



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

## ESTIMATIVA DE CASOS DE DENGUE VIA SENSORIAMENTO REMOTO NO MUNICÍPIO DE FORTALEZA - CE

Pedro Henrique Lima Alencar<sup>(a)</sup>, Camila Cristina Souza Lira<sup>(b)</sup> Nazaré Suziane Soares<sup>(a)</sup>, José  
Carlos de Araújo<sup>(c)</sup>

<sup>(a)</sup> Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, pedrohlalencar@gmail.com; soaresns@alu.ufc.br

<sup>(b)</sup> Bolsista de transferência tecnológica, Funceme, eng.camilalira@gmail.com

<sup>(c)</sup> Professor, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, jcaraujo@ufc.br

### Eixo: Geotecnologias e modelagem aplicada aos estudos ambientais

#### Resumo

Arboviroses são doenças causadas por arbovírus, assim designados por terem parte de seu ciclo de vida em artrópodes. No município de Fortaleza há registros de Dengue bem catalogados desde a década de 1980, com mais de trezentos mil casos de Dengue confirmados nos últimos 30 anos. Este trabalho se visa propor um modelo simplificado de apoio a gestores para alocação de recursos na mitigação do efeito de doenças arboviroses bem como no combate ao mosquito. O modelo obtido é capaz prever com uma taxa de acerto de 65% os bairros em que haverá no mês seguinte casos acima ou abaixo da média.

**Palavras chave:** SIG; Arbovírus; Temperatura; Endemias; LandSat

#### 1. Introdução

Arboviroses são doenças causadas por arbovírus, assim designados por terem parte de seu ciclo de vida em artrópodes (*Arthropod-borne virus*). O vírus da Dengue (DENV) é transmitido pelo mosquito *Aedes aegypti*, afetando todas as faixas etárias e causando sintomas que incluem febre, dor retro-orbital, dor de cabeça intensa, mialgia, artralgia e manifestações hemorrágicas (LOPES et al., 2014).



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

No município de Fortaleza, há registros de Dengue bem catalogados desde a década de 1980, período classificado como de reemergência da doença, que já é registrada desde a década de 1940 (LOPES et al., 2014; SMS, 2017). Entre 1986 e 2016, 302.015 casos de Dengue foram confirmados em Fortaleza, com oito anos epidêmicos dentre os 30 de dados observados (1994, 2001, 2006, 2008, 2011, 2012, 2015 e 2016), como ilustrado na Figura 1 no número absoluto de casos (eixo vertical esquerdo) e taxa de incidência (eixo vertical direito).

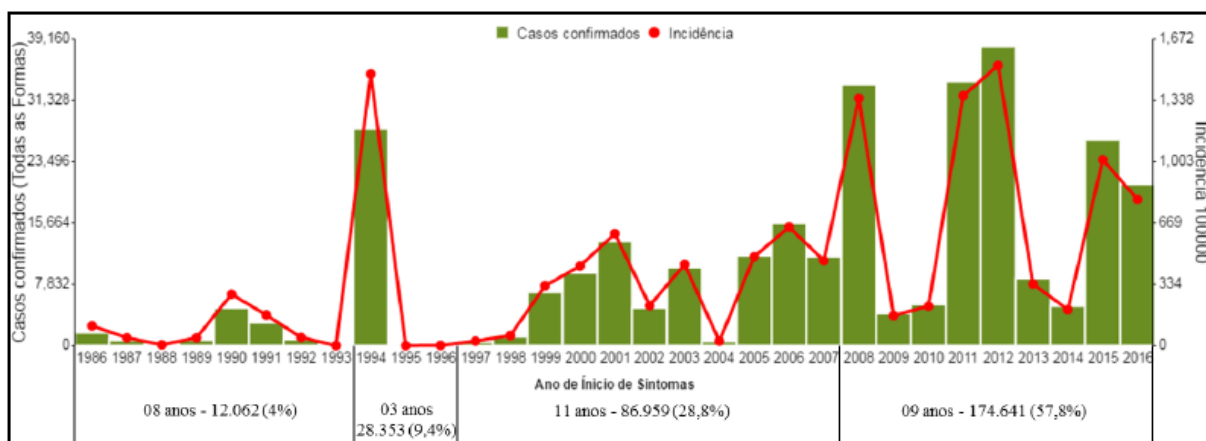


Figura 1 - Histórico de casos confirmados de Dengue em Fortaleza entre os anos de 1986 e 2016.

O elevado número de casos de Dengue e, mais recentemente, outras doenças arbovirais, como Zika e Chikungunya levam a um aumento na demanda hospitalar assim como o custo de prevenção, diagnóstico e tratamento (TALIBERTI; ZUCCHI, 2010; PEREIRA et al, 2014). No ano de 2016 o prejuízo causado pelas três doenças citadas chegou a R\$ 2,3 bilhões (DANTAS, 2018).

Dado o ciclo de vida do mosquito é de em torno 30 a 45 dias e sofre forte influência da temperatura (MAGALHÃES; ZANELLA, 2013; MUTURI, 2013), sendo o tempo de eclosão da larva variável de 16 a 7 dias a depender da temperatura ,variando de 20ª 30 °C (CARRINGTON, 2013). Portanto a capacidade preditiva do modelo é restrita a um mês de antecedência, bem como a resposta do modelo é a estimativa do número de casos mensal. Este



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

trabalho se visa propor um modelo simplificado (e metodologia para sua implementação) de apoio a gestores da capital cearense para alocação de recursos financeiros e humanos na mitigação do efeito de doenças arbovirose bem como no combate ao mosquito vetor.

## 2. Materiais e Método

O foco deste estudo foi o município de Fortaleza/CE (Figura 2A), localizado (UTM 24S, 550000E;9850000S). A capital cearense é a quinta cidade mais populosa do País, com mais de 2,6 milhões de habitantes (IBGE, 2018). A cidade ocupa uma área total de 314,93 quilômetros quadrados no nordeste do Estado. A cidade é dividida em 119 bairros (Figura 2B) organizados em seis regionais.

Fortaleza possui um clima Aw pela classificação Köppen, com precipitação média anual de 1400 mm e temperatura média anual de 26 °C com máxima média de 30,3 °C e mínima média de 23,5 °C. A umidade do ar é elevada, com média anual de 78% e cobertura de névens de no primeiro semestre de 6/10 em média (MOURA, 2008).

Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizadas imagens do satélite LandSat 8 nas datas: 03/03/2016, 20/04/2016 e 25/07/2016 (path/row: 217/63). As imagens foram obtidas junto ao USGS (*United States Geological Survey*, 2018) em seu projeto *Earth Explorer*. O critério de seleção das imagens foi a baixa cobertura de nuvens no polígono do município.



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

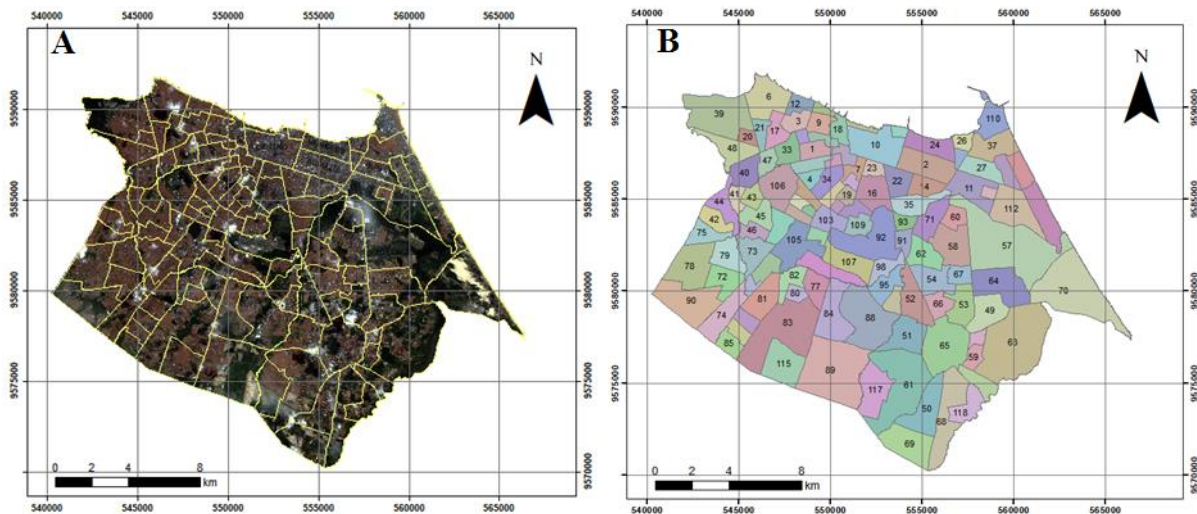


Figura 2 - Localização de Fortaleza/CE (A) e sua divisão de bairros (B).

Para a estimativa dos casos de dengue optou-se por um modelo multiplicativo simples com efeito pepita dado pela equação 1 abaixo:

$$N = \alpha \left[ \frac{Temp \times N_{pix} \times P_{pix}}{IDH} \right] + \beta \quad (1)$$

onde  $Temp$  é a temperatura normalizada,  $N_{pix}$  o número de pixels de cada bairro, representando a área,  $P_{pix}$  a população de cada píxel (30 x 30 metros), indicando a densidade populacional de cada bairro e  $IDH$  o Índice de Desenvolvimento Humano de cada bairro.  $\alpha$  e  $\beta$  são parâmetros a serem calibrados. A normalização da temperatura é realizada segundo a equação 2.

$$Temp_i = \left( \frac{TC_i - \min(TC)}{\max(TC) - \min(TC)} + 0,1 \right) / 1,1 \quad (2)$$

$TC$  é a temperatura média em graus Celcius de cada bairro. Os valores de temperatura ( $Temp$ ) normalizada variam entre 0,1 e 1,0. O *nudge* de 0,1 é importante para evitar que o bairro mais frio zere o fator multiplicativo da equação 1.



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

Foram obtidos junto a Prefeitura Municipal de Fortaleza dados de população e IDH por bairro para o ano de 2015 (Figura 3). Os dados foram espacializados em Sistema de Informação Geográfica.

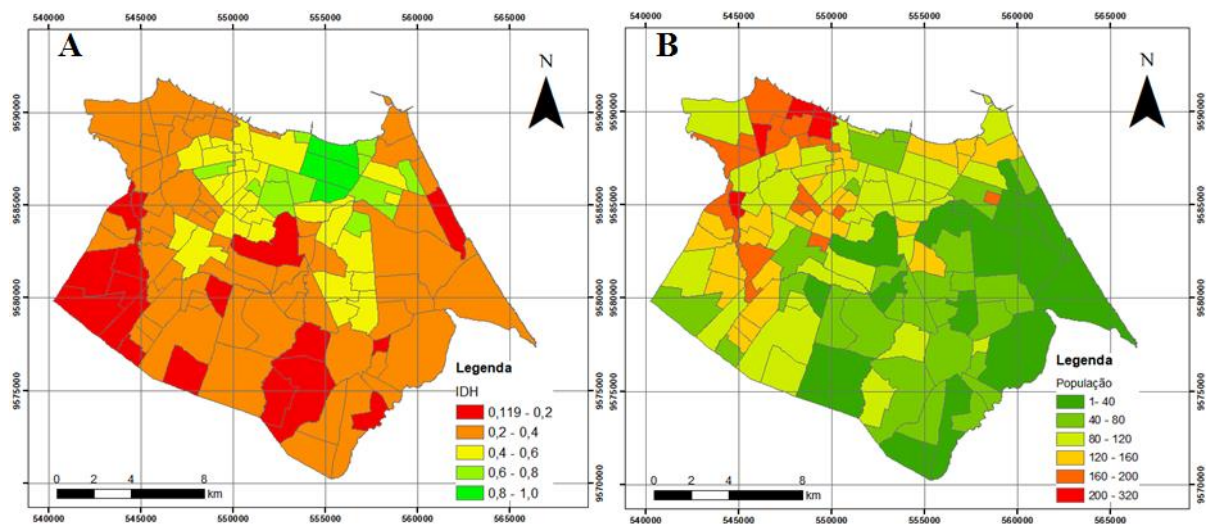


Figura 3 - Valores de IDH (A) e População (B) por pixel.

Junto à Coordenadoria de Vigilância em Saúde da Secretaria Municipal de Saúde de Fortaleza obteve-se os dados de ocorrência de Dengue por bairro em Fortaleza, descritos no Boletim Semanal da Dengue (CÉLULA DE VIGILÂNCIA EPIDEMIOLÓGICA, 2016). O ano de 2016 encontra-se acima da média histórica em praticamente todo o ano e acima do máximo histórico entre a 16<sup>a</sup> e 18<sup>a</sup> semanas (abril de 2016; Figura 4).

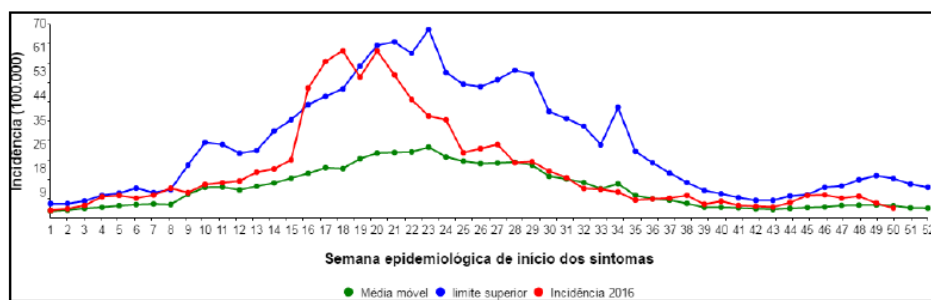


Figura 4 - Diagrama de casos de Dengue, Fortaleza, 2016 (Fonte: SMS Fortaleza, 2016).

### 3. Resultados



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

A partir das bandas 10 e 11 das imagens Landsat foi possível calcular a temperatura da superfície, como ilustrado abaixo (Figura 5).

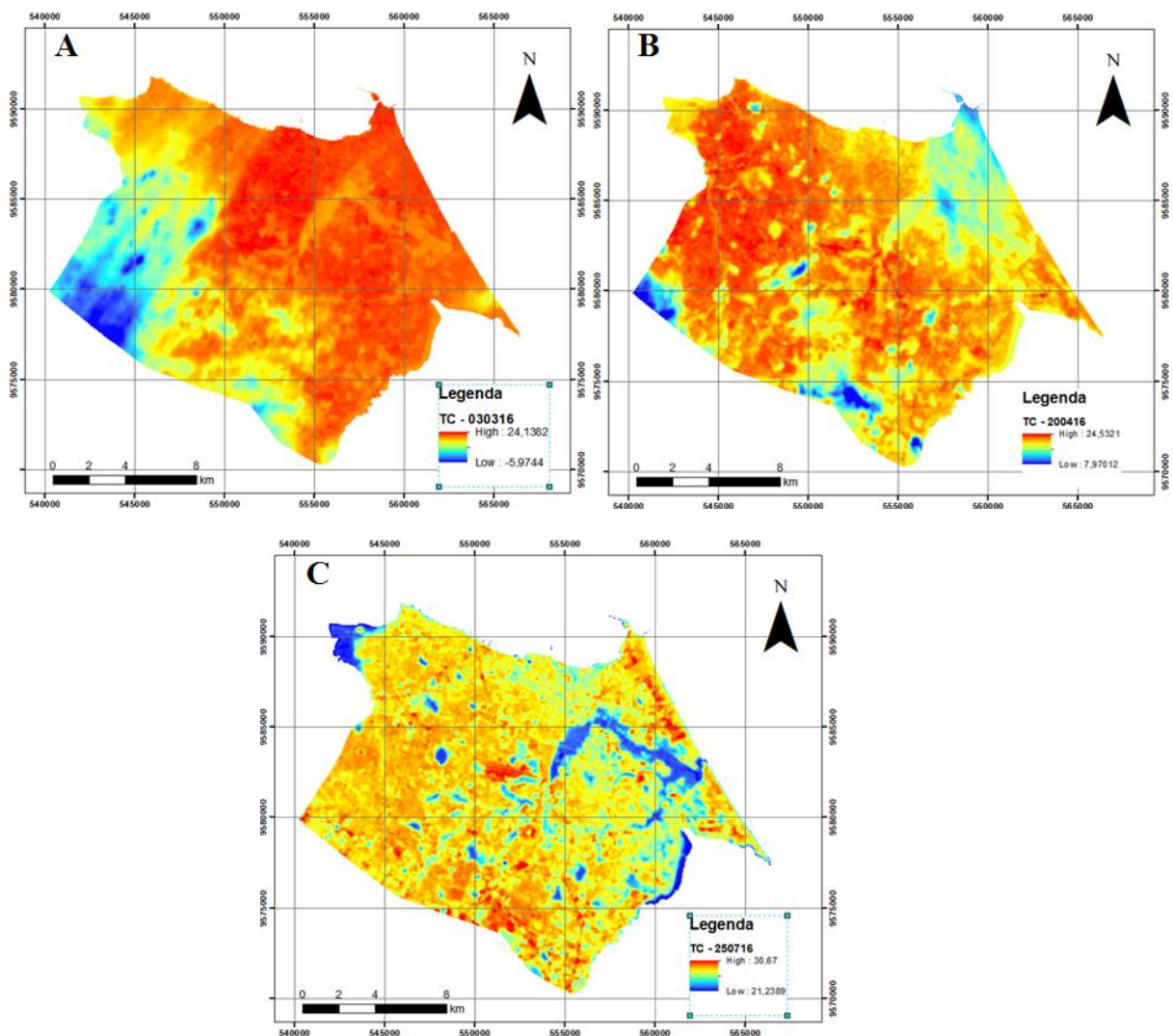


Figura 5 - Temperatura da superfície de Fortaleza. (A) 03/03/16; (B) 20/04/16; (C) 25/07/16.

Na Figura 5C, em julho, não possui nuvens, já em A e B a cidade está parcialmente encoberta, o que é facilmente constatável pelas temperaturas negativas. Excluindo as nuvens com das imagens A e B tem-se (Figura 6):



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

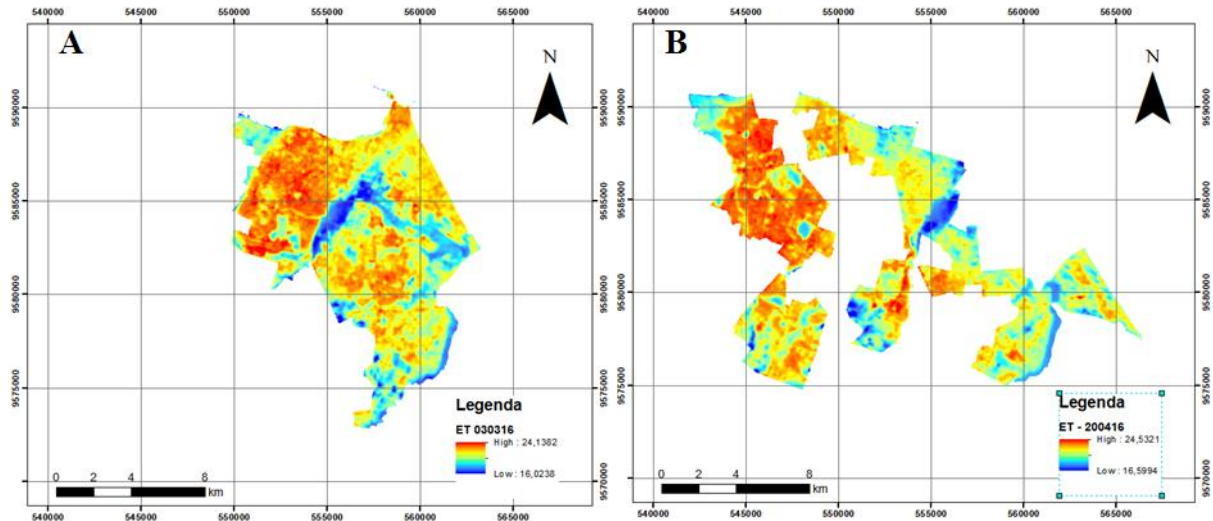


Figura 6 - Temperatura da superfície de Fortaleza sem nuvens. (A) 03/03/16; (B) 20/04/16.

Das imagens acima, observa-se uma amplitude térmica na cidade é da ordem de 8 graus. A região do Parque do Cocó, Salinas, Sabiaguaba, Barra do Ceará, Vila Velha e entorno de lagoas apresentam zonas de baixa temperatura. Regiões do oeste da cidade (Conjunto Ceará, João XXIII, Henrique Jorge, etc) apresentam temperaturas mais elevadas, bem como a região da Praia do Futuro e Vicente Pizon. A área do Aeroporto Pinto Martins é uma grande ilha de calor devido à grande área de pista e coberta metálica.

A partir das análises dos dados observou-se que a variável  $P_{pix}$  (número de habitantes por pixel) não apresenta grande influência sobre o número de casos como indicado abaixo (Figura 7).



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

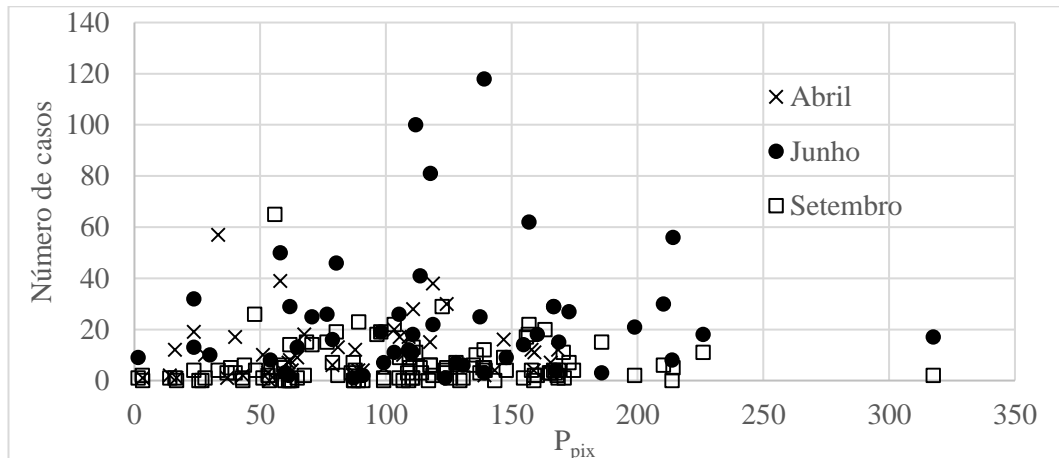


Figura 7 - Relação entre densidade populacional e casos registrados de Dengue.

Observou-se, no entanto, satisfatória correlação entre as demais variáveis e o número de casos (Figuras 8, 9 e 10):

i) Temperatura

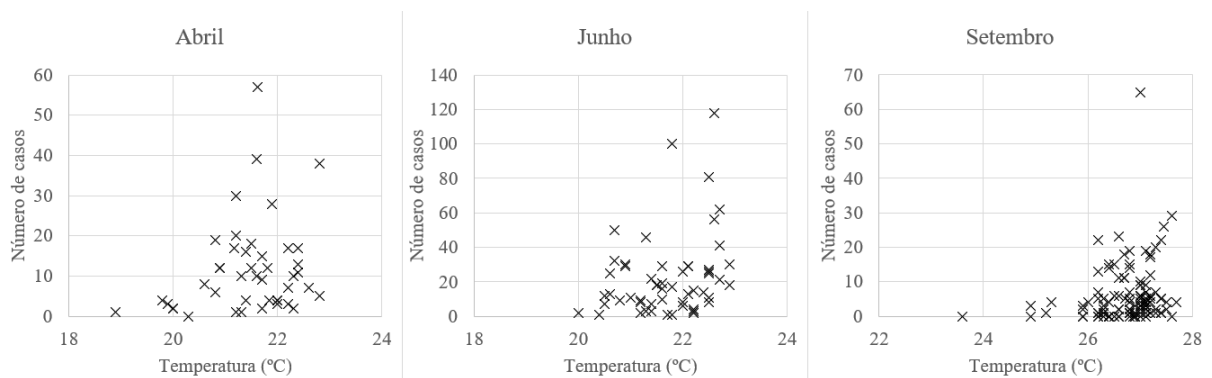


Figura 8 - Relação temperatura e número de casos - Fortaleza, 2016.





XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

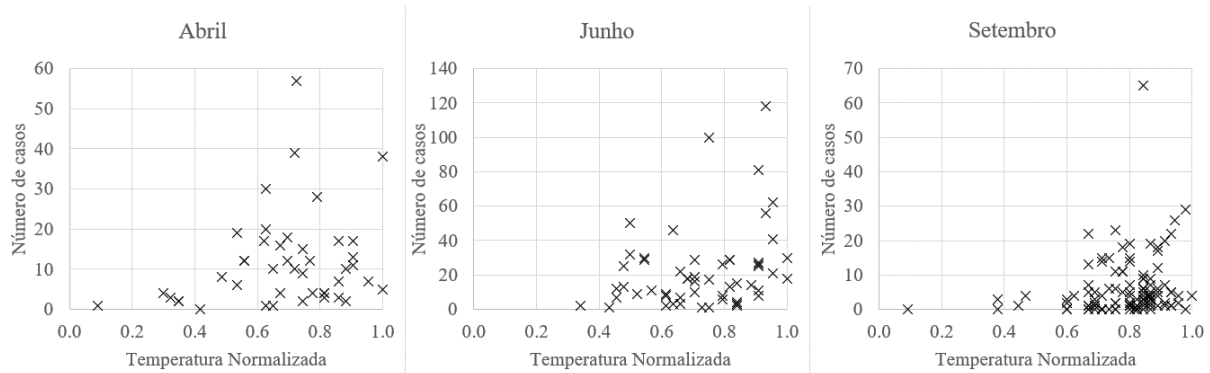


Figura 9 - Relação temperatura normalizada e número de casos - Fortaleza, 2016.

ii) Índice de Desenvolvimento Humano

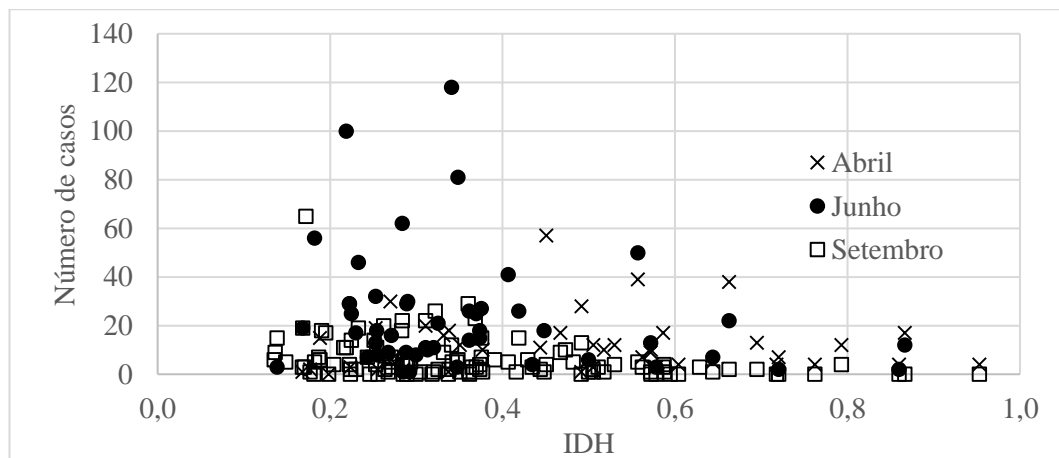


Figura 10 - Relação IDH e número de casos - Fortaleza, 2016.

3.1. Resultados da modelagem

A partir das 3 imagens um total de 213 pontos foram obtidos. 106 foram separados para calibração e 107 para validação. A equação de calibração com melhor desempenho foi:

$$N = 4,903 \times \ln \left[ \frac{Temp \times N_{pix}}{IDH} \right] - 16,952 \quad (3)$$

A equação acima apresentou um NSE (Nash-Sutcliffe Efficiency) na calibração de 0,07, e coeficiente de determinação similar, superior a proposta inicial de equação linear (Equação 1). No entanto, os valores obtidos de NSE são bastante inferiores aos obtidos na literatura (MORIASI et al., 2007; RITTER; MUÑOZ-



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

CARPENA, 2013). O valor de NSE para a validação foi inferior, ficando em apenas 0,01. Ao aplicar a equação para cada uma das imagens obteve-se valores negativos para duas das três.

#### 4. Discussão

Como apontado, há uma correlação positiva entre temperatura da superfície e casos de Dengue, bem como uma correlação negativa quanto ao IDH. A mesma correlação não é observada para os dados de densidade populacional ( $P_{pix}$ ), isto se deve a alta densidade populacional da cidade (~8.400 habitantes por quilometro quadrado, em média, atingindo valores até 40 vezes maiores nas zonas mais densas). A grande densidade populacional torna indiferente seu valor para o risco de incidência.

Apesar da equação 3 apresentar índices de qualidade pobres ( $R^2$ , NSE) a mesma é exitosa do ponto de vista qualitativo. Para os três meses indicados a equação conseguiu prever com uma taxa de 65% de acerto a ocorrência de casos em quantidade acima ou abaixo da média para o mês de interesse (Figura 11), ou seja, permite com prever onde serão necessários mais esforços em combate e prevenção.

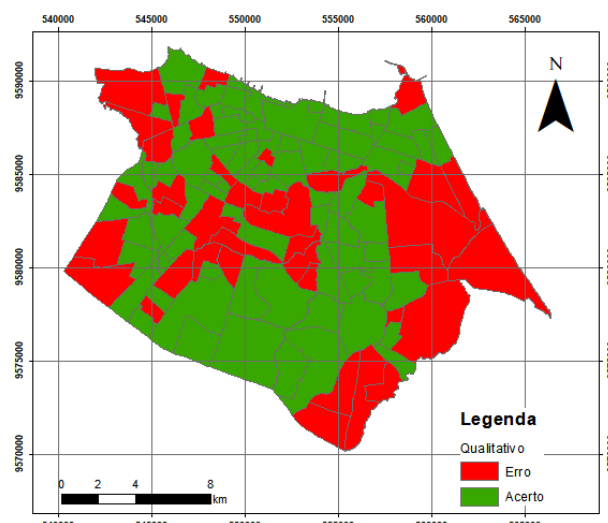


Figura 11 - Indicação de acerto e erro do modelo em termos de média para o mês 09/2016 com base em dados de temperatura de 25/07/2016.



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

**GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

O sucesso na análise qualitativa indica que as variáveis selecionadas apontam para a direção certa. O mau desempenho quantitativo, por sua vez, indica carência de dados, em quantidade e precisão. O modelo pode ser aprimorado a partir de outras fontes de dados, já existem porém não são de acesso público, que podem estar correlacionadas com ocorrência de doenças causadas por arbovírus, quais sejam:

- Esgotamento sanitário;
- Drenagem;
- Corpos hídricos (lagoas);
- Distribuição populacional por quadra;
- Validação da temperatura com dados de campo.

## 5. Conclusão

O sensoriamento remoto é uma poderosa ferramenta que pode auxiliar a gestão de recursos para melhorar as condições de vida em uma cidade, como indicado ao para a cidade de Fortaleza. É possível construir uma ferramenta baseada em sensoriamento remoto para auxiliar a tomada de decisão na alocação de recursos (financeiro e humano) para melhor satisfazer a demanda por saúde pública, no entanto este produto deve partir de uma visão integrada junto aos órgãos competentes uma vez que a demanda por informação.

## 6. Agradecimentos

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

## 7. Referências Bibliográficas

CARRINGTON, L. B. et al. 'Effects of Fluctuating Daily Temperatures at Critical Thermal Extremes on *Aedes aegypti* Life-History Traits', **PLoS ONE**, 8(3). doi: 10.1371/journal.pone.0058824. 2013.

DANTAS, C. Consultoria estima que Brasil perdeu R\$ 2,3 bilhões em um ano com doenças do Aedes. **G1**. Disponível em: <<https://g1.globo.com/bemestar/aedes->



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

**GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

aegypti/noticia/consultoria-estima-que-brasil-perdeu-r-23-bilhoes-em-um-ano-com-doencas-do-aedes.ghtml>. Acessado em: 03/12/2018.

IBGE. <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/fortaleza/panorama>>. Acesso em: 30 de novembro de 2018

MAGALHÃES, G. B.; ZANELLA, M. E. Comportamento espacial da dengue e sua relação com o clima na região metropolitana de Fortaleza. **Revista Brasileira de Climatologia**, 21, pp. 295–312. 2013.

MORIASI, D. N. et al. Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. **Transactions of the ASABE**, 50(3), pp. 885–900. doi: 10.13031/2013.23153. 2007.

MOURA, M., O. **O clima urbano de Fortaleza sob o nível do campo térmico**. 2008. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2008.

MUTURI, E. J. Larval rearing temperature influences the effect of malathion on *Aedes aegypti* life history traits and immune responses. **Chemosphere**. Elsevier Ltd, 92(9), pp. 1111–1116. doi: 10.1016/j.chemosphere.2013.01.055. 2013.

PEREIRA, C. A. R. et al. Avaliação econômica dos casos de Dengue atribuídos ao desastre de 2011 em Nova Friburgo (RJ), Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, 19(9), pp. 3693–3704. doi: 10.1590/1413-81232014199.01682014. 2014.

RITTER, A.; MUÑOZ-CARPENA, R. Performance evaluation of hydrological models: Statistical significance for reducing subjectivity in goodness-of-fit assessments. **Journal of Hydrology**. Elsevier B.V., 480, pp. 33–45. doi: 10.1016/j.jhydrol.2012.12.004. 2013.

SMS, Prefeitura de Fortaleza. **Boletim Semanal da Dengue nº 52**. Fortaleza. 2016.

SMS, Prefeitura de Fortaleza. **Boletim Semanal da Dengue nº 52**. Fortaleza 2017.

TALIBERTI, H.; ZUCCHI, P. Custos diretos do programa de prevenção e controle da dengue no Município de São Paulo em 2005?, **Revista Panamericana de Salud Pública**, 27(3), pp. 175–180. doi: 10.1590/S1020-49892010000300004. 2010.

USGS. <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em 12 de novembro de 2018