

PAISAGENS DA MALÁRIA: OS CORPOS D'ÁGUA NO ALTO JURUÁ - ACRE

Ana Paula Dal'Asta¹, Laercio Massaru Namikawa², Silvana Amaral³, Raquel Martins Lana⁴, Izabel Cristina dos Reis⁵, Claudia Torres Codeço⁶, Maria Isabel Sobral Escada⁷, Anielli Rosane de Souza⁸, Antônio Miguel Vieira Monteiro⁹

^{1,2,3,7,8,9} Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Av. dos Astronautas, 1758. São José dos Campos - SP. {ana.dalasta; laercio.namikawa; silvana.amaral; anielli.souza; miguel.monteiro}@inpe.br; isabel@dpi.inpe.br; ^{4,6} Programa de Computação Científica/Fiocruz. Av. Brasil, 4365, Rio de Janeiro - RJ. {raquelmlana; claudia.codeco}@gmail.com; ⁵ Laboratório de Mosquitos Transmissores de Hematozoários/ Fiocruz, Av. Brasil 4365, Rio de Janeiro - RJ. izabio2005@gmail.com

RESUMO

A malária é atualmente um dos maiores problemas de saúde pública na Amazônia, onde condições ambientais naturais favoráveis tem se somado às condições artificiais na persistência da malária. Esse artigo explora o potencial de dados e técnicas de sensoriamento remoto para identificar a presença de feições ambientais favoráveis à malária, como os corpos d'água na região do Alto Juruá (Acre). Métodos automatizados baseados em transformação das imagens RapidEye (2014 e 2015) e CBERS4 (2018) e o estimador de densidade Kernel permitiram mapear e caracterizar a distribuição espacial dos locais indicativos da presença de corpos d'água na região. Além dos corpos d'água naturais foram detectados os tanques de piscicultura, atividade muito frequente na região. Busca-se com isso, fornecer subsídios para melhor entender os determinantes locais na persistência da malária.

Palavras-chave — malária, Alto Juruá, CBERS, tanques de piscicultura.

ABSTRACT

Currently, malaria is one of the major public health issues in the Amazon, where favorable natural environmental conditions are associated to the artificial conditions in the persistence of malaria. This article explores the potential of remote sensing data and techniques to identify the presence of environmental features favorable to malaria, such as water bodies in the Alto Juruá region (Acre). RapidEye (2014 and 2015) and CBERS4 (2018) images and the Kernel density estimator were used to map and characterize the spatial distribution of the locations that indicate presence of water bodies in the region. In addition to the natural water bodies, fish farming tanks were detected, which represents a very frequent and important activity in the region. We have thus sought to provide insights to better understand the local determinants of malaria persistence.

Key words — malaria, Alto Juruá region, CBERS, fish ponds.

1. INTRODUÇÃO

A malária é atualmente um dos maiores problemas de saúde pública na Amazônia, que concentra mais de 99% dos casos da doença. Nessa região, a ocorrência da doença está associada às atividades de exploração madeireira e mineração e à expansão da ocupação em direção às áreas de floresta [1, 2, 3]. A presença de ruralidades nas áreas urbanas e a mobilidade da população são também fatores importantes para a ocorrência de malária, em especial a urbana [4, 5]. Há também uma diversidade ecológica de padrões de exposição à doença que podem ser associados às condições ecológicas, sanitárias, sociais, políticas e culturais particulares de cada lugar [2, 6, 7].

A região do Alto Juruá (Acre), maior bolsão de endemicidade de malária das Américas [1], ilustra esse quadro. A persistência de condições ambientais naturais favoráveis para o desenvolvimento do mosquito vetor do *Plasmodium* - o *Anopheles* spp., tem se somado às condições artificiais, como os tanques de piscicultura [2, 4, 8]. Apesar da crescente produção científica sobre a contribuição desses elementos artificiais na transmissão e persistência da malária [2, 4], faltam estudos com métodos práticos e eficientes que os caracterizem na paisagem regional.

Considerando que o sensoriamento remoto pode auxiliar na caracterização da epidemiologia da paisagem [9], nosso objetivo é explorar dados e técnicas de sensoriamento remoto para identificar a presença de feições ambientais favoráveis à malária, mais precisamente, os corpos d'água na região do Alto Juruá (Acre). Busca-se com isso, fornecer subsídios para melhor entender os determinantes ambientais locais na persistência da malária e assim, avançar na elaboração de estratégias de intervenção para minimização da carga de doença.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Área de Estudo

A área de estudo é a região do Alto Juruá e compreende prioritariamente os municípios de Rodrigues Alves (RA), Mâncio Lima (ML) e Cruzeiro do Sul (CZS), no extremo oeste acreano, e parte de Guajará (GU), no oeste do Amazonas (Figura 1). CZS é o maior município, com

78.507 habitantes, enquanto os demais possuem entre 13 e 16 mil habitantes [10]. Nessa região, concentram-se 90% dos casos de malária do Acre [1], associados tanto a paisagens rurais quanto urbanas [2, 8, 11].

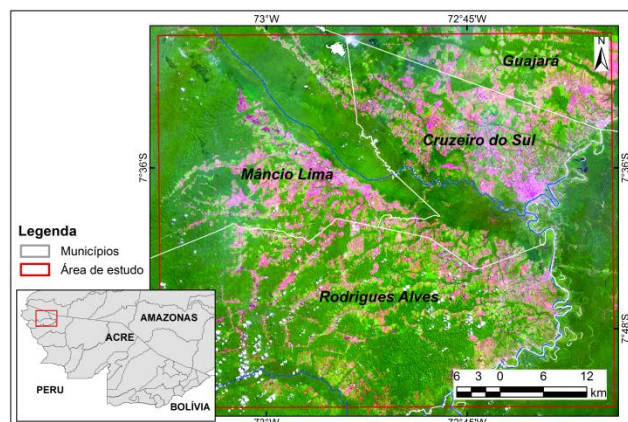


Figura 1. A região do Alto Juruá (oeste acreano) e a área de estudo.

No Alto Juruá, em meados de 2000, a piscicultura, realizada principalmente em áreas já desmatadas e abandonadas, perto ou dentro de pequenos rios represados, foi estimulada como alternativa sustentável à pecuária [4]. Desde então, a paisagem tem sido transformada com a abertura ou formação de tanques e, atualmente, CZS, ML e RA estão entre os dez maiores produtores do estado do Acre [12]. Paralelamente ao desenvolvimento da piscicultura, há uma preocupação quanto aos efeitos da presença de tanques na incidência da malária na região. Tanques com manejo inadequado foram por vezes associados à presença de *Anopheles* spp. e, conseqüentemente, com a transmissão da malária [4].

2.2. Metodologia

A identificação dos corpos d'água na região do Alto Juruá baseia-se na metodologia descrita em Namikawa et al [13], que detectam essas superfícies a partir de métodos automatizados aplicáveis em imagens RapidEye. O resultado é a classificação dos corpos d'água em sete níveis de pertencimento ao alvo de interesse - "água". Inicialmente aplicada para o território nacional (os dados estão disponíveis em www.dpi.inpe.br/waterbodies), a proposta foi adaptada ao contexto do Alto Juruá: presença de corpos d'água naturais (rios e meandros abandonados) e artificiais (tanques para piscicultura e represas) de interesse para a vigilância epidemiológica.

Para o recorte adotado, foram utilizadas nove imagens do sensor Earth Imaging System do RapidEye (REIS), dos anos de 2014 e 2015, e quatro da Câmera Multiespectral do Satélite Sino-brasileiro de Recursos Terrestre (CBERS 4 - PAN), do ano de 2018, a fim de complementar e atualizar o mapeamento para o período mais recente (2018) (Tabela 1). As imagens RapidEye foram obtidas do catálogo de imagens

do Ministério do Meio Ambiente (MMA) e as imagens CBERS 4 do catálogo de imagens CBERS/Landsat online da Divisão de Geração de Imagens (DGI), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Para avaliar os resultados da classificação, foram utilizados os pontos de localização dos tanques na área urbana de ML obtidos no trabalho de campo de 2014 [3].

Tabela 1. Imagens utilizadas para detecção das áreas indicativas da presença de corpos d'água.

| Sensor/Satélite | Órbita/Ponto - Tile | Data | Resolução espacial |
|-----------------|---------------------|------------|--------------------|
| PAN/CBERS 4 | 186/108 e 186/109 | 16/07/2018 | 10m |
| | 185/108 e 185/109 | 14/08/2018 | |
| REIS/RapidEye | 1835626 | 30/05/2016 | 5m |
| | 1835625 | 03/08/2015 | |
| | 1835624 | 31/07/2015 | |
| | 1835526 | 04/10/2014 | |
| | 1835525 | 03/08/2015 | |
| | 1835524 | 22/07/2014 | |
| | 1835426 | 03/08/2015 | |
| | 1835425 | 12/08/2014 | |
| | 1835424 | 21/06/2015 | |

O método adotado para a detecção dos corpos d'água explora a componente Matiz, resultante da transformação de cores RGB (Vermelho, Verde e Azul) para o modelo de cores HSV (Matiz, Saturação e Valor) e, adicionalmente, valores mínimos de reflectância das imagens [13]. Essa transformação de cores RGB - HSV foi aplicada ao conjunto de imagens RapidEye, composição 2R3G5B, e CBERS, composição 2R3G4B.

Posteriormente, realizou-se o fatiamento da componente matiz (H) que, associado aos valores mínimos de reflectância, obtidos da radiância de todas as bandas das imagens RapidEye e da reflectância no topo da atmosfera nas imagens CBERS 4, permitiu definir o nível de pertencimento de cada pixel ao alvo "água" (sete classes de pertencimento e uma de não-água). Namikawa et al. [13] apresentam detalhes das classes e implementação.

Independentemente do nível de confiança de cada pixel ao alvo "água", o resultado final é uma classificação binária, onde todos os pixels classificados em uma das sete classes de pertencimento (maiores de 80% de confiança) foram atribuídos à classe "água". Após a classificação, realizou-se uma edição manual para a remoção dos ruídos, associados principalmente a nuvens.

Dada a capacidade dos dados e técnicas utilizados para detectar as características dos corpos d'água na área de estudo, que em muitas vezes correspondem a feições pequenas e com sedimentos em suspensão, considerou-se os pixels classificados como "água", como indicativos da presença de corpos d'água na área. Finalmente, extraíram-se os centróides dos polígonos classificados como corpos d'água para, através do estimador de densidade Kernel [14] dos pontos, analisar o padrão de distribuição espacial da presença de corpos d'água na região.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 2 apresenta a distribuição dos pontos indicativos da presença de corpos d'água na área de estudo (a) e a distribuição espacial da densidade (estimador Kernel) desses pontos (b). De um modo geral, os resultados da classificação como um indicador da presença de corpos d'água foram

considerados aderentes ao observado nas imagens. Para a cidade de ML, dos 121 pontos de tanques coletados por Reis et al. [4], em 2015, 57 foram detectados (47.1%). Os principais erros de omissão associam-se a corpos d'água com alta concentração de sedimentos e os erros de comissão à presença de nuvens.

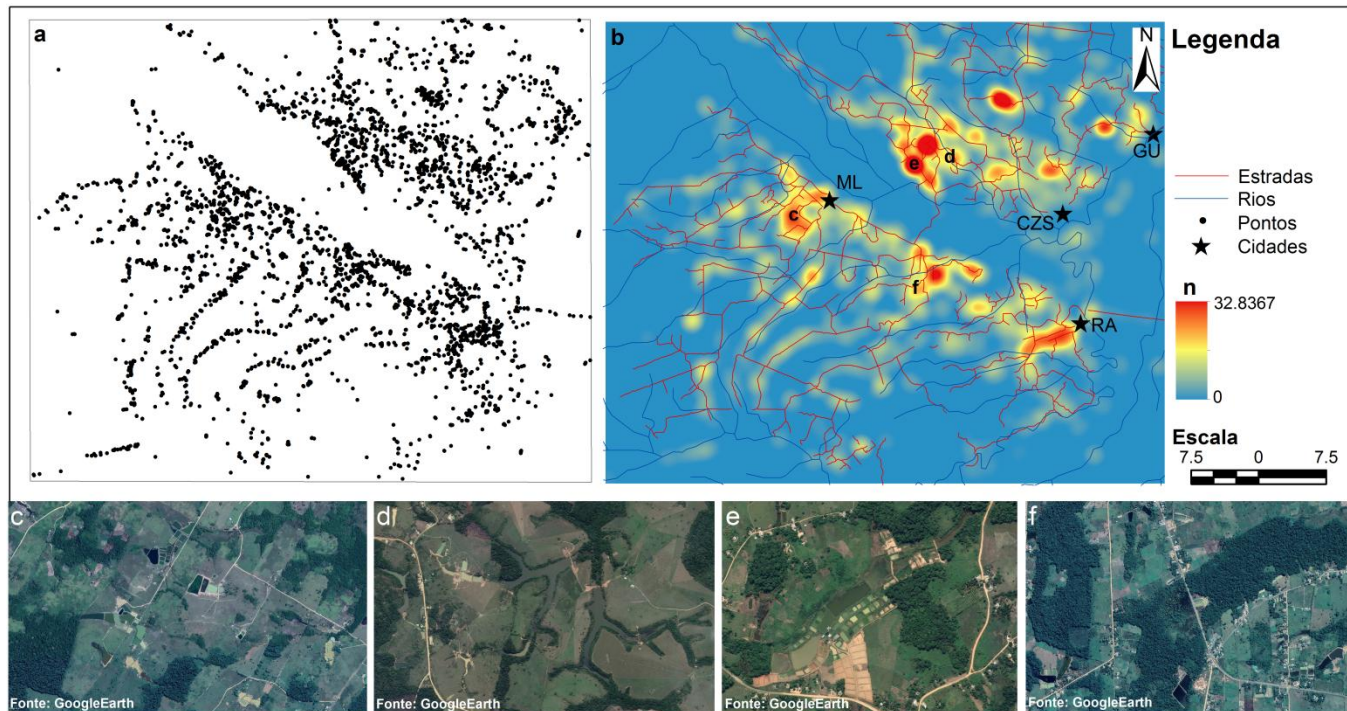


Figura 2. Distribuição dos pontos indicativos da presença de corpos d'água na região do Alto Juruá, distribuição das densidades e padrões espaciais dos corpos d'água encontrados na região.

Com base na Figura 2a, observa-se que os corpos d'água que ocorrem distribuídos pela área de estudo e, na paisagem, referem-se a rios, meandros abandonados, cursos d'água represados por barramentos artificiais e tanques de piscicultura. Enquanto as represas e os meandros abandonados representam os corpos com maior lâmina d'água, com até 50 ha, os tanques de piscicultura ocorrem em maior número e com dimensões variadas, em geral, superiores a 0,02ha (em torno de 70% dos pontos).

Espacialmente, são observados padrões de distribuição da densidade de pontos indicativos da presença de corpos d'água (Figura 2b). As porções de maiores densidades ocorrem essencialmente no interior do município de CZS, entre as cidades de ML e RA (localidade de Pé da Terra) e nas imediações das cidades de ML, RA e GU. Os padrões de densidades baixas ocorrem prioritariamente associados à rede de estradas secundárias. Em um contexto mais amplo, esses padrões podem ser associados à estrutura de organização da atividade de piscicultura na região: concentrada próxima aos principais centros de consumo e realizada por grandes e pequenos produtores. A Figura

2c,d,e e f apresenta alguns padrões que podem ser associados à piscicultura na região.

Na economia formal, a comercialização da produção da piscicultura contribui com menos de 2% no PIB desses municípios [12]. Ou seja, apesar de importante, a piscicultura representa uma atividade econômica secundária no contexto local. Nos municípios analisados, a atividade da piscicultura é realizada principalmente em pequenas propriedades e os reservatórios de água foram construídos escavando ou barrando pequenos cursos fluviais. Esse panorama elucida aspectos importantes para a vigilância em malária. Se para a abertura dos tanques houve incentivos das instituições locais, o mesmo não persiste para sua manutenção e, seja por falta de recurso dos proprietários ou mesmo por falta de informação sobre a malária, o manejo adequado das margens muitas vezes fica comprometido, contribuindo para a reprodução e o desenvolvimento do mosquito *Anopheles* spp.

A Figura 3 mostra a ocorrência de malária (proporção de domicílios em que pelo menos um residente teve malária nos últimos 12 meses) em algumas localidades de ML e RA

inventariadas por Lana et al. [8] para o ano de 2015 e a distribuição da densidade de corpos d'água. Observa-se que nesse gradiente de densidade dos corpos d'água, a malária ocorre com diferentes intensidades em uma região onde há uma diversidade de padrões de exposição a agravos, e os tanques de piscicultura são um dos elementos.

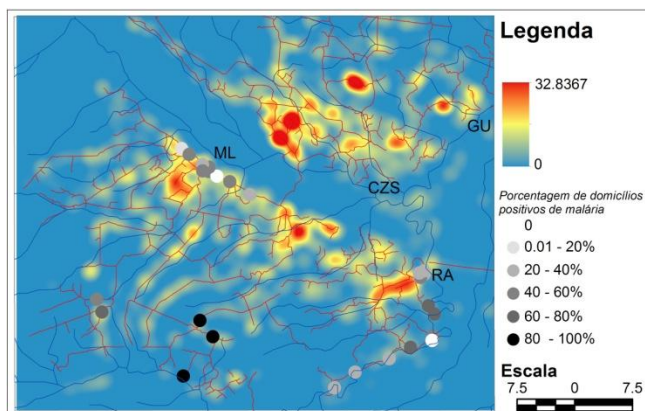


Figura 3. Distribuição da porcentagem de domicílios positivos a malária em localidades [8] e distribuição das densidades dos pontos associados a presença de corpos d'água.

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho buscou-se caracterizar uma feição local favorável ao desenvolvimento do mosquito *Anopheles* spp. e, conseqüentemente, à transmissão da malária na região do Alto Juruá. Os métodos automatizados para detecção de corpos d'água e estimador de densidades Kernel, permitiram mapear e caracterizar a distribuição espacial dos locais indicativos da presença de corpos d'água. Além dos corpos d'água naturais, foram detectados os tanques associados à atividade da piscicultura, muito frequente na região. Contudo, para efetivamente compreender a contribuição desses elementos para a ocorrência de malária, seria necessário analisar outras características dos corpos d'água e da paisagem local, como cor da água, atributos do entorno, além de integrar estudos sobre o comportamento do vetor e da população residente.

Resultados como os obtido neste estudo, que caracterizam a paisagem regional a partir da descrição das feições favoráveis à malária, como os tanques de piscicultura, são de grande importância para a vigilância epidemiológica. Além de contribuir com aspectos espaciais quanto à contribuição da paisagem local para a persistência da malária na região, fornece informações valiosas para apoiar o desenho de estratégias voltadas para o combate à malária.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao suporte da DPI-INPE, do Projeto MSA-BNDES (Processo: 1022114003005), do CNPq (Processo: 300435/2018-5, 454665/2014-8) e do BSM-CAPES.

6. REFERÊNCIAS

- [1] PAHO. Report on the Situation of Malaria in the Americas 2014; Pan American Health Organization: Washington, DC, USA, 2016; p. 114.
- [2] Ferreira, M.U.; Castro, M.C. "Challenges for malaria elimination in Brazil". *Malar. J.*, v.15, n.284, 2016.
- [3] Becker, J.N. Mobilidade humana e heterogeneidade espacial: novos elementos para o estudo da malária na região metropolitana de Manaus. Tese. 2018.
- [4] Reis, I.C.; Honório, N.A.; de Barros, F.S.M.; Barcellos, C.; Kitron, U.; Camara, D.C.P.; Pereira, G.R.; Keppeler, E.C.; da Silva-Nunes, M.; Codeço, C.T. "Epidemic and endemic malaria transmission related to fish farming ponds in the Amazon frontier". *PLoS ONE*, n.10, 2015.
- [5] Angelo, J.R.; Katsuragawa, T.H.; Sabroza, P.C.; de Carvalho, L.A.S.; de Silva, L.H.P.; Nobre, C.A. "The role of spatial mobility in malaria transmission in the Brazilian Amazon: The case of Porto Velho municipality, Rondônia, Brazil (2010–2012)". *PLoS ONE*, n. 21 (n.), 2017.
- [6] Suárez-Mutis, M. C.; Coura, J.R. "Mudanças no padrão epidemiológico da malária em área rural do médio Rio Negro, Amazônia brasileira: análise retrospectiva". *Cad. Saúde Pública*, Rio de Janeiro, v.23, n.4, pp. 795-804, 2007
- [7] TAUIL, P. L. "The prospect of eliminating malaria transmission in some regions of Brazil". *Mem. Inst. Oswaldo Cruz*, v.106, supl. 1, pp. 105-106, 2011.
- [8] Lana, R.M.; Riback, T.I.S.; Lima, T.F.M.; da Silva-Nunes, M.; Cruz, O.G.; Oliveira, F.G.S.; Moresco, G.G.; Honório, N.A.; Codeço, C.T. "Socioeconomic and demographic characterization of an endemic malaria region in Brazil by multiple correspondence analysis". *Malar. J.* v.16, n. 397, 2017.
- [9] Reisen, W.K. "Landscape Epidemiology of Vector-Borne Diseases". *Annu. Rev. Entomol.* v.55, pp. 461-483, 2010.
- [10] IBGE. Censo Demográfico 2010; IBGE, Ed.; IBGE: Rio de Janeiro, Brazil, 2010.
- [11] Dal'Asta, A.P.; Lana R.M.; Amaral, S.; Codeço, C.T.; Monteiro, A.M.V. "The Urban Gradient in Malaria-Endemic Municipalities in Acre: Revisiting the Role of Locality". *Int J Environ Res Public Health*, v.15, n.6, 2018
- [12] IBGE. Pesquisa Pecuária Municipal (PPM). IBGE, 2016.
- [13] Namikawa, L.M.; Körting, T.S.; Castejon, E.F. "Water Body Extraction from RapidEye Images: An Automated methodology based on hue Component of Color Transformation from RGB to HSV Model". *Revista Brasileira de Cartografia*, v.68, n.6, 2016.
- [14] Bailey, T. C.; Gatrell, A. C. "Interactive Spatial Data Analysis". Essex: Longman. 1995