
MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE RISCO PARA TRANSMISSÃO DE ARBOVIROSES (DENGUE, CHIKUNGUNYA E ZIKA) NO TERRITÓRIO DE DESENVOLVIMENTO DOS COCAIS, PIAUÍ, BRASIL

Antonio Carlos dos **SANTOS**
Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente - Rede PRODEMA/UFPI
Universidade Federal do Piauí (UFPI)
E-mail: baulive@hotmail.com
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6979-9573>

Ivanilza Moreira de **ANDRADE**
Doutora em Botânica
Instituição: Universidade Federal do Delta do Parnaíba (UFDPAR)
E-mail: ivanilzamoreiraandrade@gmail.com
Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6059-8540>

Gustavo Souza **VALLADARES**
Doutor em Agronomia - Ciência do Solo
Instituição: Universidade Federal do Piauí (UFPI)
E-mail: valladares@ufpi.edu.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4884-6588>

Francílio de Amorim dos **SANTOS**
Doutor em Geografia
Instituição: Instituto Federal do Piauí (IFPI) / Campus Piripiri
Email: francilio.amorim@ifpi.edu.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-0415-6673>

*Recebido
Junho de 2024*

*Aceito
Agosto de 2025*

*Publicado
Dezembro de 2025*

Resumo: No presente estudo, objetivou-se empregar um Sistema de Informação Geográfica (SIG) para mapear as zonas de risco de arboviroses no Território de Desenvolvimento dos Cocaís - PI, considerando o intervalo de tempo de 2012 a 2019. Para essa finalidade, foi realizada uma análise ambiental e epidemiológica para geração do mapa do risco de ocorrência de arboviroses levando em consideração inventários envolvendo variáveis como infestação predial, temperatura média, pluviometria, umidade relativa do ar, NDVI e NDWI por

geoprocessamento e sensoriamento remoto. Os temas foram sobrepostos e analisados por meio do método multicritério aditivo para a elaboração do mapa de risco de ocorrência das doenças. Posteriormente, os óbitos registrados foram sobrepostos com o intuito de validar a metodologia proposta. O mapeamento de risco para transmissão de arboviroses resultou na identificação de três classes: média, alta, e muito alta, sendo que as classes alta e muito alta o risco de ocorrência de óbitos teve maior destaque. Cerca de 75% dos óbitos ocorreram em municípios em áreas de risco "Muito Alta" (Matias Olímpio, Pedro II e Piripiri), enquanto 25% dos óbitos ocorreram em área de risco "Alta" (Piracuruca). Além disso, 84% dos municípios com incidências cumulativas elevadas estão em áreas de risco "Muito Alta" ou "Alta". Os resultados sugerem que o modelo do método multicritério aditivo para determinar áreas de ocorrência de casos de dengue, chikungunya e zika vírus é altamente eficiente, indicando que os fatores entomológicos e ambientais elegidos para compor as análises apresentaram resultado satisfatório.

Palavras-chave: Arboviroses; epidemiologia; modelagem; validação; risco.

MAPPING OF THE RISK AREAS FOR ARBOVIRUSES TRANSMISSION (DENGUE, CHIKUNGUNYA AND ZYKA) IN THE COCAIS DEVELOPMENT TERRITORY, PIAUÍ, BRAZIL

Abstract: In the present study, it was aimed to use a Geographical Information System (SIG) to map the arboviruses risk zones in the Cocaïs Development Territory - PI, considering the time interval from 2012 to 2019. For this goal, an environmental and epidemiological analysis was produced for the creation of the arboviruses occurrence risk map taking into consideration inventories involving variables such as building infestation, average temperature, pluviometry, relative humidity, NDVI and NDWI by geoprocessing and remote sensing. The themes were overlapped and analyzed through the multicriteria additive method for the elaboration of the disease occurrence risk map. Afterwards, the registered deaths were overlapped with the intention to validate the proposed methodology. The mapping of the arboviruses transmission risk resulted in the identification of the three classes: medium, high and very high, considering that the high and very high had more emphasis. Around 75% of the deaths occurred in the cities in "very high" risk area (Matias Olímpio, Pedro II and Piripiri), while 25% of the deaths occurred in "high" risk area (Piracuruca). Besides that, 84% of the cities with high cumulative incidence are in "very high" or "high" risk areas. The results suggest that the model of the multicriteria additive method to determine occurrence areas of dengue, chikungunya and zika virus cases is highly efficient, indicating the entomological and environmental factors chosen to produce the analyses presented satisfactory result.

Keywords: Arboviruses; epidemiology; modeling; validation; risk.

MAPIAMIENTO DE LAS ÁREAS DE RIESGO PARA LA TRANSMISIÓN DE ARBOVIROSIS (DENGUE, CHIKUNGUNA Y ZIKA) EN EL TERRITORIO DE DESARROLLO DE LOS COCALES, PIAUÍ, BRASIL

Resumen: En el presente estudio, el objetivo es emplear el Sistema de Información Geográfica (SIG) para mapeamiento de las zonas de riesgo de arbovirosis, en el Territorio de Desarrollo de los Cocaes Piaui, considerando el intervalo de tiempo de 2012 -2019. Para esa finalidad fue realizada una análisis ambiental y epidemiológico para la generación del mapa de riesgo de ocurrencia de arbovirosis llevando en consideración inventarios envolviendo variables como infestación de los predios, temperatura media, pluviometría, humedad relativa del aire, NDVI y NDWI por geoprocésamiento y sensoriamento remoto. Los temas fueron sobrepostos y analizados por medio del método multicriterio aditivo para la elaboración del mapa de riesgo

de ocurriencia de lasenfermedades. Posteriormente los óbitos registrados fueron sobrepuertos com intuito de validar la metodología propuesta. El mapiamientodelriesgo para latransmision de arbovirosis resulto de laidentificacion de três clases, media, alta y mucho alta, siendo que lasclases alta y mucho alta elriesgo de ocurriencia de los óbitos tuvomayor destaque. Cerca del 75 porcientooocurrieron em municípios de áreas de riesgo “mucho alta” (Matías Olímpio, Pedro II y Piripiri) enquanto el 25 porcento de los óbitos ocurrieron em área de riesgo “alta” (Piracuruca). Ademas de eso 84 pociento de los municípios de los municípios com incidências acumulativas elevadas estan em áreas de riesgo “mucho alta” y “alta”. Los resultados sugieren que el modelo del método multicritério aditivo para determinar áreas de ocurriencia de casos de dengue, chikunguna, y zika es altamente eficiente, indicando que los fatores entomológicos y ambientales elegidos para componerlosanalisispresentan resultado sastisfatorio.

Palabras clave: Arbovirus; epidemiología; modelado; validación; riesgo.

INTRODUÇÃO

A dengue, uma doença viral transmitida pela picada do mosquito *Aedes aegypti*, representa um dos principais problemas de saúde pública no Brasil, com altas taxas de morbimortalidade em muitos municípios, tanto de forma endêmica quanto epidêmica (Brasil, 2009; Gubler, 2011, Castro; Wilson; Bloom, 2017; Valladares *et al.*, 2019). Além da dengue, a chikungunya, é outra virose febril aguda caracterizada por dor intensa e poliartralgia debilitante, transmitida não apenas pelo mosquito *Aedes aegypti*, mas também pelo *Aedes albopictus* (Pialoux *et al.*, 2007; Santos, 2018; Souza; Gabriel, 2023). Adicionalmente, o zika, identificado pela primeira vez em humanos em 1952, após sua descoberta em macacos no Uganda, em 1947, também é transmitido por este mosquito (World Health Organization, 2016).

As arboviroses dengue, chikungunya e zika apresentam uma ampla variedade de sintomas que podem variar de leves a graves, com potencial letalidade em casos mais severos. A dengue, por exemplo, é conhecida por causar febres agudas, dores musculares e articulares, podendo evoluir para formas mais graves, como a dengue hemorrágica, que pode ser fatal se não tratada adequadamente (Guzman; Harris, 2015). Da mesma forma, a chikungunya pode levar a complicações sérias, como artrite crônica e, em casos raros, encefalite, representando um risco significativo principalmente para idosos e pessoas com condições médicas preexistentes (Weaver; Lecuit, 2015). Quanto ao vírus Zika, embora frequentemente associado a complicações neurológicas como a síndrome de Guillain-Barré e microcefalia em bebês nascidos de mães infectadas durante a gravidez, é geralmente considerado menos letal em comparação com a dengue e a chikungunya (Wikan; Smith, 2016). Essas doenças destacam-se não apenas pelos sintomas variados que podem causar, mas também pelos diferentes impactos na saúde pública, exigindo abordagens específicas para prevenção, controle e tratamento em áreas afetadas.

Essas arboviroses, representam, portanto, desafios significativos para a saúde pública global, especialmente em regiões tropicais e subtropicais (Cardoso *et al.*, 2015). No Brasil, essas doenças têm sido uma preocupação crescente devido à sua rápida disseminação e aos impactos na saúde humana. O Território de Desenvolvimento dos Cocais, localizado no estado do Piauí, apresenta condições de riscos ambiental e epidemiológico para a proliferação dessas arboviroses. Fatores como altas temperaturas e umidade do ar, características típicas de regiões tropicais, são propícios para a reprodução dos mosquitos transmissores (*A. aegypti* e *A. Albopictus*). Além disso, aspectos socioeconômicos, como infraestrutura precária e condições de saneamento inadequadas, podem favorecer a presença de criadouros e aumentar a vulnerabilidade da população à transmissão dessas doenças. Portanto, é essencial implementar medidas eficazes de controle vetorial, campanhas educativas e melhorias nas condições de infraestrutura sanitária para mitigar os riscos e reduzir a incidência dessas arboviroses no Território de Desenvolvimento dos Cocais e em outras áreas afetadas pelo problema no Brasil.

Castro e Peixoto (2005) afirmam que o risco ambiental transcende aos eventos naturais ou tecnológicos catastróficos, como enchentes ou acidentes industriais graves e frequentes. Conforme os mesmos autores, o risco ambiental é um processo contínuo que resulta da interação complexa de diversos fatores ao longo do tempo, especialmente relacionados ao estilo de vida moderno e às atividades cotidianas nas áreas urbanas. Essa visão amplia a compreensão do risco ambiental para além de eventos isolados, enfatizando que as decisões de planejamento urbano, o uso de recursos naturais, a gestão de resíduos e o desenvolvimento de infraestrutura influenciam diretamente a vulnerabilidade das comunidades a problemas ambientais.

Nesse sentido, o conceito de risco abrange elementos de incerteza que impactam continuamente os objetivos, metas e meios estratégicos de uma organização, incluindo pessoas, processos, informações e comunicações, influenciando o ambiente e podendo resultar em prejuízos. No entanto, conforme Camargo Júnior *et al.* (2013), quando gerenciados de forma eficaz, esses riscos podem se transformar em oportunidades para obter ganhos financeiros, fortalecer a reputação e melhorar os relacionamentos. A compreensão do conceito de risco e as análises da estrutura social permitiram a identificação de subgrupos populacionais mais homogêneos, situados em áreas geográficas mais restritas, nos quais a incidência de doenças é mais acentuada (Barreto; Alves, 1994).

De forma concisa, o risco epidemiológico pode ser definido como a probabilidade de ocorrer um evento específico relacionado à saúde, baseado na análise de eventos passados recentes (Luiz; Cohn, 2006). É a probabilidade de transmissão de uma doença em regiões específicas, considerando a relação entre variáveis geográficas e epidemiológicas, tais como

altitude, inclinação do terreno, características do relevo, corpos d'água, infraestrutura viária e uso do solo (Santos; Valladares; Hassum, 2019).

Compreender os riscos ambientais associados às arboviroses implica na análise das características físicas do ambiente, tais como a existência de locais de reprodução de mosquitos, a presença de água estagnada e o tipo de vegetação, os quais podem facilitar a propagação dos vetores (Lima-Camara *et al.*, 2018).

De forma mais ampla, os conceitos de risco abordados por Barreto e Alves (1994), Castro e Peixoto (2005), Luiz e Cohn (2006), Camargo Júnior *et al.* (2013), Lima-Camara *et al.* (2018) e Santos, Valladares e Hassum (2019) frequentemente podem ser categorizados como: risco social, risco ambiental, risco de administrativo (gestão) e risco epidemiológico, entre outros, relacionados à segurança pessoal, saúde, condições de moradia, trabalho, transporte e outros aspectos que afetam o cotidiano da sociedade moderna.

Os Territórios de Desenvolvimento são unidades de planejamento e gestão regional que orientam a ação governamental para promover o desenvolvimento sustentável, reduzir desigualdades e melhorar a qualidade de vida da população. Essa abordagem articula municípios com características similares, permitindo a implementação de políticas públicas mais eficazes e integradas, considerando aspectos geográficos, socioeconômicos e culturais para fortalecer a governança e a participação social no desenvolvimento regional (Piauí, 2007; Santos, 2006).

No Piauí, os Territórios de Desenvolvimento foram instituídos para facilitar o planejamento e a implementação de políticas públicas alinhadas às realidades locais, promovendo inclusão social e dinamização da economia regional. O estado é dividido em 12 territórios, incluindo o Território de Desenvolvimento dos Cocais (TDCPI), onde foi realizada a presente pesquisa (Piauí, 2017).

No TDCPI, tem ocorrido uma alta incidência de casos por dengue, zika e chikungunya, nos últimos anos, com ênfase no recorte temporal de 2012 a 2019. As maiores incidências de dengue e chikungunya no TDCPI ocorreram em aproximadamente 75% dos municípios com população de até 10.000 habitantes. Nossa Senhora dos Remédios registrou a maior incidência de casos de dengue (1684,5/100.000 habitantes), enquanto São João da Fronteira teve a maior incidência de chikungunya (1272,5/100.000 hab.) e Piripiri registrou a maior incidência de zika (175,6/100.000 hab.). As maiores taxas de mortalidade por dengue foram observadas em Piracuruca, enquanto Matias Olímpio apresentou a maior taxa de mortalidade por chikungunya (Santos; Andrade, 2022).

Após delinear a problemática da pesquisa, que trata da incidência de casos de arboviroses nos ambientes urbano e periurbano no Território de Desenvolvimento dos Cocais, desenvolveu-se a hipótese de que a modelagem de variáveis geoespaciais, ecoepidemiológicas e socioambientais por meio do Sistema de Informação Geográfica (SIG) pode oferecer uma abordagem preventiva para identificar cenários epidêmicos. Esse mapeamento preciso dos municípios com tendência de surto de arboviroses contribui para subsidiar os processos de tomada de decisão.

Nesse sentido, o SIG se destaca como uma tecnologia essencial, pois permite a coleta, armazenamento, análise, manipulação e visualização de dados espaciais, integrando informações georreferenciadas para apoiar estratégias de controle e prevenção. Segundo Longley *et al.* (2015), o SIG consiste em um conjunto de ferramentas que facilita a compreensão de padrões e relações espaciais, sendo amplamente aplicado em áreas como planejamento urbano, gestão ambiental e saúde pública.

Dessa forma, a presente pesquisa tem como objetivo principal utilizar o SIG para mapear as áreas de risco de ocorrência de arboviroses no Território de Desenvolvimento dos Cocais – PI, no período de 2012 a 2019, permitindo uma análise detalhada da distribuição espacial dessas doenças e fornecendo subsídios para a adoção de medidas eficazes de controle e prevenção.

Este estudo visa, portanto, fornecer subsídios para a elaboração de políticas públicas de saúde mais direcionadas e eficientes, além de contribuir para o avanço do conhecimento sobre a epidemiologia das arboviroses na região dos Cocais, possibilitando a adoção de medidas preventivas mais assertivas e o desenvolvimento de estratégias de intervenção mais eficazes. A compreensão das áreas de risco e dos fatores associados à transmissão dessas doenças é fundamental para o fortalecimento das ações de vigilância epidemiológica e controle vetorial, visando à proteção da saúde da população.

MATERIAIS E MÉTODOS

A escala regional de 30 metros foi escolhida para o mapeamento das áreas de risco de transmissão de arboviroses no Território de Desenvolvimento dos Cocais por proporcionar uma resolução adequada aos objetivos propostos. Essa escala permite uma análise detalhada dos fatores socioambientais e epidemiológicos, facilitando a identificação de áreas com maior concentração de vetores e risco de surtos. Além disso, possibilita a coleta de dados mais precisos, incluindo informações geográficas e ambientais que podem não ser perceptíveis em escalas maiores, garantindo uma abordagem regionalizada e eficaz.

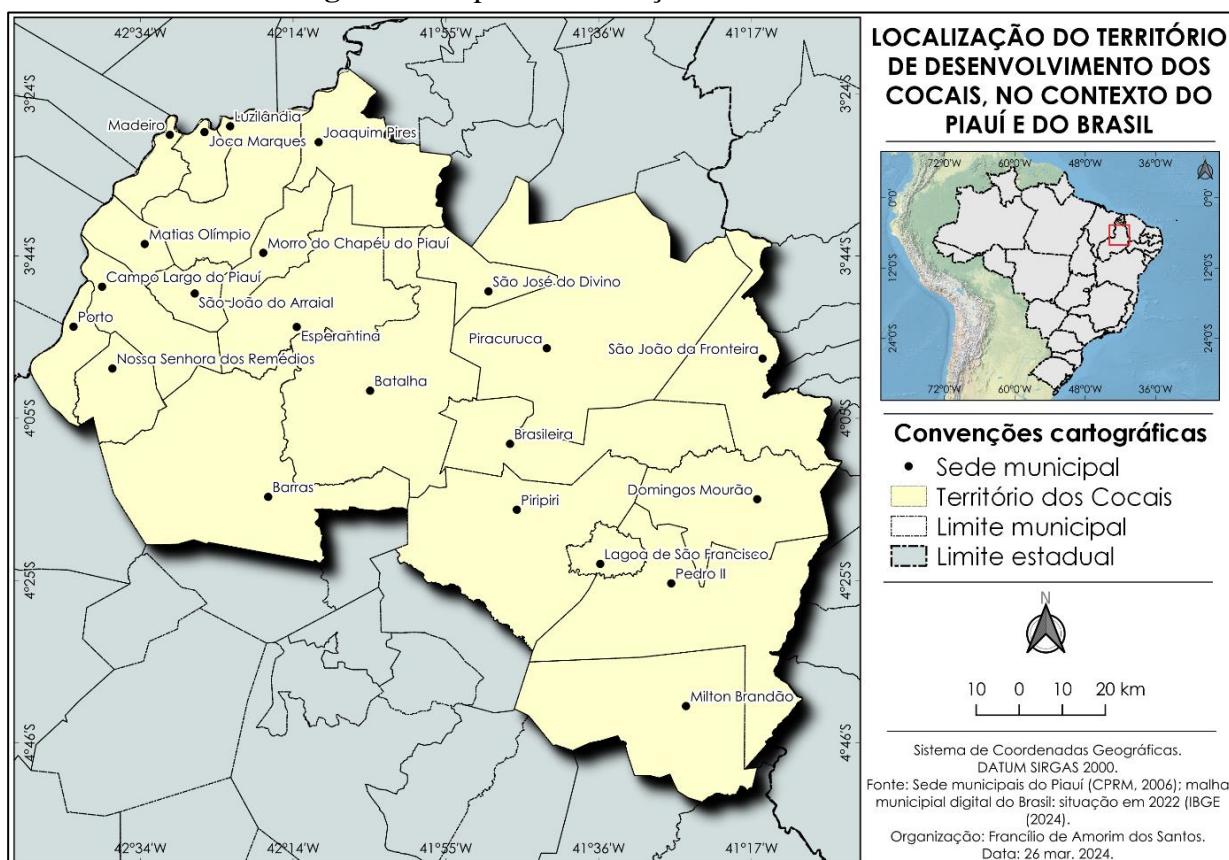
Tipo de estudo

Neste estudo, além da análise geográfica ambiental, foi adotada uma abordagem epidemiológica retrospectiva, de cunho ecológico e ambiental. A análise geográfica ambiental, de acordo com estudos de Cavalcanti (2006) e Valladares *et al.* (2019), permite compreender a dinâmica da organização espacial. A abordagem ecológica refere-se à área geográfica estudada (base municipal), incorporando variáveis ambientais, habitacionais e indicadores de saúde (Almeida Filho; Rouquayrol, 1990).

Área de estudo

O Território de Desenvolvimento dos Cocais (TDCPI), localiza-se na Macrorregião Meio Norte, centro-norte do Estado (Figura 1), é composto pela união de dois conjuntos de municípios denominados aglomerados: Aglomerado Três (AG 3) e Aglomerado Quatro (AG 4). Esses dois aglomerados abrangem um total de 22 municípios, com uma população total de 374.119 habitantes, conforme o censo de 2010 (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2012).

Figura 1- Mapa de localização da área de estudo



Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2022). Organização: Santos (2024).

Coleta de dados e observação em campo

A coleta dos dados epidemiológicos e entomológicos foi realizada via Sistemas de Informação de Agravos de Notificação (SINAN), do Programa Nacional de Controle da Dengue (SISPNCD), e de Mortalidade (SIM), na Secretaria Estadual de Saúde do Piauí (SESAPI). Os dados meteorológicos – temperatura, pluviometria e umidade relativa do ar – foram adquiridos através do Sistema de Monitoramento Agrometeorológico Agritempo/Embrapa, 2023) e do site do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (2023).

Para a construção do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e do Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI), foi necessário obter cenas do satélite *Landsat 8*, por meio do banco de dados do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS, 2023). Optou-se por selecionar imagens do segundo semestre devido à menor presença de nuvens. Além disso, foram realizadas pesquisas de campo nos meses de dezembro de 2021 e novembro de 2022 diretamente nos municípios do Território de Desenvolvimento dos Cocais, onde ocorreram os casos de dengue, Chikungunya e Zika, bem como os óbitos relacionados a essas doenças. Nessa fase, foram conduzidas pesquisas de campo para validar algumas variáveis ambientais eleitas para o estudo, bem como georreferenciar os endereços dos casos e óbitos das arboviroses em estudo.

Mapeamento do risco de ocorrência das arboviroses Dengue, Chikungunya e Zika no Território de Desenvolvimento dos Cocais (TDCPI)

Para a elaboração do mapa de risco, empregou-se um método multicritério aditivo, descrito por Xavier da Silva (2001) como média ponderada. A integração entre Sistema de Informação Geográfica (SIG) e apoio multicritério à decisão é discutida na literatura (Gomes; Estellita Lins, 2002). Aqui está a sugestão de um algoritmo (Equação 1), aplicável a estruturas matriciais ou de matrizes, adequado para os mapas raster utilizados:

n

$A_{ij} = \sum (P_k \cdot N_k)$ (Eq. 1) sendo:

k = 1

A_{ij} = qualquer célula da matriz (alternativa);

n = número de parâmetros envolvidos;

P = peso atribuído ao parâmetro, transposto o percentual para a escala de 0 a 10;

N = nota na escala de 0 a 10, atribuída à categoria encontrada na célula.

Para a realização das avaliações, foi empregada álgebra de mapas. Foram utilizadas informações dos Índices de Infestação Predial (IIP) para *Aedes aegypti* e *Aedes albopictus*, médias anuais de temperatura, pluviométrica, umidade relativa do ar, Índice de Vegetação por Diferença Normalizada da Vegetação (NDVI) e Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI) na geração do mapa de risco de ocorrência de arboviroses.

O uso das variáveis NDVI e NDWI para o cálculo da média ponderada nesta pesquisa deve-se aos relevantes resultados obtidos em estudos como os de Valladares *et al.* (2019) e Santos, Andrade e Valladares (2024). O uso do NDVI se justifica por indicar áreas favoráveis à presença de mosquitos vetores, pois oferecem sombra e locais de reprodução, enquanto o NDWI pode revelar o acúmulo de água em poças e reservatórios, potenciais criadouros desses insetos. A associação dessas variáveis com dados de ocorrência de dengue, chikungunya e zika possibilita a identificação de padrões e correlações entre essas doenças e as características ambientais. (Valladares *et al.*, 2019; Santos, Andrade e Valladares, 2024).

Os pesos e notas foram atribuídos com base na experiência e por consenso de uma equipe multidisciplinar especializada em meio físico, biológico e epidemiológico, composta por um Sanitarista-SESAPI/Doutorando em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA/UFPI), uma Bióloga (UFDPar), um Geógrafo (IFPI) e um Engenheiro Agrônomo (UFPI).

Os resultados quantitativos foram transformados em classes qualitativas, tais como: baixa, moderada, alta, muito alta. Metodologia semelhante foi empregada em alguns trabalhos, nos quais podemos enumerar: Batistella *et al.* (2002); Crepani *et al.* (2002); Valladares e Faria, (2004); Valladares, Guimarães e Hassum, (2006); Vasconcelos *et al.* (2006); Santos, Valladares e Hassum (2019). O princípio metodológico foi baseado no conceito de ecodinâmica de Tricart (1977).

Para atribuir as notas a cada tema definido para o estudo, levou-se em consideração alguns fatores, entre os quais a densidade vetorial (mosquitos), as variáveis climatológicas (temperatura, pluviosidade e umidade relativa do ar), bem como índices espectrais de cobertura vegetal e de água que ocorrem na região de estudo. Esses fatores determinantes são descritos por Oliveira *et al.* (2004); Santos e Cavalcanti (2007); Brasil (2009); Souza, Silva e Silva (2010); Santos e Santos (2011); Santos, Valladares e Hassum (2015; 2019); Barros *et al.* (2019); Valladares *et al.* (2019); Ribeiro *et al.* (2021); Santos e Andrade (2022); entre outros, que contribuem para a transmissão de arboviroses e várias doenças endêmicas.

Com base na literatura consultada, como Crepani *et al.* (2002); Valladares e Faria,

(2004); Hassum e Valladares (2006); Vasconcelos, Novo e Donalisio (2006); e Santos, Valladares e Hassum (2019), as notas atribuídas aos temas variaram de 0 a 10. Os pesos dos temas foram considerados na seguinte ordem abaixo:

1. Índice de Infestação Predial para *Aedes aegypti*: Peso: 2,0
2. Índice de Infestação Predial para *Aedes albopictus*: Peso: 1,6
3. Média Anual de Temperatura: Peso: 1,4
4. Pluviometria: Peso: 1,4
5. Umidade Relativa do Ar: Peso: 1,4
6. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI): Peso: 1,0
7. Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI): Nota: 1,2

Ressalta-se que os pesos e as notas foram definidos após trabalhos de campo em consenso da equipe especializada, que também definiu que os valores dos pesos fossem iguais somente para os temas média anual de temperatura, pluviometria e umidade relativa do ar.

As Tabelas 1, 2, 3, 4 e 5 apresentam a média total das notas de risco atribuídas a cada um dos parâmetros de análise, com exceção do NDVI e NDWI, ao longo dos oito anos da pesquisa (2012-2019), nos 22 municípios do TDCPI.

A média total das notas de risco foi calculada somando-se as notas adquirida dos oito anos de estudo e dividindo-se o resultado por 8. Em relação ao primeiro e segundo parâmetro de estudo, IIP para *Aedes aegypti* (Tabela 1) e IIP para *Aedes albopictus* (Tabela 2), as notas recebidas por cada município basearam-se no critério de classificação entomológica para monitoramento dos índices larvais definidos pelo Programa Nacional de Controle da Dengue (PNCD), da Secretaria de Vigilância em Saúde (SVS) e do Ministério da Saúde (Brasil, 2009). Logo, foram atribuídas as seguintes classes e notas: $IIP < 1\%$ - satisfatório, receberam nota 6; $IIP \geq 1\% \text{ e } < 4\%$ - alerta, obtiveram nota 8; $IIP \geq 4\%$ - risco, tiveram nota 10, a máxima de risco em relação à infestação predial por larvas dos mosquitos *Aedes aegypti* e *Aedes albopictus*.

Tabela 1 – Notas de risco atribuídas às médias do Índice de Infestação Predial - IIP para *Aedes aegypti* por município do TDCPI no período de 2012-2019

MUNICÍPIOS	MÉDIA IIP% <i>Aedes aegypti</i>
	NOTAS (1-10)
Barras	6,0
Batalha	6,0
Brasileira	6,3
Campo Largo do Piauí	6,0
Domingos Mourão	6,3
Esperantina	6,0
Joaquim Pires	6,0
Joca Marques	6,3
Lagoa de São Francisco	7,0
Luzilândia	6,0
Madeiro	6,0
Matias Olímpio	6,8
Milton Brandão	7,0
Morro do Chapéu do Piauí	6,0
Nossa Senhora dos Remédios	6,0
Pedro II	8,0
Piracuruca	6,0
Piripiri	7,3
Porto	6,0
São João da Fronteira	6,8
São João do Arraial	6,0
São José do Divino	6,3

Fonte: SESAPI/LIRAA/Lia (2023/2024). Organização: Os autores (2024).

Tabela 2 – Notas de risco atribuídas às médias do Índice de Infestação Predial - IIP para *Aedes albopictus* por município do TDCPI no período de 2012-2019

MUNICÍPIOS	MÉDIA IIP% <i>Aedes albopictus</i>
	NOTAS (1-10)
Barras	6,0
Batalha	6,0
Brasileira	6,5
Campo Largo do Piauí	6,0
Domingos Mourão	6,0
Esperantina	6,0
Joaquim Pires	6,0
Joca Marques	6,0
Lagoa de São Francisco	6,0
Luzilândia	6,0
Madeiro	6,0
Matias Olímpio	6,0
Milton Brandão	6,0

Morro do Chapéu do Piauí	6,0
Nossa Senhora dos Remédios	6,0
Pedro II	6,0
Piracuruca	6,0
Piripiri	6,0
Porto	6,8
São João da Fronteira	6,0
São João do Arraial	6,0
São José do Divino	6,0

Fonte: SESAPI/LIRAA/Lia (2023/2024). Organização: Os autores (2024).

Na Tabela 3 estão descritas a média total das notas de risco atribuídas às médias anuais de temperatura por município do TDCPI, para o período de 2012-2019, a saber: 26°C (10,0); 27°C (10,0); 28°C (9,0); 29°C (8,0); 30°C (7,0); e < 26°C e > 30°C (6,0).

Tabela 3 – Notas de risco atribuídas às médias anuais de temperatura por município do TDCPI no período de 2012-2019

MUNICÍPIOS	MÉDIA ANUAL TEMPERATURA
	NOTAS (1-10)
Barras	8,7
Batalha	7,5
Brasileira	7,7
Campo Largo do Piauí	9,2
Domingos Mourão	5,9
Esperantina	8,6
Joaquim Pires	8,4
Joca Marques	8,9
Lagoa de São Francisco	7,9
Luzilândia	8,7
Madeiro	9,5
Matias Olímpio	9,1
Milton Brandão	7,6
Morro do Chapéu do Piauí	8,8
Nossa Senhora dos Remédios	9,5
Pedro II	7,7
Piracuruca	7,5
Piripiri	8,0
Porto	9,3
São João da Fronteira	6,2
São João do Arraial	9,4
São José do Divino	6,7

Fonte: Satélite NOAA (2024). Organização: Os autores (2024).

Nos anos da série de estudo foi atribuída nota 10 aos municípios do TDCPI que apresentaram média de temperatura variando de 26°C a 27°C, nota 9 aos que tiveram média de 28°C, nota 8 para os de temperatura de 29°C, nota 7 para os de média anual de temperatura de 30°C e nota 6 para os municípios com médias abaixo de 26°C e acima de 30°C. O critério de nota foi estabelecido de acordo com estudo de Oliveira *et al.* (2004), que aponta que a temperatura ideal para o desenvolvimento do *Aedes aegypti* e do *Aedes albopictus* oscila em torno de 26°C a 28°C, sendo que a faixa de temperatura ótima para a sua proliferação está entre 24°C e 30°C.

Na Tabela 4, estão identificadas a média total das notas de risco atribuídas às médias anuais pluviométricas por município no período de 2012-2019, quais sejam: ≥ 2000 mm, nota 10; ≤ 600 mm, nota 6. Foram atribuídas nota 10 aos municípios do TDCPI que tiveram um acumulado médio anual de chuvas maior ou igual a 2000 mm e nota 6 aos que apresentaram médias anuais iguais ou inferiores a 600 mm durante os oito anos do recorte temporal da pesquisa.

Tabela 4 – Notas de risco atribuídas às médias anuais de pluviometria por município do TDCPI no período de 2012-2019

MUNICÍPIOS	MÉDIA ANUAL PLUVIOMETRIA
	NOTAS (1-10)
Barras	8,5
Batalha	8,4
Brasileira	8,0
Campo Largo do Piauí	8,6
Domingos Mourão	7,5
Esperantina	8,3
Joaquim Pires	8,2
Joca Marques	8,4
Lagoa de São Francisco	8,4
Luzilândia	8,4
Madeiro	8,4
Matias Olímpio	8,5
Milton Brandão	7,3
Morro do Chapéu do Piauí	8,3
Nossa Senhora dos Remédios	8,6
Pedro II	7,4
Piracuruca	7,8
Piripiri	8,1
Porto	8,6
São João da Fronteira	7,6
São João do Arraial	8,5
São José do Divino	8,5

Fonte: Satélite CHIRPS (2024). Organização: Os autores (2024).

Notas de risco baseadas nos achados de Oliveira *et al.* (2004) e Lippi *et al.* (2018) descrevem a pluviometria como crucial para a proliferação de mosquitos como o *Aedes aegypti* e o *Aedes albopictus*, pois chuvas intensas enchem recipientes, criando criadouros. No entanto, esses mosquitos também sobrevivem em períodos de seca, desde que encontrem água parada para reprodução.

A Tabela 5 apresenta a média total das notas de risco atribuídas às médias anuais de umidade relativa do ar por município do TDCPI no período de 2012-2019. Durante cada ano da série de estudo (2012-2019), os municípios com média igual ou superior a 60% obtiveram nota 10, enquanto aqueles com média abaixo desse percentual receberam nota 7. A umidade relativa do ar ideal para a proliferação desses mosquitos é entre 60% e 80% (Oliveira *et al.*, 2004). De acordo com estudos de Ryan *et al.* (2019), altas taxas de umidade podem proporcionar um ambiente mais propício para o desenvolvimento de mosquitos.

Tabela 5 – Notas de risco atribuídas às médias anuais de umidade relativa do ar por município do TDCPI no período de 2012-2019

MUNICÍPIOS	MÉDIA ANUAL UMIDADE RELATIVA DO AR
	NOTAS (1-10)
Barras	10
Batalha	10
Brasileira	10
Campo Largo do Piauí	10
Domingos Mourão	10
Esperantina	9,6
Joaquim Pires	10
Joca Marques	10
Lagoa de São Francisco	10
Luzilândia	10
Madeiro	10
Matias Olímpio	10
Milton Brandão	10
Morro do Chapéu do Piauí	10
Nossa Senhora dos Remédios	10
Pedro II	10
Piracuruca	10
Piripiri	10
Porto	10
São João da Fronteira	10
São João do Arraial	10
São José do Divino	10

Fonte: INMET, Agritempo (2024). Organização: Os autores (2024).

Para atribuição das notas dos parâmetros espectrais de NDVI e NDWI por município do TDCPI utilizou-se as imagens de satélite do ano de 2019 devido a menor presença de nuvens em relação as imagens de 2016. As notas para o NDVI foram atribuídas aos valores de cada pixel se reescalonando os valores de NDVI, onde o menor valor recebeu nota 0 e o maior valor nota 10. E os valores de NDWI foram reescalonados seguindo a mesma lógica, o pixel de menor valor recebeu nota 0 e o de maior valor nota 10.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A noção conceitual de risco à saúde nesta pesquisa está relacionada às chances de ocorrência das arboviroses dengue, chikungunya e zika nos 22 municípios que compõem o Território de Desenvolvimento dos Cocais (TDCPI). Essas probabilidades foram estimadas a partir dos dados do período de 2012 a 2019, conforme Santos e Andrade (2022), e com base nos fatores ambientais de risco selecionados para este estudo. Nesse sentido, para avaliar o risco de transmissão dessas arboviroses, é crucial compreender a importância de alguns elementos relacionados à biologia das arboviroses, observando as correlações entre as diferentes variáveis (índice de infestação, médias de temperatura, pluviometria, umidade relativa do ar, NDVI e NDWI), que são indicadores entomológicos e fatores geográficos (Figura 2) capazes de monitorar e interferir no ciclo biológico do *Aedes aegypti* e *Aedes albopictus*, mosquitos transmissores da doença. Dessa maneira, o mapa de áreas de risco de transmissão de arboviroses do TDCPI (Figura 3) foi gerado a partir de um método multicritério aditivo ou média ponderada (Silva, 2001), método também utilizado por Vasconcelos *et al.* (2006) e Santos, Valladares e Hassum (2019).

Fatores geográficos socioambientais, epidemiológicos e entomológicos identificados pelas fichas dos programas SINAN, SIM e SISPNC, pelos Técnicos da SESAPI e das Secretarias Municipais de Saúde foram observados e validados na pesquisa de campo.

De acordo com Barros *et al.* (2019), Porto *et al.* (2019) e Santos e Andrade (2022), epidemiologicamente no estado do Piauí vários fatores são identificados como determinantes para transmissão das arboviroses, dentre os quais são presentes no Território de Desenvolvimento dos Cocais:

1. A Geografia e o clima tropical da região, que possibilitam a adaptação do vírus, enquanto as altas temperaturas e o índice pluviométrico contribuem na dinâmica dos vetores;

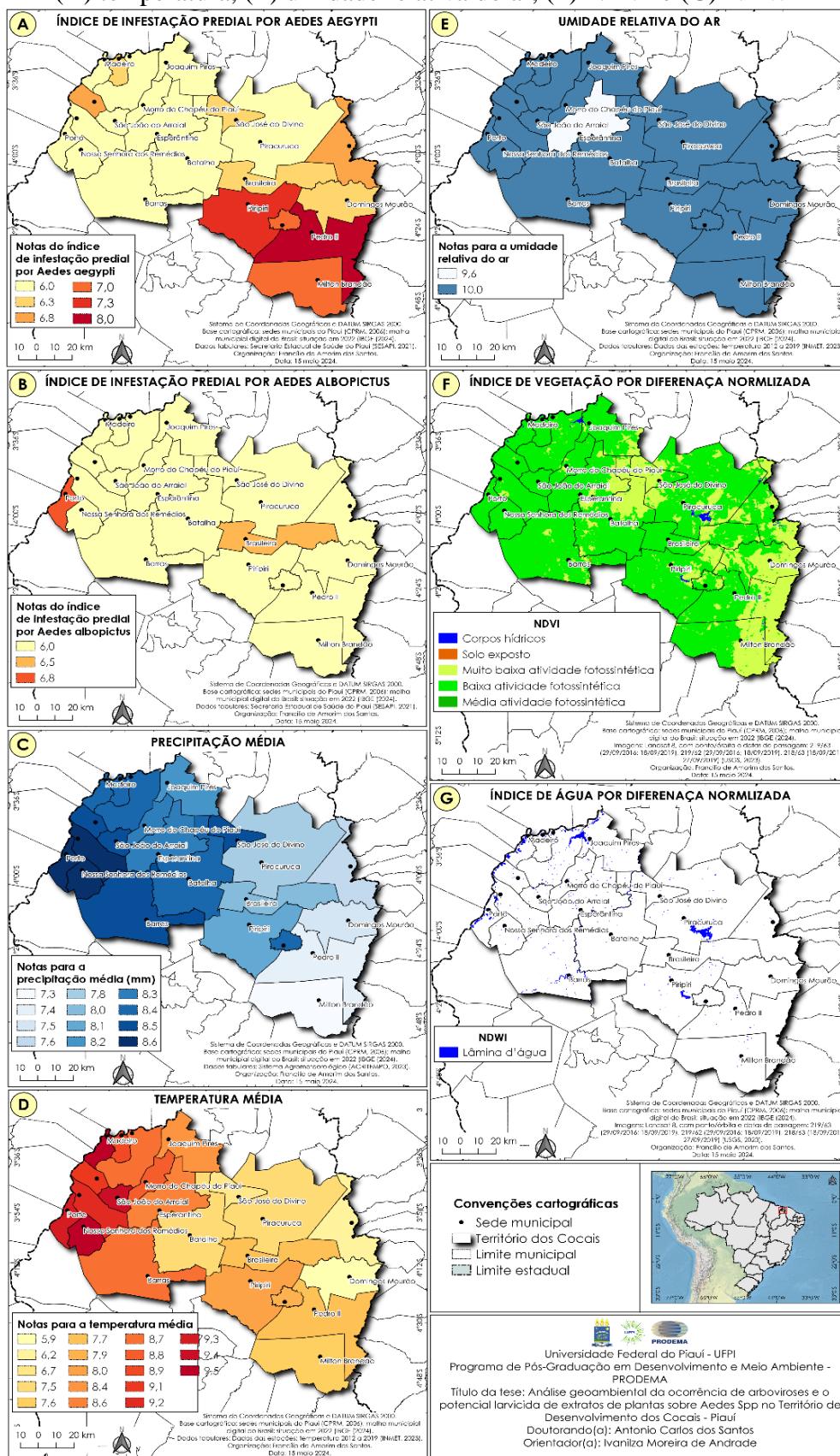
2. A alta densidade populacional em certos municípios do TDCPI pode aumentar a exposição das pessoas ao vetor transmissor, como o *Aedes aegypti*;
3. Fatores ambientais, como falta de saneamento básico e crescimento desordenado, podem favorecer a proliferação do mosquito vetor e a transmissão das arboviroses;
4. O comportamento humano, como o hábito inadequado de armazenar água e a falta de cuidado em trocar água e lavar principalmente os bebedouros de animais duas vezes na semana no mínimo, também, pode contribuir para a disseminação das arboviroses.

Na Figura 2 são apresentados todos os mapas das variáveis empregadas na modelagem espacial para risco da ocorrência de arboviroses, incluindo infestação predial para *Aedes aegypti* e *Aedes albopictus*, média de pluviometria, temperatura, umidade relativa do ar, NDVI e NDWI, com as notas atribuídas, conforme Tabelas de 1 a 7.

No mapa de risco para ocorrência de arboviroses nos 22 municípios do TDCPI, foram identificadas três classes de risco: média, alto e muito alto, conforme demonstrado na Figura 3. É importante destacar que o mapa de distribuição espacial de óbitos dos agravos não foi utilizado na modelagem, somente na validação do mapa de risco. Os resultados obtidos no mapa de áreas de risco de ocorrência de arboviroses são demonstrados nos Quadro 1 e 2.

Analizando os dados do Quadro 1, verificou-se que as classes de médio risco ocupam uma área de 18% do TDCPI. A classe média abrange cerca de 97,3% do perímetro municipal de Domingos Mourão, sem registro de óbitos por arboviroses no período de 2012-2019. Na classe de risco alta, que abrange nove municípios do TDCPI (41% da área), somente o município de Piracuruca registrou um óbito por dengue. A classe de risco muito alta abrange nove municípios (41% do TDCPI), sendo que três tiveram registros de óbitos: Matias Olímpio, com um óbito por chikungunya; Pedro II e Piripiri com um registro de óbito por dengue, no período estudado. Deste modo, a definição de áreas de risco para ocorrência de arboviroses, baseada nos princípios metodológicos da ecodinâmica de Tricart (1977), mostrou-se eficiente através do modelo proposto nos 22 municípios do TDCPI.

Figura 2 – Mapas mostrando as notas de risco atribuídas as variáveis entomológicas e ambientais. (A) IIP% para *Aedes aegypti*, (B) IIP% para *Aedes albopictus*, (C) pluviometria, (D) temperatura, (E) umidade relativa do ar, (F) NDVI e (G) NDWI



Fonte: SESAPI/LIRAA/LIA/NOAA/CHIRPS/INMET/Agritempo (2023). Organização: Os autores (2024).

Quadro 1 – Relação das classes de risco com percentual de área ocupada para transmissão de arboviroses por município do Território de Desenvolvimento dos Cocais – PI com os óbitos

Município	Classes de risco (%)			Óbitos por arboviroses		
	Média	Alta	Muito alta	Dengue	Chikungunya	Zika
Barras	-	1,1	98,9	-	-	-
Batalha	0,5	97,7	1,8	-	-	-
Brasileira	0,4	20,6	79,0	-	-	-
Campo Largo do Piauí	-	1,6	98,4	-	-	-
Domingos Mourão	97,3	0,8	1,9	-	-	-
Esperantina	-	99,0	1,0	-	-	-
Joaquim Pires	0,4	99,3	0,3	-	-	-
Joca Marques	-	99,5	0,5	-	-	-
Lagoa de São Francisco	-	36,2	63,8	-	-	-
Luzilândia	-	98,2	1,8	-	-	-
Madeiro	-	9,3	90,7	-	-	-
Matias Olímpio	-	1,3	98,7	-	1	-
Milton Brandão	-	98,8	1,2	-	-	-
Morro do Chapéu do Piauí	-	3,6	96,4	-	-	-
Nossa Senhora dos Remédios	-	-	100,0	-	-	-
Pedro II	0,5	2,2	97,3	1	-	-
Piracuruca	1,5	98,3	0,3	1	-	-
Piripiri	-	23,4	76,6	1	-	-
Porto	-	0,3	99,7	-	-	-
São João da Fronteira	1,4	98,3	0,2	-	-	-
São João do Arraial	-	1,6	98,4	-	-	-
São José do Divino	0,7	99,3	-	-	-	-

Fonte: SESAPI/SIM (2023). Organização: Os autores (2024).

De acordo com os dados apresentados no Quadro 2, observa-se que cinco municípios que ocupam áreas de risco muito alto para transmissão de arboviroses no TDCPI registraram altas incidências cumulativas de dengue (valores iguais ou superiores a 300 casos por 100.000 habitantes), conforme a classificação epidemiológica do Brasil (2009), no período de 2016-2019. Esse recorte temporal, segundo Santos e Andrade (2022), registrou casos de chikungunya, bem como de zika, a partir de 2016, além dos de dengue, no TDCPI. As classes de risco alto compreendem quatro municípios (18% do TDCPI) com taxas de incidência cumulativa de dengue acima de 200 casos por 100.000 habitantes. O município de Domingos Mourão, onde as classes de risco médio ocupam mais de 90% da sua área, teve registro de incidência cumulativa baixa para dengue.

Quadro 2 – Relação das classes de risco com percentual de área ocupada para transmissão de arboviroses por município do Território de Desenvolvimento dos Cocais – PI com a Incidência Cumulativa 2016-2019

Município	Classes de risco (%)			Incidência Cumulativa 2016-2019		
	Média	Alta	Muito alta	Dengue	Chikungunya	Zika
Barras	-	1,1	98,9	58,6	10,9	2,2
Batalha	0,5	97,7	1,8	208,9	7,6	60,8
Brasileira	0,4	20,6	79,0	220,5	24,5	24,5
Campo Largo do Piauí	-	1,6	98,4	42,3	0	0
Domingos Mourão	97,3	0,8	1,9	93,3	0	0
Esperantina	-	99,0	1,0	48,9	12,9	10,3
Joaquim Pires	0,4	99,3	0,3	42,6	0	7,1
Joca Marques	-	99,5	0,5	75,4	0	0
Lagoa de São Francisco	-	36,2	63,8	378,2	136,2	30,3
Luzilândia	-	98,2	1,8	43,9	0	4
Madeiro	-	9,3	90,7	61,6	0	0
Matias Olímpio	-	1,3	98,7	93,3	214,7	0
Milton Brandão	-	98,8	1,2	168,9	15,4	0
Morro do Chapéu do Piauí	-	3,6	96,4	466,1	15	30,1
Nossa Senhora dos Remédios	-	-	100,0	647,9	0	0
Pedro II	0,5	2,2	97,3	754,4	189,3	10,5
Piracuruca	1,5	98,3	0,3	383,5	21,3	3,6
Piripiri	-	23,4	76,6	156,5	126,1	175,6
Porto	-	0,3	99,7	32,6	8,1	8,1
São João da Fronteira	1,4	98,3	0,2	712,6	1272,5	0
São João do Arraial	-	1,6	98,4	309,6	619,3	38,7
São José do Divino	0,7	99,3	-	457,3	0	0

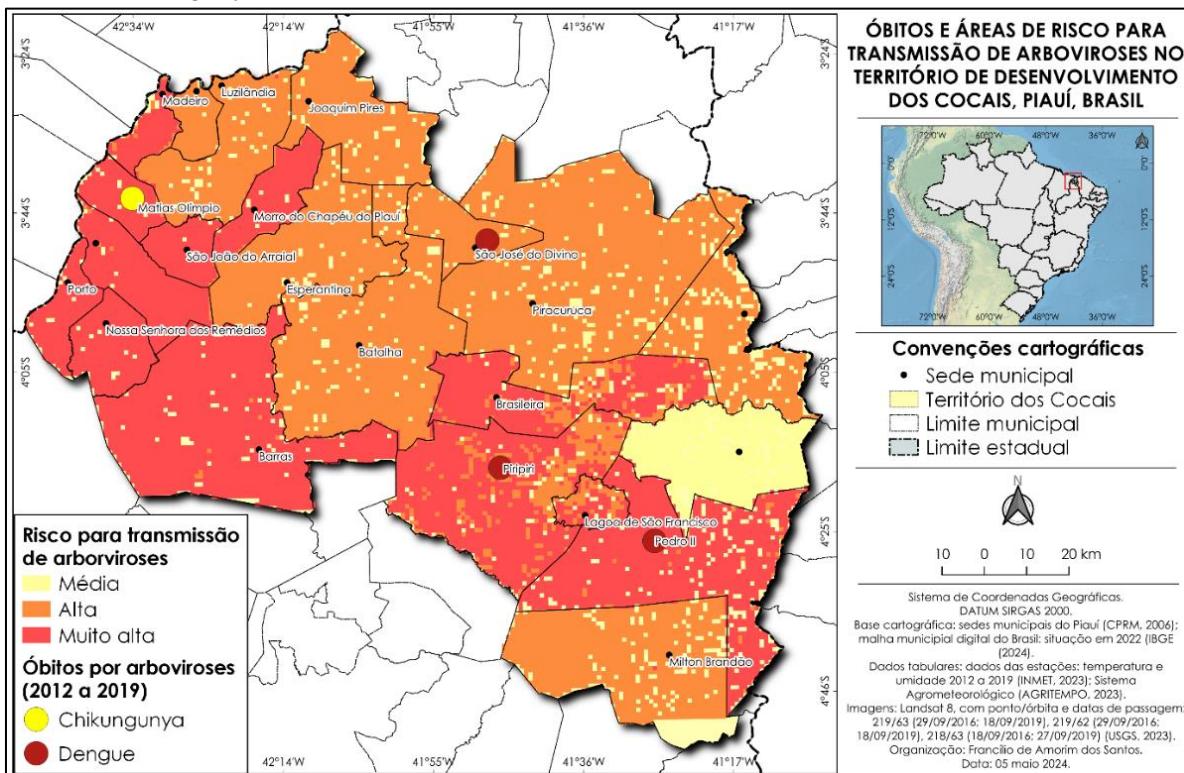
Fonte: SESAPI/SINAN (2023). Organização: Os autores (2024).

Em relação às arboviroses chikungunya e zika, observa-se pelo Quadro 2 que cinco municípios (23% do TDCPI) possuem taxa de incidência cumulativa acima de 100 casos por 100.000 habitantes para chikungunya, considerada de risco epidemiológico de médio a alto segundo Brasil (2009), e concentram-se em áreas de risco muito alto para transmissão no Território dos Cocais. O município de São João da Fronteira (4,5% do TDCPI), localizado em área de risco alto no TDCPI, teve registro de incidência cumulativa alta para febre chikungunya. Somente o município de Piripiri, que possui 76,6% de sua área classificada como de risco muito alto para a transmissão de arboviroses no TDCPI, registrou a taxa de incidência cumulativa de zika vírus de 175,6 casos por 100.000 habitantes, a mais alta no período de estudo para essa arbovirose.

Na Figura 3, além das classes de grau de risco de ocorrência para transmissão de arboviroses nos municípios do território de estudo, apresenta também os óbitos por arboviroses

dengue e chikungunya registrados no período de 2012-2019 no Território de Desenvolvimento dos Cocais, onde os pontos vermelhos representam os óbitos por dengue e o amarelo por febre chikungunya.

Figura 3 – Mapa de risco de ocorrência de arboviroses x número de óbitos de arboviroses (dengue e chikungunya) entre 2012-2019 no Território de Desenvolvimento dos Cocais, Piauí



Fonte: SESAPI/SIM, Satélites NOAA e CHIRPS, Agritempo (2023). Organização: Santos (2024).

As análises do mapa de risco (Figura 3) demonstraram que no Território de Desenvolvimento dos Cocais 75% dos óbitos (três) ocorreram em municípios em áreas de risco "muito alta" para transmissão de arboviroses (Matias Olímpio, Pedro II e Piripiri), enquanto 25% dos óbitos (1 óbito) ocorreram em área de risco "alta" (Piracuruca). A classificação de risco "muito alta" em Matias Olímpio, Pedro II e Piripiri e a ocorrência de óbitos, sugeriu uma correlação direta entre áreas de alto risco e mortalidade. A ausência de óbitos nos outros oito municípios com áreas extensas de risco "muito alta" podem ser atribuídos a fatores como vigilância e controle de vetores eficazes, menor incidência de casos graves ou infraestrutura de saúde adequada. O registro de um óbito em Piracuruca, uma área de risco "alta", mostra que a mortalidade pode ocorrer mesmo em regiões com classificações ligeiramente menores de risco.

Todos os óbitos por arboviroses que ocorreram entre os anos de 2012 e 2019 estão situados nas áreas de alto e muito alto risco para a ocorrência de arboviroses, conforme o modelo multicritério aditivo empregado. Estes resultados indicam que o modelo foi validado e

tem uma alta confiabilidade, com 100% dos óbitos localizados nas áreas de maior risco. Vale ressaltar que a localização dos óbitos não entrou no modelo empregado no mapa de risco, sendo totalmente independentes.

Destaca-se, ainda, que 11 municípios do TDCPI, entre os quais Batalha, Brasileira, Lagoa do São Francisco, Matias Olímpio, Morro do Chapéu, Nossa Senhora dos Remédios, Pedro II, Piracuruca, São João da Fronteira, São João do Arraial e São João do Divino, obtiveram incidências cumulativas ≥ 200 casos por 100.000 habitantes (Quadro 2) e estão em áreas de risco "alta" ou "muito alta". Esses dados reforçam a necessidade de medidas intensificadas de controle e prevenção em áreas de risco "alta" e "muito alta", além de vigilância contínua e gestão eficaz das arboviroses em regiões com menores classificações de risco.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O mapeamento das áreas de risco para transmissão de arboviroses (dengue, chikungunya e zika) no Território de Desenvolvimento dos Cocais revelou importantes conhecimentos sobre a dinâmica de transmissão dessas doenças. A noção de risco à saúde nesta pesquisa está relacionada às chances de ocorrência das arboviroses nos 22 municípios que compõem o TDCPI, com base em dados históricos, epidemiológicos, entomológicos e fatores ambientais.

O mapa de risco foi gerado usando um método multicritério aditivo, levando em consideração variáveis como infestação predial, temperatura média, pluviometria, umidade relativa do ar, NDVI e NDWI. Este modelo mostrou-se eficiente na definição de áreas de risco, validado pela correlação com dados de óbitos e incidências cumulativas de arboviroses.

As classes de risco "alta" e "muito alta" correspondem a áreas com alta incidência cumulativa de dengue (≥ 300 casos por 100.000 habitantes) e maior mortalidade. Matias Olímpio, Pedro II e Piripiri, classificados como risco "muito alta", registraram óbitos por arboviroses, sugerindo uma correlação direta entre áreas de alto risco e mortalidade. A ausência de óbitos em outros municípios de risco "muito alta" pode ser atribuída a fatores como vigilância epidemiológica/ambiental eficazes e infraestrutura de saúde adequada. O registro de um óbito em Piracuruca, uma área de risco "alta", indica que a mortalidade, também, pode ocorrer em regiões com classificações ligeiramente menores de risco.

A distribuição espacial mostra que a classificação de risco identifica eficazmente regiões prioritárias para intervenções. Municípios em risco alto e muito alto necessitam de medidas preventivas e de controle intensificadas, enquanto áreas de risco médio, como Domingos Mourão, requerem monitoramento contínuo, mas menos intervenções emergenciais. Os

resultados enfatizam a importância de intensificar o controle e a prevenção em áreas de risco "alta" e "muito alta", além de manter vigilância contínua e gestão eficaz das arboviroses em regiões com menor risco. O modelo de mapeamento de risco utilizado neste estudo é confiável, com 100% dos óbitos ocorrendo nas áreas de maior risco, validando sua eficácia para orientar políticas de saúde pública no combate às arboviroses no TDCPI.

O uso do Sistema de Informação Geográfica (SIG), técnicas de sensoriamento remoto e Geoprocessamento podem contribuir para o monitoramento de situações de risco, auxiliando nas ações de controle da dengue, chikungunya e zika nas esferas federal, estadual e municipal de governo. Essas ferramentas são particularmente úteis em regiões de risco ambiental e epidemiológico significativo, onde ações específicas de proteção e assistência às populações mais vulneráveis podem ser priorizadas. Recomenda-se que os órgãos de gestão em saúde, especialmente nos municípios que compõem o Território de Desenvolvimento dos Cocais, invistam na implementação dessas tecnologias, adquirindo equipamentos e capacitando técnicos.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA FILHO, N.; ROUQUAYROL, M. Z. **Introdução a epidemiologia moderna.** [S. l.]: ABRASCO, 1990.
- BARRETO, M. L.; ALVES, P. C. O coletivo versus individual na epidemiologia: contradição ou síntese? In: COSTA, M. F. L; SOUZA, R. P. (org.). **Qualidade de vida:** compromisso histórico da epidemiologia. Belo Horizonte: Coopmed, 1994. p.129-136.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância Epidemiológica. **Diretrizes nacionais para prevenção e controle de epidemias de dengue.** Brasília: Ministério da Saúde, 2009.
- CAMARGO JÚNIOR, J. B. D.; VITORINO FILHO, V. A.; PIRES, S. R. I.; VIVALDINI, M. Utilização da Coopetição na Gestão de Riscos em Cadeias de Suprimentos. **Enanpad**, [S. l.], v. 13, p. 1-16, 2013.
- CARDOSO, C. W.; PAPLOSKI, I. A.; KIKUTI, M.; RODRIGUES, M. S.; SILVA, M. M.; CAMPOS, G. S.; SARDI, S. I.; KITRON, U.; REIS, M. G.; RIBEIRO, G. S. *Outbreak of Exanthem Associated with Zika, Chikungunya, and Dengue Viruses, Salvador, Brazil.* **Emerg Infect Dis**, [S. l.], v. 21, n. 12, p. 2274-2276, dez. 2015.
- CASTRO, C. M.; PEIXOTO, M. N. O.; RIO, G. A. P. Riscos ambientais e geografia: conceituações, abordagens e escalas. **Revista Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro, v. 28, n. 2, p. 11-30, 2005. Disponível em: http://www.anuario.igeo.ufrj.br/anuario_2005/Anuario_2005_11_30.pdf. Acesso em: 14 mar. 2024.

CASTRO, M. C.; WILSON, M. E.; BLOOM, D. E. Disease and economic burdens of dengue. *The Lancet. Infectious diseases*, [S. l.], v. 17, n. 3, p. 70–78, 2017. Disponível em: [https://www.thelancet.com/journals/laninf/article/PIIS1473-3099\(16\)30545-X/abstract](https://www.thelancet.com/journals/laninf/article/PIIS1473-3099(16)30545-X/abstract). Acesso em: 14 mar. 2024.

CAVALCANTI, A. P. B. **Métodos e técnicas da pesquisa ambiental**. Teresina: UFPI/CCHL/DGH, 2006.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; AZEVEDO, L. G.; DUARTE, V.; HERNANDEZ, P.; GOMES, E. G.; ESTELLITA LINS, M. P. *Integrating Geographical Information Systems and Multi-criteriaMethods: a case study. Annals of Operations Research*, [S. l.], v. 116, p. 243-269, 2002.

EMPRESA BRASILEIRA DE AGROPECUÁRIA. Sistema de Monitoramento Agrometeorológico. **Estatísticas**: dados de precipitação e temperatura para 2012 a 2019. [2023?]. Disponível em: <http://sisdagro.inmet.gov.br/sisdagro/app/climatologia/bhclimatologicomensal/index>. Acesso em: 16 set. 2023.

GOMES, E. G.; ESTELLITA LINS, M. P. *Integrating Geographical Information Systems and Multi-criteria Methods: a case study. Annals of Operations Research*, [S. l.], v. 116, p. 243-269, 2002.

GUBLER, D. J. *Dengue, Urbanization and Globalization: The Unholy Trinity of the 21(st) Century. Tropical medicine and health*, [S. l.], v. 39, n. 4, p. 3-11, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.2149/tmh.2011-S05>. Acesso em: 14 mar. 2024.

GUZMAN, M. G.; HARRIS, E. Dengue. *Lancet*, London, England, v. 385, n. 9966, p. 453–465, 2015. Disponível em: [https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736\(14\)60572-9/abstract](https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(14)60572-9/abstract). Acesso em: 15 mar. 2024.

HASSUM, I. C.; VALLADARES, G. S. **Pedologia e SIG na estimativa de áreas de risco de contaminação por Schistosoma mansoni na Bacia do Rio Coruripe, Alagoas**. Campinas: CNPM, 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo demográfico - 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **Tabela de dados das estações para umidade relativa do ar**: série histórica de 2012 a 2019, [2023?]. Disponível em: <http://sisdagro.inmet.gov.br/sisdagro/app/climatologia/bhclimatologicomensal/index>. Acesso em: 16 set. 2023.

LIMA CAMARA, T. N.; LIMA, J. W. D. O.; MONTARROYOS, U. R.; GUEDES, D. R. D. *Social and environmental determinants of the population vulnerability to arbovirus infections in the tropical zone: A case-control study in northeast Brazil. International Journal of Environmental Research and Public Health*, [S. l.], v. 15, n. 7, p. 1483, 2018.

LIPPI, C. A. M.; NETTO, S. A. S.; BRITO, S. M. S.; MOREIRA, H. C.; LIMA, J. F.; GOMES, R. G. F.; ZANELLA, L. F. *Rainfall, abundance of Aedes aegypti and dengue infection in the*

State of Amazonas, Brazil. Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical, [S. l.], v. 51, n. 1, p. 47-51, 2018.

LONGLEY, P. A.; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W. *Geographic information science and systems*. 4. ed. Hoboken: Wiley, 2015.

LUIZ, O. C.; COHN, A. Sociedade de risco e risco epidemiológico. **Revista Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 11, p. 2339-2348, 2006.

OLIVEIRA, R. L.; VASCONCELOS, P. F. C.; OLIVEIRA, G. M. R. V.; GONÇALVES, J. I.; SILVA, A. M. V. Ecologia e controle do *Aedes aegypti* no Brasil. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, [S. l.], v. 37, n. 3, p. 191-198, 2004.

PIALOUX G, GAÜZÈRE, B. A. JAURÉGIBERRY, S. STROBEL, M. Chikungunya, anepidemicarbovirosis. **Lancet Infect Dis**, [S. l.], v. 7, n. 5, p. 319-327, 2007. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17448935/>. Acesso em: 14 mar. 2024.

PIAUÍ. Leis, decretos, etc. Lei Complementar nº 87, de 22 de agosto de 2007. Estabelece o planejamento participativo para o desenvolvimento sustentável do Estado do Piauí e dá outras providências. Diário Oficial do Estado do Piauí, Teresina, 22 ago. 2007.

PIAUÍ. Secretaria de Estado de Planejamento – SEPLAN/Fundação CEPRO. **Compatibilização entre Territórios de Desenvolvimento e Instâncias de Gestão Regionais:** Nota Técnica. Teresina – PI. 2017.

RIBEIRO, M. S.; FERREIRA, D. F.; CAMPOS AZEVEDO, R. C.; SANTOS, G. B. G.; MEDRONHO, R . A. Índices larvais de *Aedes aegypti* e incidência de dengue: um estudo ecológico no Estado do Rio de Janeiro, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, [S. l.], v. 37, n. 7, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0102-311X00263320>. Acesso em: 29 set. 2023.

RYAN, S. J.; CARLSON, C. J.; MORDECAI, E. A.; JOHNSON, L. R. Global expansion and redistribution of *Aedes*-borne virus transmission risk with climate change. **PLoS Negl Trop Dis**, [S. l.], v. 13, n. 3, 2019. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0007213>. Acesso em: 14 mar. 2024.

SANTOS, A. C.; ANDRADE, I. M. Distribuição espacial e temporal da ocorrência de arboviroses no território de desenvolvimento dos Cocais (Piauí). **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, [S. l.], v. 13, n. 8, p. 48-64, 2022. Disponível em: DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2022.008.0004>. Acesso em: 14 mar. 2024.

SANTOS, A. C.; ANDRADE, I. M.; VALLADARES, G. S. Aspectos geoambientais e a transmissão de arboviroses no Território de Desenvolvimento dos Cocais – PI. **Contribuciones A Las Ciencias Sociales**, [S. l.], v. 17, n. 5, [S.p.], 2024. Disponível em: <https://ojs.revistacontribuciones.com/ojs/index.php/clcs/article/view/6981>. Acesso em: 10 mar. 2025.

SANTOS, A. C.; CAVALCANTI, A. P. B. Análise do Controle Ambiental realizado no Igapó Mirandinha, Boa Vista - RR, 1999. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 7, n. 20, p. 53-61, 2007.

SANTOS, A. C.; SANTOS, J. P. Estudo Geoespacial da Prevalência da Leishmaniose Visceral Americana no Bairro Promorar, Teresina-Piauí, 2000/2004. **Hygeia**, Uberlândia, v. 7, n. 13, p. 83-93, 2011.

SANTOS, A. C.; VALLADARES, G. S. ; HASSUM, I. C. Método multicritério aditivo no mapeamento das áreas de risco para transmissão de malária em Campo Largo do Piauí e Porto, Piauí, Brasil., **Caminhos da Geografia**, Uberlândia, v. 29, p. 300-316, 2019.

SANTOS, A. C.; VALLADARES, G. S.; HASSUM, I. C. Distribuição espaço-temporal da malária no Piauí de 2002 a 2013. **Hygeia**, Uberlândia, v. 11, p. 1-19, 2015.

SANTOS, L. B. **Contribuição às estratégias de prevenção e controle da dengue, chikungunya e zika no município de Cruz das Almas-BA**. Dissertação (Mestrado em Gestão de Políticas Públicas e Segurança Social) - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2018.

SANTOS, M. **A Natureza do Espaço: Técnica e Tempo, Razão e Emoção**. São Paulo: Edusp, 2006.

SILVA, J. X. V. **Geoprocessamento para Análise Ambiental**. Rio de Janeiro, Ed. do Autor, 2001.

SOUZA, F. W; GABRIEL, Í. W. M. **Estratégias efetivas em Educação em Saúde desenvolvidas junto à população Idosa com diagnóstico de Chikungunya**. 2023. Trabalho de Conclusão do Curso (Especialização em Vigilância e Cuidado em Saúde no Enfrentamento da Covid-19 e de outras doenças virais) – Fiocruz Mato Grosso do Sul. Campo Grande, 2023.

SOUZA, S. S. da; 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.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, 1977.

UNITED STATES GEOLOGICAL SERVICE - Serviço Geológico dos Estados Unidos. **Collection:** Landsatarchive, [2023?]. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 16 set. 2023.

VALLADARES, G. S.; FARIA, A. L. L. SIG na análise do risco de salinização na bacia do Rio Coruripe, AL. **Engevista**, [S. l.], v. 6, p. 86-98, 2004.

VALLADARES, G. S.; GUIMARÃES, M; BATISTELLA, M. **Susceptibilidade à erosão das terras na Região Oeste do Estado da Bahia. Campinas**: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2002. (Comunicado Técnico 10).

VALLADARES. G. S.; HASSUM, I. C.; ALBUQUERQUE. E. L. S.; SANTOS, A. C. Influência de variáveis ambientais na ocorrência da dengue utilizando geoprocessamento em Teresina, Piauí. **Hygeia**, v. 15, n. 34, p. 102-114, 2019. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/hygeia>. Acesso em: 5 jun. 2020.

VASCONCELOS, C. H.; NOVO, E. L. M.; DONALISIO, M. R. Uso do sensoriamento remoto para estudar a influência de alterações ambientais na distribuição da malária na Amazônia brasileira. Rio de Janeiro, **Caderno de Saúde Pública**, v. 22 n. 3, p. 517-526, 2006.

WEAVER, S. C.; LECUIT, M. Chikungunya virus and the global spread of a mosquito-borne disease **The New England Journal of Medicine**, [S. l.], v. 372, n. 13, p. 1231-1239, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1056/NEJMra1406035>. Acesso em: 15 mar. 2024.

WHO. World Health Organization. **Arthropod-borne and rodent-borne viral disease**, 1985 Disponível em: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/40293/1/WHO_TRS_721.pdf .Acesso em: 10 mar. 2016.

WIKAN, N.; SMITH, D. R. Zika virus: history of a newly emerging arbovirus. **The Lancet Infectious Diseases**, [S. l.], v. 16, n. 7, p. 119–126, 2016. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(16\)30010-X](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(16)30010-X). Acesso em: 15 mar. 2024.