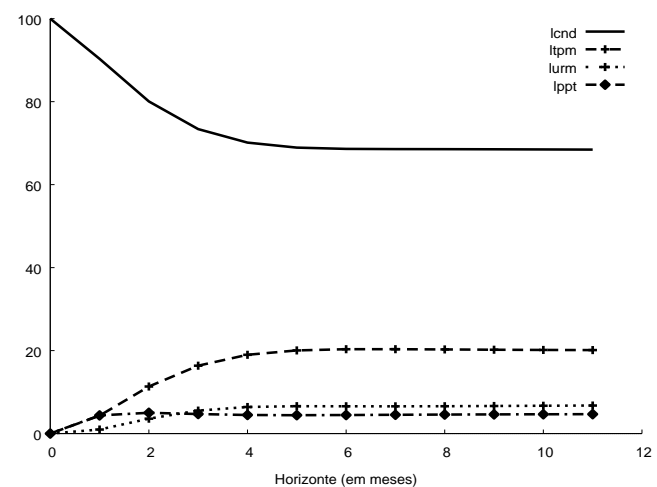
Um procedimento bastante usual quando se obtm horizontes de respostas baseando-se em um modelo de vetores autorregressivos (VAR) o de avaliar a composio dos impulsos (das sries climatolgicas) na determinao da variao de Y_t (casos notificados de dengue). A decomposio da varincia ilustra a dependncia das variaes em Y_t em relao a cada varivel independente descrita no modelo, o que a descrio dessa composio no mesmo horizonte de anlise dos impulsos-resposta.

Figura 3. Horizonte de resposta da varivel dependente (casos notificados de dengue - lcmd), em 12 meses, a um impulso na srie histrica mensal da umidade mdia relativa do ar - lurm com 1 ms de defasagem. A rea sombreada refere-se ao intervalo de confiana bootstrap ($1-\alpha = 0,95$).



De acordo com a Figura 4, a variao nos registros de casos notificados de dengue (lcmd) no municpio o dependente de impulsos da prpria varivel (cerca de 68,5%) e de 20% dos impulsos na varivel ltpm, 9,5% dos impulsos na varivel lurm e 2,3% em lppt. A medida em que se prolonga o horizonte de resposta - limitado a 12 meses - nos casos notificados de dengue (lcmd), evidencia-se a dependncia desses registros ao longo de um ano, em relao s variaes na temperatura mdia local, em at 20%. Por se tratar de um modelo de impulso-resposta positivo entre essas duas variveis - ltpm *causa efeito em* lcmd - conforme descrito na Tabela 3, e observado na Figura 2A, o monitoramento da temperatura mdia local, dado o impacto observado no modelo de decomposio de varincia (Figura 4), o fundamental como medida preventiva e de controle.

Figura 4. Horizonte de doze meses da decomposio da varincia da previso para a varivel dependente (casos notificados de dengue - lcmd) e variveis independentes (precipitao total mensal - lppt, temperatura mdia mensal - ltpm e umidade relativa do ar mensal - lurm).



Os resultados do trabalho corroboram com as discussões apresentadas em de Forattini et al. (2000); Câmara et al. (2007); Costa et al. (2008) e Souza et al. (2010), que demonstraram a franca adaptabilidade climática dos mosquitos transmissores da dengue, favorecidos pelo aumento da temperatura média registrada no âmbito regional, extrapolando os períodos severos de seca.

Se forem consideradas a associação entre os fatores climáticos no município, em especial o registro de temperaturas médias mais elevadas no período de 2009 à 2016, e a ocorrência de precipitações acumuladas justamente no período mais crítico de atividade do mosquito, deflagram ainda mais as deficiências sanitárias e ações locais preventivas em relação ao quadro epidemiológico da dengue em Uberaba (TEIXEIRA et al., 2010; PEDROSO; MENDES, 2012).

Nesse sentido, as ações sanitárias estratégicas da gestão pública municipal devem extrapolar o período de chuvas intensas e registros de temperaturas médias mais elevadas, que caracterizam o verão no município. Os resultados desse trabalho, reforçam a preocupação de se integrar o monitoramento climático e as ações de política pública local de controle epidemiológico. Deve-se priorizar iniciativas que favoreçam a melhoria da infraestrutura ambiental urbana, a articulação entre a vigilância epidemiológica e entomológica, além da vigilância ambiental em saúde; porém revisando as estratégias tradicionais empregadas, e permitindo a integração dos indicadores socioambientais à tomada de decisão na esfera da gestão pública municipal.

CONCLUSÕES

Nos anos com maior acúmulo de chuvas totalizado ao longo de doze meses, coincidindo com temperaturas médias anuais ligeiramente mais elevadas, antecedem os principais anos de surto de dengue no município de Uberaba Minas Gerais. O provável aumento de 1% na temperatura média e precipitação total, impactam respectivamente, o aumento de 0,45%, 0,15% do número de casos de dengue no mês seguinte. Ao longo de doze meses, até 20% das variações nos registros de casos notificados de dengue no município de Uberaba (MG) dependem de impulsos na variável temperatura média mensal.

REFERÊNCIAS

BARCELLOS, C.; LOWE, R. Expansion of the dengue transmission area in Brazil: the role of climate and cities. *Tropical Medicine & International Health*, [s.l.], v.19, n.2, p.159-168, 2013.

BARRETO, M. L.; TEIXEIRA, M. G. Dengue no Brasil: situação epidemiológica e contribuições para uma agenda de pesquisa. *Estudos Avançados*, [s.l.], v.22, n.64, p.53-72, 2008.

BARRETO, M. L.; TEIXEIRA, M. G.; BASTOS, F.I.; XIMENES, R. A. A.; BARATA, R. B.; RODRIGUES, L. C. Sucessos e fracassos no controle de doenças infecciosas no Brasil: o contexto social e ambiental, políticas, intervenções e necessidades de pesquisa. *The Lancet*, v.3, n.3, p.47-60, 2011.

BRASIL. Ministério da Saúde. DATASUS - Banco de Dados do Sistema Único de Saúde. Casos Notificados de Dengue. Disponível em: <<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/deftohtm.exe?sim/cnv/obt10uf.def>>. Acesso em 6 de jun. de 2018.

BUENO, L. M. de M. Reflexões sobre o futuro da sustentabilidade urbana com base em um enfoque socioambiental. *Cadernos Metrópole*, v.9, n.19, p.99-121, 2008.

CALVO, M. C. M.; LACERDA, J. T. de; COLUSSI, C. F.; SCHNEIDER, I. J. C.; ROCHA, T. A. H. Estratificação de municípios brasileiros para avaliação de desempenho em saúde. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, [s.l.], v.25, n.4, p.767-776, 2016.

CÂMARA, F. P.; THEOPHILO, R. L. G.; SANTOS, G. T. dos, PEREIRA, S. R. F. G.; CÂMARA, D. C. P.; MATOS, R. R. C. de. Estudo retrospectivo (histórico) da dengue no Brasil: características regionais e dinâmicas. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*, [s.l.], v.40, n.2, p.192-196, 2007.

CONFALONIERI, U. E. C.; MARINHO, D. P.; RODRIGUEZ, R. E. Public Health Vulnerability to Climate Change in Brazil. *Climate Research*, v.40, p.175-186, 2009.

COSTA, F. S.; SILVA, J. J. da; SOUZA, C. M. de.; MENDES, J. Dinâmica populacional de *Aedes aegypti* (L) em área urbana de alta incidência de dengue. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*, [s.l.], v.41, n.3, p.309-312, 2008.

DIBO, M. R.; CHIEROTTI, A. P.; FERRARI, M. S.; MENDONÇA, A. L.; CHIARAVALLOTI NETO, F. Study of the relationship between *Aedes (Stegomyia) aegypti* egg and adult densities, dengue fever and climate in Mirassol, state of São Paulo, Brazil. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, [s.l.], v.103, n.6, p.554-560, 2008.

DICKEY, D. A.; FULLER, W. A. Likelihood Ratio Statistics for Autoregressive Time Series with a Unit Root. *Econometrica*, [s.l.], v.49, n.4, p.1057-1072, 1981.

ENDERS, W. *Applied Econometric Time Series*. 2.ed. New York: John Wiley & Sons, 1995. 433p.

FORATTINI, O. P.; KAKITANI, I.; SANTOS, R. La C. dos; KOBAYASHI, K. M.; UENO, H. M.; FERNANDEZ, Z. Comportamento de *Aedes albopictus* e de *Ae. scapularis* adultos (Diptera: Culicidae) no Sudeste do Brasil. *Revista de Saúde Pública*, [s.l.], v.34, n.5, p.461-467, 2000.

GRASSLY, N. C.; FRASER, C. Seasonal infectious disease epidemiology. *Proceedings of The Royal Society B: Biological Sciences*, [s.l.], v.273, n.1600, p.2541-2550, 2006.

GRETLL. GNU Regression, Econometric and Time-series Library. Version 2018c.

- GUBLER, D. J. Dengue, Urbanization and Globalization: The Unholy Trinity of the 21st Century. *Tropical Medicine and Health*, [s.l.], v.39, n.4, p.3-11, 2011.
- GUJARATI, D. N. *Econometria Bsica*. 3.ed. So Paulo: Makron Books do Brasil, 2000. 937p.
- HALES, S.; DE WET, N.; MAINDONALD, J.; WOODWARD, A. Potential effect of population and climate changes on global distribution of dengue fever: an empirical model. *The Lancet*, [s.l.], v.360, n.9336, p.830-834, 2002.
- HEMMER, C. J.; FRIMMEL, S.; KINZELBACH, R.; GÜRTLER, L.; REISINGER, E. C. Global warming: trailblazer for tropical infections in Germany? *Deutsche Medizinische Wochenschrift*, [s.l.], v.132, n.48, p.2583-2589, 2007.
- HONÓRIO, N. A.; CASTRO, M. G.; BARROS, F. S. M. de; MAGALHÃES, M. de A. F. M.; SABROZA, P. C. The spatial distribution of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* in a transition zone, Rio de Janeiro, Brazil. *Cadernos de Saúde Pública*, [s.l.], v.25, n.6, p.1203-1214, 2009.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico 2010. Rio de Janeiro: IBGE, 2010a. Disponível em: <<http://censo2010.ibge.gov.br>>. Acesso em: 07 ago. 2018.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Base Cartográfica – IBGE, Rio de Janeiro, 2013. Luiz Gustavo Leonel dos Reis (Org). Disponível em: <<http://journals.openedition.org/confins/docannexe/image/10407/img-1.jpg>>. Acesso em: 07 ago. 2018.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Síntese de indicadores sociais: uma análise das condições de vida da população brasileira. *Estudos & Pesquisa*, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv91983.pdf>>. Acesso em: 07 ago. 2018.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Perfil dos municípios brasileiros. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <<https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/perfilmunicipal/2011/>>. Acesso em: 07 ago. 2018.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Banco de Dados Meteorológicos para Estudo e Pesquisa (BDMEP). Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em 09 ago. 2017.
- JETTEN, T. H.; FOCKS, D. A. Potential Changes in the Distribution of Dengue Transmission under Climate Warming. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, [s.l.], v.57, n.3, p.285-297, 1997.
- MACIEL DE FREITAS, R.; EIRAS, Á. E.; LOURENÇO DE OLIVEIRA, R. Calculating the survival rate and estimated population density of gravid *Aedes aegypti* (Diptera, Culicidae) in Rio de Janeiro, Brazil. *Cadernos de Saúde Pública*, [s.l.], v.24, n.12, p.2747-2754, 2008.
- MARICATO, E. *Metrópole, legislação e desigualdade*. *Estudos Avançados*. So Paulo, v.17, n.48, p.151-166. 2003.
- PEDROSO, L. B.; MENDES, P. C. A influência de aspectos meteorológicos sobre as notificações de dengue em Uberaba/MG, 2011. *Revista Geonorte*, [S.l.], v.3, n.9, p.688 – 697, 2012.
- REID, C. E. MANN, J.K.; ALFASSO, R.; ENGLISH, P. B.; KING, G. C.; LINCOLN, R. A.; MARGOLIS, H. G.; RUBADO, D. J.; SABATO, J. E.; WEST, N. L.; WOODS, B.; NAVARRO, K. M.; BALMES, J. R. Evaluation of a Heat Vulnerability Index on Abnormally Hot Days: An Environmental Public Health Tracking Study. *Environmental Health Perspectives*, [s.l.], v.120, n.5, p.715-720, 2012.
- RIBEIRO, A. F. MARQUES, G. R. A. M.; VOLTOLINI, J. C.; CONDINO, M. L. F. Associação entre incidência de dengue e variáveis climáticas. *Revista de Saúde Pública*, [s.l.], v.40, n.4, p.671-676, 2006.
- SOUZA, S. S. de; SILVA, I. G. da; SILVA, H. H. G. da. Associação entre incidência de dengue, pluviosidade e densidade larvária de *Aedes aegypti*, no Estado de Goiás. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*, [s.l.], v.43, n.2, p.152-155, 2010.
- TABACHNICK, W. J. Challenges in predicting climate and environmental effects on vector-borne disease epistystems in a changing world. *Journal of Experimental Biology*, [s.l.], v.213, n.6, p.946-954, 2010.
- TAUIL, P. L. Aspectos críticos do controle do dengue no Brasil. *Cadernos de Saúde Pública*, [s.l.], v.18, n.3, p.867-871, 2002.
- TEIXEIRA, M. G.; COSTA, M. C. N.; COELHO, G.; BARRETO, M. L. Recent Shift in Age Pattern of Dengue Hemorrhagic Fever, Brazil. *Emerging Infectious Diseases*, [s.l.], v.14, n.10, p.1663-1663, 2008.
- TEIXEIRA, L. de A. S. LOPES, J. S. M.; MARTINS, A. G. da C.; CAMPOS, F. A. B.; MIRANZI, S. de S. C.; NASCENTES, G. A. N. Persistência dos sintomas de dengue em uma população de Uberaba, Minas Gerais, Brasil. *Cadernos de Saúde Pública*, [s.l.], v.26, n.3, p.624-630, 2010.
- XAVIER, D. R. MAGALHÃES, M. de A. F. M.; GRACIE, R.; REIS, I. C. dos, MATOS, V. P. de; BARCELLOS, C. Difusão espaço-tempo do dengue no Município do Rio de Janeiro, Brasil, no período de 2000-2013. *Cadernos de Saúde Pública*, [s.l.], v.33, n.2, p.1-13, 2017.