

**SAÚDE AMBIENTAL: AVALIAÇÃO DA QUALIDADE AMBIENTAL DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE, BRASIL, UTILIZANDO O MODELO FPSEEA**

**ENVIRONMENTAL HEALTH: ASSESSMENT OF THE ENVIRONMENTAL QUALITY IN THE STATE OF RIO GRANDE DO NORTE, BRAZIL, USING THE DPSEEA MODEL**

**Amanda Nogueira Medeiros**

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Biociências, Natal, RN, Brasil  
[amanda.nogueiram@gmail.com](mailto:amanda.nogueiram@gmail.com)

**Rafaela dos Santos Costa**

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Biociências, Natal, RN, Brasil  
[rafaela.costa.bio@live.com](mailto:rafaela.costa.bio@live.com)

**Simone Martinelli (*In memoriam*)**

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Biociências, Natal, RN, Brasil

**Agustina Marconi**

University Health Services, University of Wisconsin, Madison, WI, United States  
[agusmar74@gmail.com](mailto:agusmar74@gmail.com)

**Carlos Castillo Salgado**

Johns Hopkins Bloomberg School of Public Health, Department of Epidemiology, Baltimore, MD, United States  
[ccastil3@jhu.edu](mailto:ccastil3@jhu.edu)

**Julio Alejandro Navoni**

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Biociências, Natal, RN, Brasil.  
[navoni.julio@gmail.com](mailto:navoni.julio@gmail.com)

**RESUMO**

O conceito de saúde ambiental considera a interação entre o ser humano e o meio ambiente, onde desequilíbrios ambientais podem gerar impactos negativos na saúde pública. O estado do Rio Grande do Norte (RN) possui características socioambientais que indicam potencial de desenvolvimento, mas também enfrenta desafios decorrentes da intensificação das atividades humanas. Este trabalho objetivou descrever o cenário socioambiental do estado do Rio Grande do Norte mediante a implementação do modelo FPSEEA e analisar a influência da qualidade ambiental sobre o perfil sanitário da sua população. O referencial teórico foi estruturado com base no modelo Força Motriz-Pressão-Situação-Exposição-Efeito-Ação (FPSEEA). Foram utilizadas 37 variáveis socioeconômico-ambientais para a construção de um Score de Impacto Ambiental (SIA), que permitiu caracterizar a deterioração da qualidade ambiental como fator de risco para problemas sanitários. Os resultados apontaram a associação entre baixa qualidade ambiental e doenças como arboviroses, acidentes com animais peçonhentos, doenças respiratórias e câncer. Com base nos achados, foram propostas ações voltadas à prevenção, otimização de recursos em saúde e mitigação de fatores relacionados à degradação ambiental.

**Palavras-chave:** Perfil sanitário. Impactos ambientais. Saúde ambiental. Método FPSEEA.

**ABSTRACT**

The concept of environmental health encompasses the interaction between human beings and the environment, wherein environmental imbalances can lead to adverse impacts on public health. The state of Rio Grande do Norte (RN) presents socio-environmental characteristics that indicate potential for development, yet it also faces challenges stemming from intensified human activities. This study aimed to describe the socio-environmental landscape of Rio Grande do Norte through the implementation of the DPSEEA model and to analyze the influence of environmental quality on the health profile of its population. The theoretical framework was based on the Driving Force-Pressure-State-Exposure-Effect-

Action (DPSEEA) model. A total of 37 socio-environmental variables were used to construct an Environmental Impact Score (EIS), which enabled the characterization of environmental degradation as a risk factor for health problems. The results revealed an association between poor environmental quality and the incidence of diseases such as arboviral infections, envenomations by venomous animals, respiratory illnesses, and cancer. Based on these findings, actions were proposed to promote prevention, optimize health resources, and mitigate factors related to environmental degradation.

**Keywords:** Health profile. Environmental impacts. Environmental health. DPSEEA method.

## INTRODUÇÃO

A degradação dos compartimentos ambientais desencadeia consequências a saúde das populações em todo o mundo. A qualidade ambiental é um fator determinante para o desenvolvimento social e econômico da sociedade, impactando diretamente nas condições de vida das pessoas (Mujan *et al.*, 2019). As preocupações com a saúde ambiental podem ser informadas através de dados empregados no desenvolvimento de indicadores de saúde ambiental e sistemas de vigilância (Ivancko *et al.*, 2021).

Nos anos mais recentes, no entanto, a escala e a complexidade dos problemas de saúde ambiental tornaram-se mais aparentes. Entender sobre a saúde ambiental, tida, nesse contexto, como constituída por todos aqueles aspectos da saúde humana, incluindo a qualidade de vida, que estão determinados por fatores físicos, químicos, biológicos, sociais e psicológicos no meio ambiente, é de grande relevância. A saúde ambiental também se refere à teoria e à prática de valorar, corrigir, controlar e evitar fatores do meio ambiente que possam prejudicar a saúde de gerações atuais e futuras (WHO, 1999).

Assim, a saúde humana em suas dimensões individual e coletiva, surge como um especial foco de atenção visto que não pode ser tratada como dissociada do bem-estar e das mudanças socioambientais e seus impactos nos ecossistemas, de modo que, mesmo efeitos sobre a saúde mensuráveis, podem desencadear múltiplas interações nas diversas escalas espaciais e temporais, envolvendo desde mudanças ambientais que alteram a distribuição e comportamento dos vetores e hospedeiros resultando em doenças e pandemias como a de COVID-19, até mesmo eventos como secas e enchentes que poderão ocasionar doenças oriundas da má qualidade da água para o consumo humano e condições precárias de saneamento (Barouki *et al.*, 2021). Essas condições estruturais e de saneamento, por exemplo, podem favorecer a ocorrência de alagamentos e acúmulo de água, que podem resultar em epidemias de dengue (Coalson *et al.*, 2021) ou, ainda, em uma determinada região ocorrer um aumento mensurável na poluição do ar e este fato gerar efeitos diretos na saúde das pessoas, como aumento nos casos de problemas respiratórios (Manisalidis *et al.*, 2020). Logo, têm-se aí a importância de estudos nessa temática.

Dentre diversos modelos empregados para estudos nessa vertente, o desenvolvido pelo PNUMA (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente), OMS (Organização Mundial da Saúde) e EPA (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos), vem sendo implementado por pesquisadores de todo o mundo. Este modelo considera as diferentes exposições dos seres humanos aos agentes/impactos ambientais e descreve seus possíveis efeitos sobre a saúde, organizado em forma de sistema com as componentes denominadas Força Motriz, Pressão, Situação, Exposição, Efeito e Ação (FPSEEA) (Carneiro *et al.*, 2006; Hambling *et al.*, 2011). A presente abordagem conceitual possui uma estrutura teórica maleável para ser adaptada de acordo com as circunstâncias do cenário objeto de estudo (WHO, 1999). Desta maneira, a avaliação integrada das características ambientais na saúde é um meio de identificar problemáticas e impactos sanitários de políticas e intervenções que afetam o meio ambiente, considerando a interdisciplinaridade, complexidades e incertezas ambientais (Lehner *et al.*, 2019).

A região semiárida brasileira, incluindo grande parte do Nordeste onde está inserido estado do Rio Grande do Norte que é objeto do presente estudo, caracteriza-se por apresentar altas temperaturas e escassez hídrica durante a maior parte do ano. Essas condições climáticas extremas resultam em paisagens áridas e semiáridas, com vegetação predominante de bioma caatinga (Da Costa *et al.*, 2021a; IBGE, 2022). Devido a estas circunstâncias de irregularidade na distribuição espaço-temporal

das chuvas com escassez hídrica e características geológicas locais, parte da população pode estar enfrentando desafios significativos relacionados à saúde ambiental.

Portanto, a necessidade de estudos de saúde ambiental é urgente para compreender e abordar os impactos dessas condições climáticas e ambientais na saúde das pessoas que habitam esta importante região brasileira, além de servir como subsídio para políticas públicas nessa vertente. Diante da carência de pesquisas que integrem a qualidade ambiental e seus possíveis desfechos sanitários direcionados para subsidiar o planejamento e tomada de decisões em saúde ambiental, o objetivo desse trabalho foi descrever o cenário socioambiental do estado do Rio Grande do Norte mediante a implementação do modelo FPSEEA e analisar a influência da qualidade ambiental sobre o perfil sanitário da sua população.

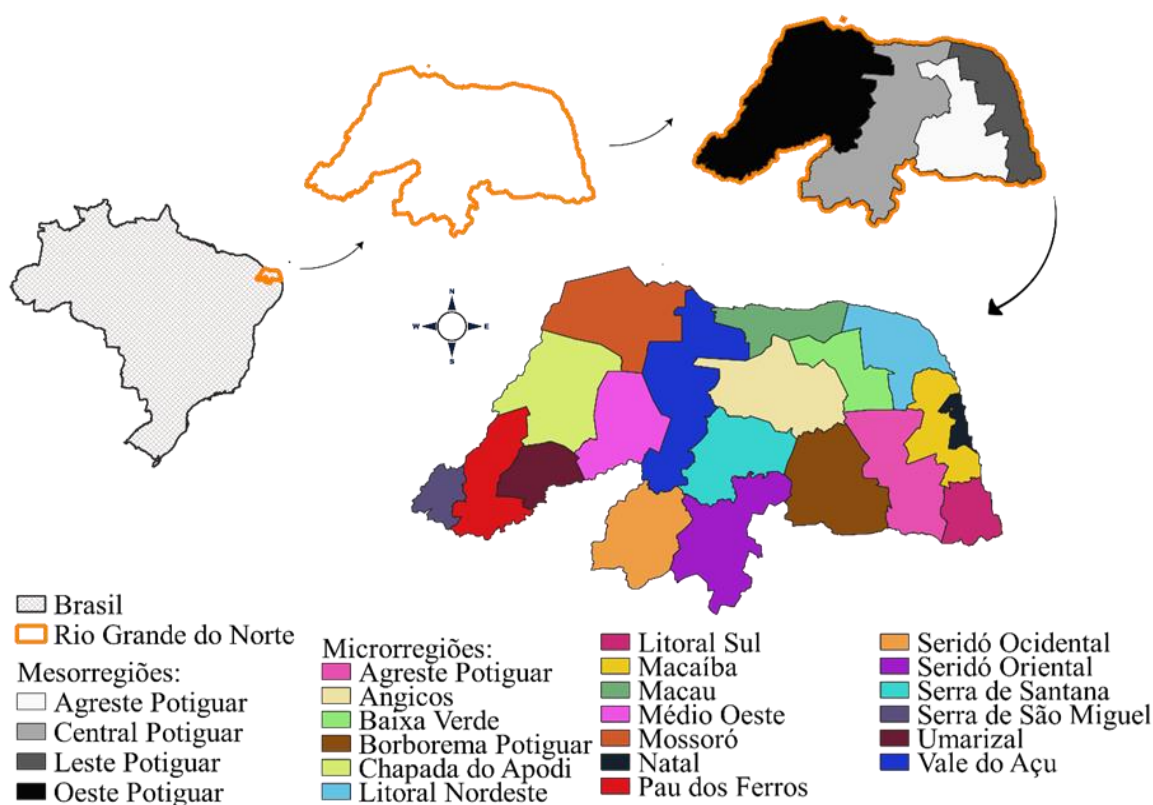
## METODOLOGIA

### Área de estudo

O Estado do Rio Grande do Norte (RN) está situado na Região Nordeste do Brasil e possui, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2022), distribuída entre seus 167 municípios organizados em 4 mesorregiões e 19 microrregiões (Figura 1) (Dos Reis Batista; Endlich, 2022). A descrição detalhada das microrregiões com especificação de todos os municípios componentes está contida no Material Suplementar desse manuscrito.

O estado comporta uma população de 3.302.406 habitantes e uma área territorial de 52.809,599 km<sup>2</sup>, sendo 815,53 km<sup>2</sup> de área urbanizada (IBGE, 2022) e tem a maioria seu território inserido no semiárido nordestino brasileiro (Marengo *et al.*, 2011; Martins; Magalhães; Fontenele, 2017). O estado apresenta um Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) considerado alto (0,728), com uma incidência de pobreza extrema de 9,4% (IBGE, 2022).

Figura 1 – Microrregiões do estado do Rio Grande do Norte



Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados disponíveis pelo IBGE, 2024.

## O Modelo FPSEEA

A implementação do Modelo FPSEEA, criado pela *World Health Organization* - WHO (1999) objetiva fornecer uma abordagem integrada para análise da saúde ambiental em toda sua cadeia causal (Brasil, 2011). As componentes do modelo FPSEEA são: Força Motriz (F), que se refere aos fatores que motivam e impulsionam os processos ambientais envolvidos; Pressão (P), que descreve a influência antrópica sobre o meio ambiente; a componente Situação (S) descreve a frequência ou magnitude dos desastres naturais, a disponibilidade e qualidade dos recursos naturais e/ou os níveis de poluição ambiental; e a Exposição (E) refere-se à intersecção entre as pessoas e os perigos inerentes ao meio ambiente e a quantidade do poluente na interface entre o receptor e o meio ambiente. O Efeito (E) descreve as possíveis consequências da exposição que podem variar em tipo, intensidade e magnitude, dependendo do perigo associado, do nível de exposição e do número de pessoas envolvidas e a Ação (A) envolve a proposição de políticas econômicas e sociais, monitoramento, mitigação e gestão ambiental, entre outras (WHO, 1999).

## Coleta de dados

As unidades de análise para o estudo da saúde ambiental adotadas foram todos os municípios do estado do Rio Grande do Norte organizados por microrregiões (MIRs) por guardar relativa uniformidade no padrão geográfico de distribuição populacional e de ocupação do solo.

Primeiramente, a escolha dos dados foi realizada a partir de levantamento bibliográfico sobre o tema, através de buscas em publicações científicas e arquivos, além de informações em órgãos/bancos de dados *on-line* públicos (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística- IBGE, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada-IPEA, Federações das Indústrias do Estado do Rio Grande do Norte-FIERN, Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Rio Grande do Norte-PERS-RN, Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa -SEEG, Serviço Florestal Brasileiro, Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte-EMPARN, Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento-SNIS, Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia-LABREN e o Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde-DATASUS). As variáveis selecionadas foram baseadas no conceito (WHO, 1999) de cada componente do modelo e seguindo delineamentos descritos previamente por outros autores (Freitas; Giatti, 2009; Pinto; Pires, 2012; Maria; Medeiros-Sousa; Slovic, 2019).

Um total de 37 variáveis descritoras a nível municipal, foram coletadas e agrupadas em microrregiões (Material Suplementar) para a análise mediante o modelo conceitual FPSEEA como se descreve a seguir:

**Força-Motriz:** População, Pessoal Ocupado, Matrículas no Ensino Fundamental, Matrículas no Ensino Médio, PIB *per capita*, IDH municipal e Índice de GINI; **Pressão:** Densidade demográfica, Área urbanizada, Rebanho de Grande Porte, Rebanho de Médio Porte, Rebanho de Pequeno Porte, Emissão de CO<sub>2</sub> pelos resíduos, Emissão de CO<sub>2</sub> energeticamente e Quantidade de Resíduos Gerados; **Situação:** População em domicílios com abastecimento de água e esgotamento sanitário inadequados, População que vive em domicílios urbanos sem o serviço de coleta de lixo, Estabelecimentos de Saúde SUS, Florestas naturais, Renda *per capita* dos vulneráveis à pobreza, Arborização de vias públicas, Quantidade de indústrias, População atendida com abastecimento de água, População atendida com esgotamento sanitário; **Exposição:** Índice de atendimento da população total com rede de água, Precipitação anual, Irradiação solar anual por município, Incidência das análises de cloro residual fora do padrão na água de abastecimento, Incidência das análises de turbidez fora do padrão na água de abastecimento, Incidência das análises de coliformes totais fora do padrão na água de abastecimento; **Efeito:** Casos de Dengue, Doenças diarreicas, Doenças respiratórias, Acidentes por animais peçonhentos, Internações por câncer, Taxa de óbitos por doenças respiratórias e Taxa de óbitos por câncer.

Em razão da não disponibilização de dados secundários ultra recentes pelos bancos de dados virtuais acima descritos, o que pode ser uma limitação do estudo, foi necessário ajustar a seleção, visto que mesmo assim empregou-se neste trabalho as variáveis mais atuais e completas possíveis com a perspectiva de conceder robustez a metodologia selecionada e aplicada que viabilizou a consecução do objetivo do presente estudo.

Finalmente, as Ações (proposição/definição de áreas prioritárias para a implementação de medidas

de mitigação), foram baseadas nos resultados da análise descritiva inferencial realizada.

### **Análise de dados**

Numa primeira instância, o modelo conceitual FPSEEA foi estudado mediante uma análise descritiva de suas componentes das 19 microrregiões. Posteriormente, cada uma das componentes: (F), (P), (S) e (E) foi analisada multivariadamente municipalmente mediante análise *cluster* hierárquico utilizando como métrica a distância euclidiana quadrática e como método de clusterização o método de Ward. Desta maneira, foram gerados cinco *clusters* para dada dimensão e os resultados obtidos na classificação foram georepresentados. Em seguida, todas as variáveis em conjunto foram integradas numa métrica construída utilizando uma análise de componentes principais (ACP) pelo método de rotação Oblimin. O modelo foi refinado através da exclusão de variáveis que apresentassem cargas fatoriais menores a 0,3. A adequação do conjunto de dados foi definida pelo teste de Kaise-Meyer-Olkin (>0,6) e teste de esfericidade de Bartlett ( $p < 0,05$ ). O critério de seleção dos componentes foi realizado através do gráfico de sedimentação, e autovalores maiores que 1.

Depois, foi construído um Score de Impacto Ambiental (SIA) utilizando-se a seguinte equação:

$$SIA = \sum_{i=1}^n cp * ve$$

onde:

$cp$ = valor do  $i$ -ésimo componente principal em cada unidade experimental (município)

$ve$ = variância explicada mediante o  $i$ -ésimo componente principal

Finalmente, o SIA foi utilizado como descritor da influência da qualidade ambiental sobre o perfil sanitário representado na componente Efeitos (E) para cada um dos despechos considerados por meio de um Modelo Linear Generalizado (GzLM). A tal fim, foram considerados três tipos de distribuição das variáveis dependentes: Poisson, Poisson com sobredispersão e Binomial Negativa. A aderência do modelo escolhido foi avaliada com base no estimador *Akaike Information Criterion* (AIC) que apresentasse o menor valor. Diferenças estatisticamente foram consideradas significativas quando  $p < 0,05$ . A análise estatística foi realizada utilizando o *software* Jamovi versão 2.3.28 e a representação geoespacial mediante o uso do *software* QGIS versão 3.22.6.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

As informações coletadas para as distintas componentes do modelo FPSEEA foram descritas e analisadas nas dimensões local e regional (município e microrregiões) respectivamente (Figura 2).

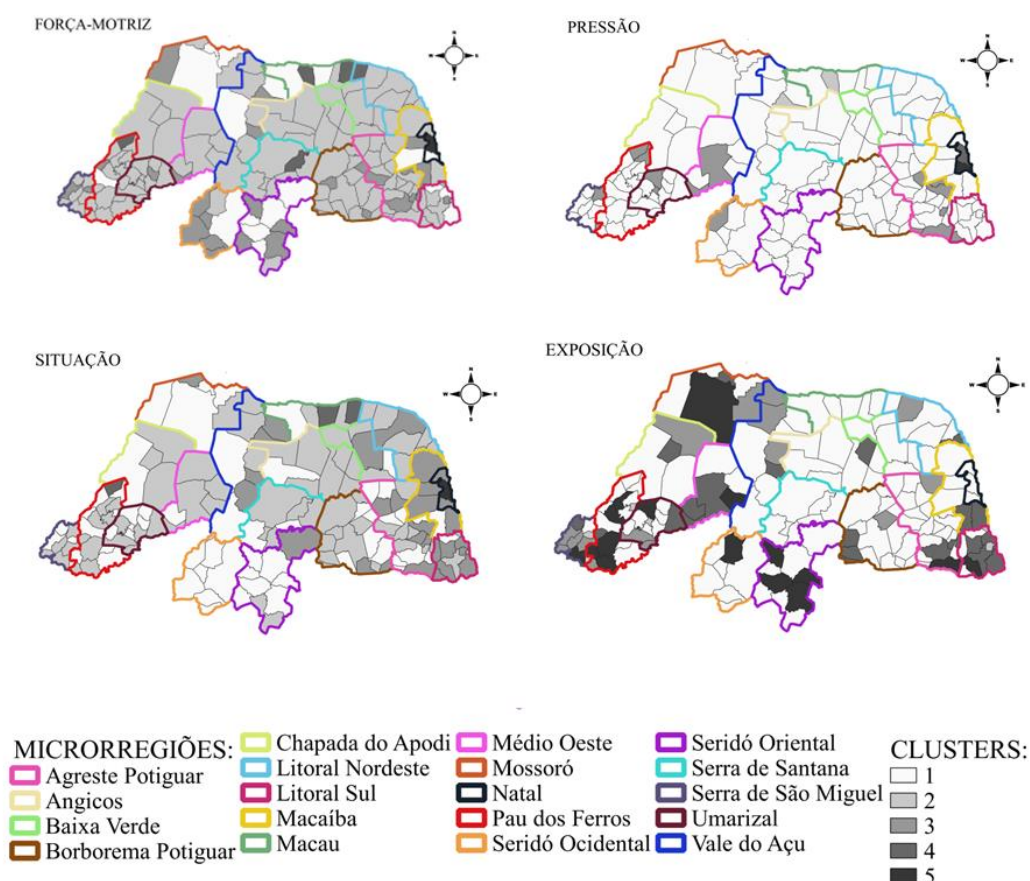
Em termos do eixo Força-motriz (F), o maior desenvolvimento urbano encontra-se concentrado na microrregião (MIR) Natal por ser composta pela capital do estado e cidades metropolitanas, enquanto a menor média populacional esteve localizada na MIR Umarizal descrevendo um amplo intervalo de condições e consequências decorrentes do impacto do desenvolvimento antrópico sobre a qualidade ambiental. Outra característica considerada foi a quantidade de matrículas no ensino fundamental e ensino médio como representação dos recursos destinados na educação por sua importância para o desenvolvimento (Vieira; Vidal; Queiroz, 2021). As MIRs Seridó Ocidental e Macau foram as que apresentaram o menor número de matrículas para ensino fundamental e médio respectivamente enquanto existe uma inversão de hierarquia se e considerada esta última desde a perspectiva do PIB per capita apresentando os valores máximos descritos do estado particularmente associado a ser Macau um polo da indústria petrolífera, salineira e carcinicultura (Santos et al., 2016). A MIR Serra de São Miguel apresentou o menor PIB, possivelmente associado ao fato que a maioria de suas rendas são advindas de transferências públicas, tais como aposentadorias e beneficiários de programas assistenciais (Oliveira, 2013).

Enquanto as MIR Natal apresentaram o melhor Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), as MIRs e Litoral Nordeste e Baixa Verde apresentaram os menores valores. Já o índice de GINI, que descreve o nível de desigualdade de renda, a MIR Seridó Ocidental apresentou as menores discrepâncias



enquanto as regiões mais desenvolvidas os maiores valores, caracterizando pela desigualdade apresentada em grandes centros urbanizados (Silva, 2003). Além disso, a literatura reporta as desigualdades socioespaciais desse município em relação à renda (Barbosa et al., 2019).

Figura 2 – Mapas dos clusters espacializados para os eixos equivalentes de análise perante as microrregiões do estado do Rio Grande do Norte



Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

No tocante a Pressão (P), a concentração produtiva bem como a dinâmica do processo de urbanização define os fatores que pressionam o meio ambiente (Da Silva, 2013). Em contraposição ao observado em MIR desenvolvidas tais como Natal, Mossoró e Macaíba, os locais antropicamente menos pressionados estiveram na região Angicos e Borborema Potiguar.

Considerando os impactos ambientais da atividade pecuarista, os maiores deste fator de antropização foram descritos na MIR Agreste Potiguar (grande porte), MIR Médio Oeste (médio porte) e MIR Natal (pequeno porte). Cabe destacar que apesar dos rebanhos fornecerem suporte à estrutura da cadeia produtiva estadual, a atividade exerce impactos na degradação do bioma caatinga (Chaves *et al.*, 2021) que é predominante, em cerca de 90%, no território do Rio Grande do Norte (Marengo; Cunha, Alves, 2016).

No quesito geração de resíduos, observou-se que a MIR Litoral Sul se destacou proporcionalmente. Sobre os dados de emissão de CO<sub>2</sub> pelos resíduos (Efluentes líquidos, resíduos sólidos, tratamento de efluentes líquidos), a MIR Macaíba foi a menor e as MIRs Seridó Oriental e Ocidental as maiores.

Já a emissão de CO<sub>2</sub> energeticamente (Emissões fugitivas e queima de combustíveis), a MIR Serra de Santana e Seridó Ocidental foram as menores e a MIR Macau foi a maior, fato que pode ser devido as intensas atividades salineiras e exploração petrolífera na região. Em razão disso, pode começar a apresentar problemas relacionados aos centros urbanos em expansão, como à poluição atmosférica, e seus efeitos respiratórios relacionados à exposição da população a contaminantes/poluentes emitidos por fontes diversas, incluindo veículos automotores. Esta exposição pode ocasionar um aumento no registro de doenças respiratórias e óbitos oriundos de enfermidades do trato respiratório (Surendran *et al.*, 2016; De Oliveira Musse *et al.*, 2018).

Para o eixo Situação (S), áreas mais urbanizadas como os grandes centros populacionais apresentaram a menor proporção de população com serviços de saneamento básico insatisfeito tais como abastecimento de água e esgotamento sanitário. Por exemplo, no âmbito índice de atendimento da população total com rede de água, o menor reportado foi na MIR Serra de São Miguel e o maior registro foi na MIR Macau.

Por outro lado, a população atendida com esgotamento sanitário, foi menor na MIR Macaíba, que inclusive é composta por cinco cidades da região metropolitana da capital Natal, e maior na MIR Macau. Esse cenário é congruente com o descrito previamente por Ferreira e colaboradores (2023). As áreas menos atendidas nestes quesitos foi a MIR Baixa Verde, ratificando as condições descritas por Barreto (2016). Em relação à cobertura de coleta de resíduos urbanos, as MIR Macau e MIR Umarizal apresentaram os maiores e menores percentuais de atendimento neste contexto, corroborando o representado em outros estudos (Santos *et al.*, 2011, Brasil, 2020).

A acessibilidade a estrutura sanitária em termos de saúde pública foi analisada mediante a quantidades de estabelecimentos de saúde do Sistema Único de Saúde – SUS. A MIR Pau dos Ferros teve a maior média enquanto a MIR Natal teve a menor quantidade.

Outra característica considerada neste componente foi a qualidade ambiental representada mediante áreas verdes. A MIR Angicos apresentou a maior cobertura a expensas de coberturas por matas, associado a presença do Pico do Cabugi, por ser uma área de proteção permanente, além de seu impacto no desenvolvimento turístico da região (Rocha; Nascimento, 2007).

Já a MIR do Agreste Potiguar teve a menor cobertura florestal, possivelmente associada as atividades agropecuárias (Silva, 2014). No que diz respeito a Arborização de vias públicas, os maiores valores foram descritos na MIR Seridó Ocidental e menor na MIR Natal. Em termos de industrialização, as microrregiões, na qual os menores registros foram na MIR Angicos e os maiores na MIR Natal. Outro indicador considerado neste componente foi a renda *per capita* dos vulneráveis à pobreza, onde os maiores valores foram descritos nas áreas mais urbanizadas e os menores na MIR Litoral Nordeste. Este fato como todos os decorrentes da urbanização desorganizada leva a geração de zonas marginais com carências nas condições socioeconômicas e estruturais (Silva, 2019).

Sobre as variáveis elencadas para a Exposição (E), o índice de atendimento da população total com rede de água foi maior na MIR Natal e menor na MIR Serra de São Miguel. Especula-se que por ser a MIR Natal composta pela capital do estado do RN, ela possui maior planejamento/infraestrutura e consequente melhores condições de distribuição de água para seus habitantes.

As taxas pluviométricas extremas do estado estiveram presentes nas MIR Macau e Serra de São Miguel (mínimo e máximo respectivamente. Em contraste, os níveis de irradiação natural mínima e máxima foram descritos nas MIR Agreste Potiguar e na MIR do Médio Oeste respectivamente. Desde a perspectiva do desenvolvimento, essa característica é importante para o desenvolvimento de geração de energia limpa mediante instalações fotovoltaicas (Moraes *et al.*, 2022).

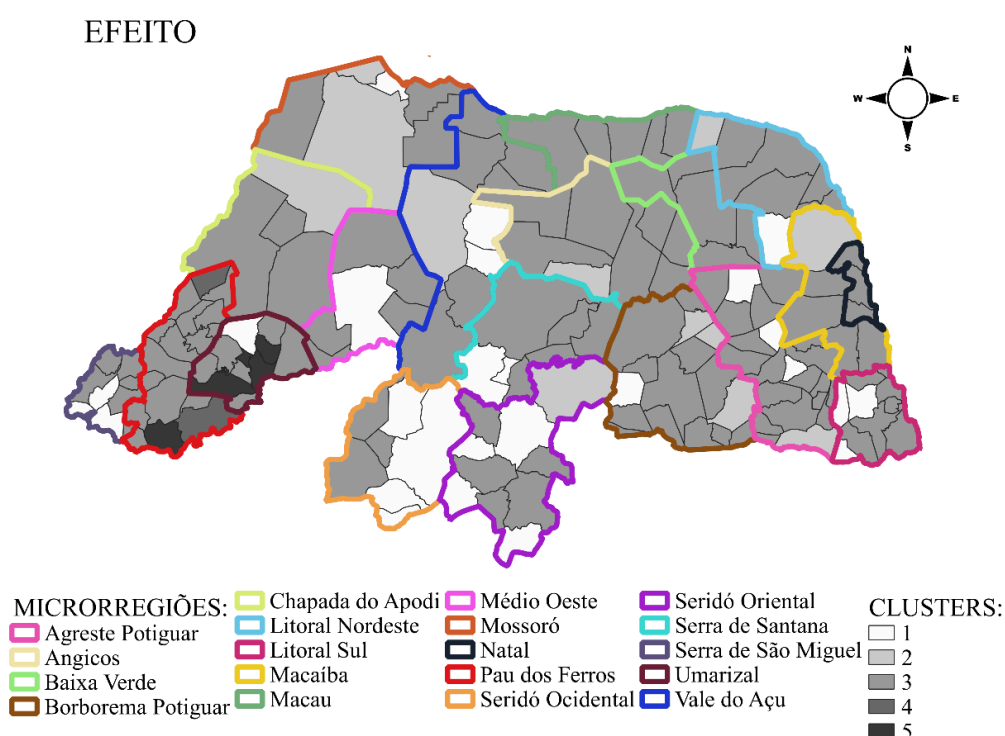
Em contrapartida, esse fator pode conceder viabilidade climática para a ocorrência de doenças tropicais como a dengue (Novais, 2017) e, ainda, desenvolvimento de câncer de pele (Mesquita *et al.*, 2020). A qualidade da água de abastecimento também foi considerada nesse estudo. Para potabilização, existem parâmetros de qualidade que o tratamento de água precisa atender de modo a garantir segurança sanitária: cloro residual livre, turbidez e coliformes totais. Esses parâmetros são relevantes, pois, no Brasil, para assegurar a qualidade da água ser potável, a qual precisa atender aos padrões de qualidade estabelecidos pela Portaria N° 888/2021 do Ministério da Saúde (Brasil, 2021).

Com base nos dados de amostras com cloro residual fora do padrão, o maior registro foi na MIR

Litoral Sul 18 vezes maior que na MIR Macau, que apresentou a menor frequência de violações neste aspecto. Por outro lado, a Incidência das análises de turbidez fora do padrão foi menor na MIR Macaíba e maior na MIR Seridó Oriental. E para coliformes totais MIR Litoral Nordeste e já a Seridó Oriental se destacou pela elevada ocorrência de coliformes gerando riscos à saúde para a população dos municípios dessa MIR (De Souza; Cavalcanti; Aguiar, 2021).

A seleção dos efeitos sanitários (Figura 3) considerados neste estudo foi baseada nas características socioambientais descritas anteriormente e a dinâmica destas para sua instauração.

Figura 3 – Mapa dos clusters espacializados para o eixo Efeitos equivalentes de análise perante as microrregiões do estado do Rio Grande do Norte



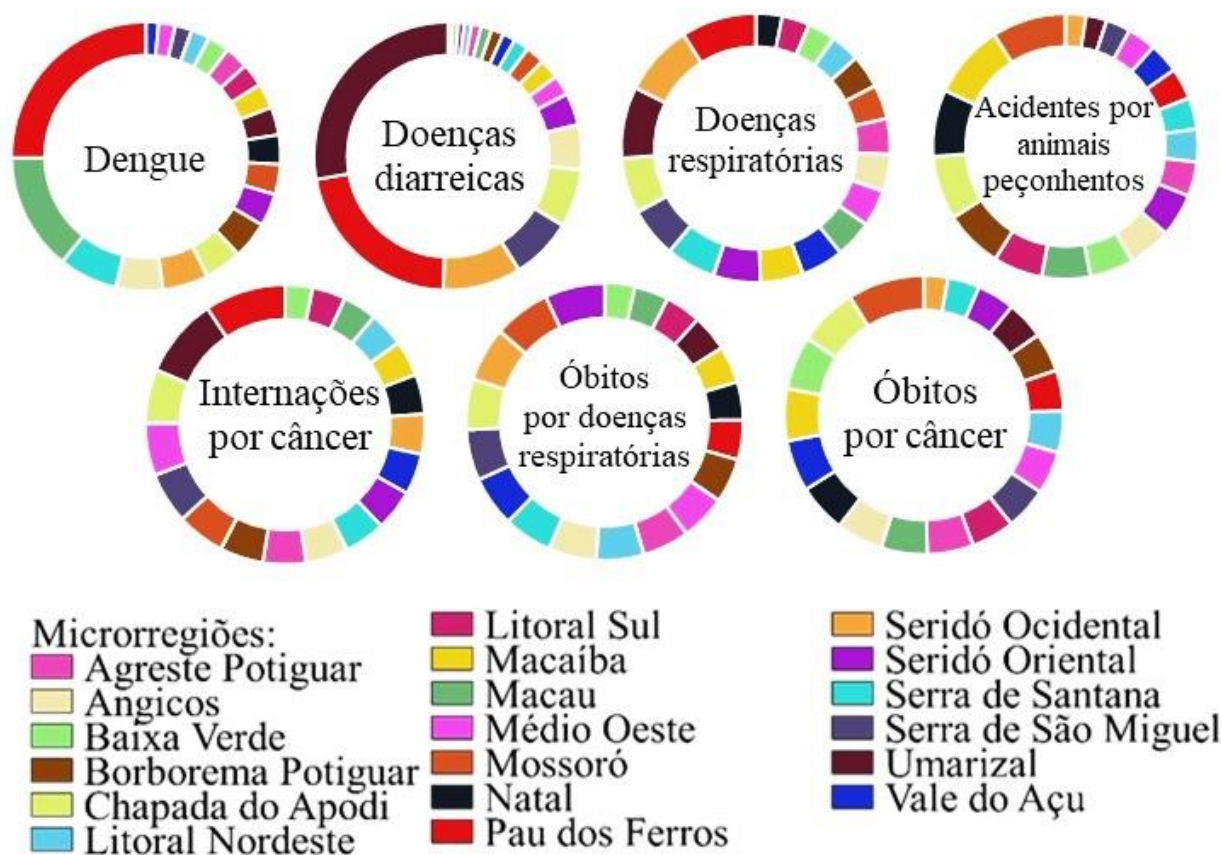
Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

Por exemplo, a dengue, causada por um arbovírus, é uma doença que tem como vetor o mosquito *Aedes aegypti*, com predominância da propagação e progressão em regiões tropicais e subtropicais. Particularmente as aglomerações urbanas, aliado ao acúmulo de precipitações com água parada e resíduos sólidos não dispostos adequadamente, são fatores importantes para o aumento dos casos de dengue (Silva *et al.*, 2020).

No presente estudo (Figura 4), a MIR Vale do Açu ( $\bar{X}=3,38$ ) teve o menor valor médio e as MIRs Pau dos Ferros ( $\bar{X}=56,37$ ) e Macau ( $\bar{X}=31,61$ ) tiveram os maiores registros médios anuais de dengue nos últimos 5 anos considerados neste trabalho. Esses dados retomam a atenção para os municípios que compõem essas microrregiões localizadas no centro norte e oeste do estado pela ocorrência da dengue e demais arboviroses.



Figura 4 – Registros das componentes doenças do eixo Efeitos do modelo FPSEEA selecionadas para o estado do Rio Grande do Norte



Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

Em contrapartida, localidades com precárias condições principalmente de saneamento, a má qualidade hídrica, associada a outros fatores ambientais, podem favorecer a ocorrência de doenças diarreicas, que, nesse estudo, foram registradas em menor valor na MIR Natal ( $\bar{X}=5,12$ ) valor médio superado em mais de quarenta vezes nas MIRs Pau dos Ferros ( $\bar{X}=207,71$ ) e Umarizal ( $\bar{X}=266,80$ ), fato relacionado com os períodos de estiagem característicos de clima semiárido, que favorecem a má qualidade da água consumida pela população dos municípios e que, além de deficiências de planejamento urbano-regional, econômico e consequentemente da falta de ações efetivas por parte dos governantes (Souto *et al.*, 2019).

Desde a perspectiva ambiental, as doenças respiratórias estão estreitamente associadas a ambientes atmosféricamente poluídos (Shen *et al.*, 2024). As menores taxas de doenças respiratórias foram observadas na MIR Natal ( $\bar{X}=110,54$ ) em contraste com o observado nas MIRs Pau dos Ferros ( $\bar{X}=315,86$ ) e Seridó Ocidental ( $\bar{X}=300,71$ ).

Como mencionado anteriormente, uma forma de representar o impacto antrópico do desenvolvimento sobre o ambiente e através da aferição das emissões de CO<sub>2</sub> o que está atrelado a maiores riscos do desenvolvimento com ambientes poluídos atmosféricamente (Torres *et al.*, 2020). Por exemplo, enquanto as menores taxas de óbitos por doenças respiratórias foram observadas na MIR Baixa Verde ( $\bar{X}=8,22$ ), os maiores valores encontraram-se associados a ambientes mais desenvolvidos antropicamente tais como as MIR Seridó Oriental ( $\bar{X}=16,31$ ) e Mossoró ( $\bar{X}=15,57$ ). Nestas últimas MIRs registraram-se maiores médias de emissão de CO<sub>2</sub> descrevendo regiões mais desenvolvidas como uma pressão favorável a ocorrência desde doenças do aparelho respiratório.

Outra característica sanitária associada a mudanças nas condições ambientais são o incremento na distribuição geográfica e consequente taxa de acidentes por animais peçonhentos (Martinez *et al.*, 2024). A menor frequência registrada foi no MIR Seridó Ocidental ( $\bar{X}$ =34,66) e maiores nas MIRs Macaíba ( $\bar{X}$ =124,37) e Mossoró ( $\bar{X}$ =124,48). Mudanças do habitat dos insetos/animais envolvidos neste tipo de acidentes consequência de uma maior urbanização e/ou as mudanças climáticas contribuem a explicar a ocorrência acrescentada de acidentes (da Silva *et al.*, 2017) Cordeiro; Almeida, da Silva, 2021).

Ainda sobre os efeitos, destaca-se o câncer. O câncer é uma doença crônica multifatorial, que pode ter inúmeras causas desde como susceptibilidade genética, mas que fatores ambientais tem um papel fundamental tais como o tabagismo, as exposições ocupacionais a substâncias, a exposição ambiental a radionuclídeos naturais e exposição a material particulado entre outros (Souza *et al.*, 2019; Lima *et al.*, 2021). Pela sua relevância e complexidade esta doença demanda investimentos elevados ao setor público (Tibes, 2024). Considerando o número de internações por câncer como indicador da ocorrência desta doença, a MIR Baixa Verde apresentou o menor número ( $\bar{X}$ =18,08) enquanto MIR Pau dos Ferros ( $\bar{X}$ = 526,96) e Umarizal ( $\bar{X}$ = 517,64) obtiveram as maiores médias. Os casos de câncer que evoluíram para óbitos foram maiores nas MIRs Mossoró ( $\bar{X}$ =6,63) e Chapada do Apodi ( $\bar{X}$ =5,09), e menores registros na MIR Seridó Ocidental ( $\bar{X}$ =2,06).

A fim de obter uma visão unificada da qualidade ambiental do estado do RN, uma redução dimensional do conjunto de variáveis utilizadas na confecção do modelo FPSEEA foi realizada por meio de uma análise de componentes principais com rotação Oblimin. A adequação das informações ao modelo foi verificada através do teste de esfericidade de Barlett ( $X^2_{(253)} = 2642$ ,  $p < 0,001$ ). A otimização do modelo foi realizada mediante a remoção de variáveis que apresentassem baixas cargas fatoriais menores a 0,3. A melhora do modelo foi constatada mediante o aumento do valor do teste Kaise-Meyer-Olkin, obtendo-se uma pontuação superior a 0,6 ratificando a utilidade do modelo. Os valores das pontuações e variâncias explicadas para cada componente principal definida foram utilizados para a construção de um score de qualidade ambiental (Tabela 1).

Tabela 1 – Análise fatorial exploratória

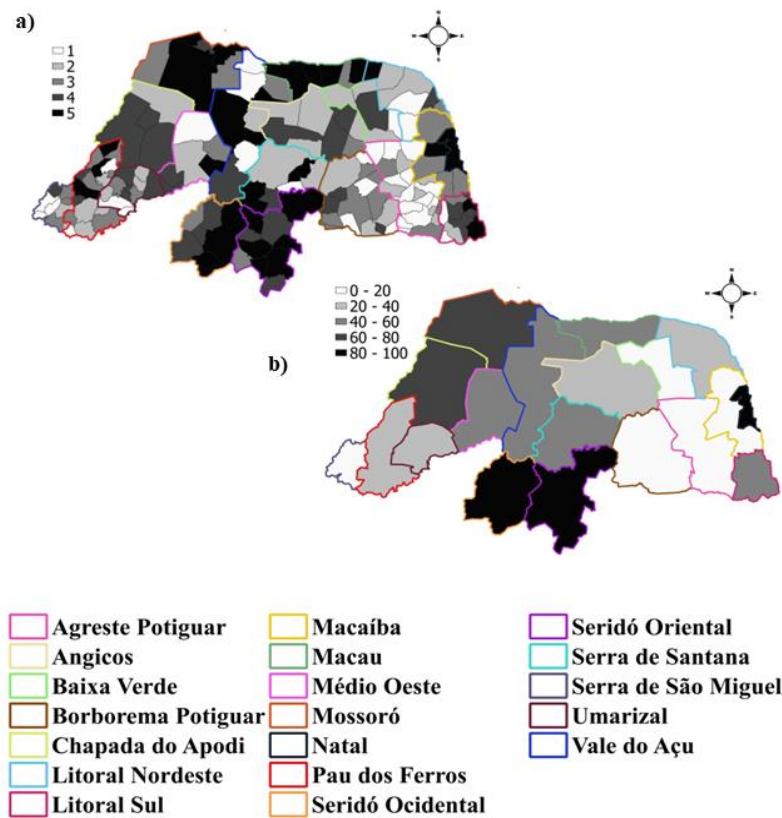
Pesos das Componentes									
	Componente								
	1	2	3	4	5	6	7	8	Singularidade
DDEMOG	0.996								0.0498
IND	0.997								0.0458
POP	0.979								0.0187
AREA_URB	0.799								0.1703
M_EF		0.826							0.2103
M_EM		0.774							0.3512
QUANT_RES		0.694							0.4471
REN_VUL			0.868						0.1741
IDH			0.792						0.1881
POP_ABAE			-0.757						0.3657
P_AGUA				0.938					0.1479
I_A				0.876					0.1591
ARBO					0.754				0.2951
EST_SUS		0.402			0.614				0.4195
CAB_MP					0.546				0.3941
CAB_GP						-0.819			0.1980
PER_FR						0.817			0.2343
INC_COLIT							0.800		0.3080

Pesos das Componentes								
Componente								
INC_CLO						0.785		0.2712
INC_TUR						0.447		0.6125
PIB							0.735	0.3101
POP_SLIX							-0.622	0.4818
P_OCUP							0.572	0.2152
Valor próprio	3.82	2.37	2.34	1.79	1.68	1.67	1.61	1.65
% de Variância total	16.62	10.33	10.17	7.78	7.32	7.26	6.98	7.16
% acumulada	16.6	26.9	37.1	44.9	52.2	59.5	66.5	73.6

Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

Na Figura 5 são representados os resultados do score de impacto ambiental por município (5a) classificados em cinco níveis: 1 referente ao 1º quintil como menor impacto até o 5 referente à 5º quintil como maior degradação e impacto ambiental. Já a figura (5b) representa o percentual de municípios por microrregião com índices mais elevados de impacto ambiental calculados considerando o somatório de municípios por microrregião com scores SIA 4 e 5 (aquelas com piores condições ambientais).

Figura 5 – Representação do SIA



Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

Oito microrregiões apresentaram uma porcentagem superior a 50% de municípios classificados com os maiores scores de impacto ambiental. MIR Macau e Litoral Sul com 60% de municípios com score elevado associados ao maior antropismo resultante das intensas atividades industriais no primeiro caso e o desenvolvimento de atividades turísticas desordenadas e falta de gestão no saneamento básico desses municípios. Estudos prévios realizados no estado demonstraram altos níveis de trihalometanos, substâncias com poder citotóxico e mutagênico (formadas pela interação entre o cloro e matéria orgânica) em água de consumo humano (Medeiros *et al.*, 2019).

As MIR Seridó Ocidental e Oriental exibiram score 85,71% e 90%, respectivamente. Em consonância ao descrito na MIR litoral Sul, o nível de emissões em conjunto com a má qualidade na água destinada ao abastecimento público contribuiu para atingir esses níveis de classificação. Por fim, destaca-se que a MIR Natal apresentou um score de 100%, associado ao fato de possuir alta densidade populacional, menor acesso a estabelecimentos de saúde públicos do SUS, menor arborização de vias públicas e maior quantidade de indústrias, salientando que todos os fatores supracitados se devem ao fato dessa MIR ser composta pela capital do estado e municípios metropolitanos que apresentam problemas ambientais relacionados ao crescimento urbano desordenado dos últimos anos.

Estudos recentes têm demonstrado a associação da perda de serviços ecossistêmicos sobre a dinâmica de doenças transmitidas por vetores e patógenos (Roma; Viana, 2023). Consequentemente, as mudanças ambientais desencadeadas pelo processo de urbanização são características de impactos ambientais que pressionam para a ocorrência de doenças emergentes e reemergentes saturando a capacidade do sistema de saúde (Meira; Navoni, 2022).

Para compreender como a qualidade ambiental, representada pelo SIA, descreve o comportamento dos desfechos considerados neste trabalho, foi realizado um modelo linear generalizado (GzLM) considerando como covariante o SIA e como variáveis dependentes cada um dos efeitos (doenças) elencados no modelo conceitual FPSEEA. Na Tabela 2, têm-se os parâmetros estimados de cada modelo. Em todos os casos uma distribuição binomial negativa apresentou a melhor aderência (menor valor de AIC).

Os desfechos doenças diarreicas, óbitos por causas respiratórias e óbitos por câncer não apresentaram uma relação com o índice utilizado como descritor da qualidade ambiental. No entanto, a ocorrência de dengue foi relacionada com a qualidade ambiental descrita pelo índice SIA ( $X^2$ : 15,03; df:1;  $p<0,001$ ). Um aumento médio de 41% da ocorrência de casos por unidade de SIA foi descrito.

A ocorrência de doenças respiratórias também apresentou relação com a qualidade ambiental ( $X^2$ : 3,80; df:1;  $p<0,05$ ). Acréscimos de 8% por cada unidade de SIA foram descritos. A morbidade por câncer seguiu um mesmo padrão ( $X^2$ : 7,83; df:1;  $p<0,005$ ) e 9% de acréscimo por cada unidade de aumento no SIA foi corroborada. Finalmente, a frequência de acidentes por animais peçonhentos também foi influenciada pela qualidade ambiental ( $X^2$ : 15,60; df:1;  $p<0,001$ ). Um aumento de 25% por cada unidade de deterioração de qualidade ambiental foi observado (Tabela 2).

Tanto os casos de dengue quanto os acidentes por animais peçonhentos apresentaram uma relevância transiente estimada pelo modelo estatístico utilizado em comparação à morbidade por doenças respiratórias e morbidade por câncer. Estas diferenças podem estar associadas a deterioração ambiental, ou decorrente da dinâmica de desenvolvimento dos desfechos. Por exemplo, a eclosão do vetor *Aedes aegypti* esteve diretamente relacionada com água parada decorrente de período chuvoso e a falta de investimento em saneamento básico que contribui com consequente água parada fatos diretamente associados com maior intensidade de chuvas o que favorece o acúmulo de água em locais inadequados e consequentemente, os surtos de dengue observados (SESAP-RN, 2024).

Por outro lado, o aquecimento global vivenciado e o desenvolvimento regional podem ter algum tipo de influência na ocorrência desta e outras doenças vetorizadas por mosquitos, bem como também outras problemáticas decorrentes da degradação ambiental. Por exemplo, o aumento da temperatura associada a invasão em termos de uso e ocupação, particularmente de áreas rurais, leva a uma migração de certas espécies. No âmbito de acidentes por animais peçonhentos, Da Costa *et al.*, (2021b) demonstraram a influência da exploração agrícola sobre a taxa de especificamente, acidentes ofídicos, em áreas periurbanas e urbanas na área objeto deste estudo, ratificando a influência da qualidade ambiental sobre seus desdobramentos no contexto sanitário. Além disso, é importante



preciso considerar outros cenários ambientais relacionados a doenças que precisam de um tempo prolongado para sua instauração, tais como doenças respiratórias e câncer de distintos tipos (Souto, 2020).

Tabela 2- Estimativas de parâmetros do modelo linear generalizado (GzLM) usando distribuição Binomial negativa

Desfecho	Regressor	Estimativa	SE	exp(B)	95% Exp(B) Intervalo de confiança		p
					Inferior	Superior	
DENG	SIA	0.340	0.0844	1.41	1.17	1.73	< .001
D RESP	SIA	0.0813	0.0386	1.08	1.000	1.18	0.035
D_DIAR	SIA	-0.207	0.105	0.813	0.651	1.07	0.051
ANIM_PE	SIA	0.223	0.0562	1.25	1.11	1.42	< .001
MORB_CA	SIA	0.0842	0.0313	1.09	1.02	1.16	0.007
OB_RESP	SIA	0.00103	0.0305	1.00	0.942	1.06	0.973
OB_CA	SIA	0.174	0.121	1.19	0.938	1.51	0.153

Nota: DENG: Casos de Dengue; D RESP: Doenças respiratórias; D\_DIAR: Doenças diarreicas; ANIM\_PE: Acidentes por animais peçonhentos; MORB\_CA: Internações por câncer; OB\_RESP: Taxa de óbitos por doenças respiratórias; OB\_CA: Taxa de óbitos por câncer; SIA: Score Impacto Ambiental; SE: Erro padrão

Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

Nesse contexto, destaca-se a MIR Mossoró, exibindo 66,67% de seus municípios apresentando scores de maior degradação ambiental. Como foi descrito anteriormente, uma associação do nível de impacto da qualidade ambiental com a ocorrência de doenças respiratórias e câncer foi observado. Um padrão similar de óbitos causados por câncer foi observado da MIR Chapada do Apodi, que apresentou um score de 75%. As altas taxas de óbitos por doenças respiratórias, e casos de câncer com evolução para óbitos foram registradas nessa região.

Assim, a implementação do modelo FPSEEA descreveu regiões da área objeto de estudo, o estado do Rio Grande do Norte como áreas de prioridade para a implementação de medidas de mitigação e/ou redução dos riscos (Ações (A)), considerando os desfechos sanitários. Desta maneira, este estudo elencou várias regiões de relevância para a implementação de medidas de saúde pública, particularmente aquelas que não são contemplados como centros urbanos de prioridade (como os da MIR Natal) pelo seu desenvolvimento social e econômico.

Por exemplo, salienta-se as MIRs Pau dos Ferros (Alexandria, Francisco Dantas, Itaú, José Da Penha, Marcelino Vieira, Paraná, Pau dos Ferros, Pilões, Portalegre, Rafael Fernandes, Riacho Da Cruz, Rodolfo Fernandes, São Francisco do Oeste, Severiano Melo, Taboleiro Grande, Tenente Ananias e Viçosa) e Mossoró (Areia Branca, Baraúna, Grossos, Mossoró, Serra do Mel e Tibau) definidas neste estudo como prioritárias para a implementação de promoção da saúde ambiental em prol de minimizar efeitos sobre a saúde humana.

Assim, a qualidade ambiental esteve relacionada a efeitos com um tempo de latência curta tais como, precipitações, alagamentos, enchentes e consequentemente favorecem a eclosão de vetores relacionados a dengue e outras arboviroses ou como também aos acidentes por animais peçonhentos relacionados a épocas de uso da terra com maior intensidade em atividades agropecuárias e ampliação da urbanização (Da Costa *et al.*, 2021b; Da Fonseca *et al.*, 2024). Desta maneira, as ações a serem implementadas a partir desta perspectiva envolvem a fiscalização para redução de possíveis focos de proliferação de vetores e monitoramento e manutenção de espaços verdes, especialmente nas zonas urbanas (Souza; Sestrem; De Moura, 2023). Além disso, sugere-se o uso de tecnologias ecológicas como o uso de biorremediação por biofilme na gestão de resíduos líquidos de forma sustentável (Oliveira; Crispim, 2024), jardins de chuva como solução estrutural para biorretenção de águas pluviais e redução de acúmulo de água parada (Melo *et al.*, 2014), bem como o plantio de árvores, especialmente de espécies nativas, também é uma ação inovadora na promoção da qualidade de vida (Bandeira, 2023).

Todavia, também foi descrito o papel da qualidade ambiental no desenvolvimento de doenças crônicas tais como a doença pulmonar obstrutiva crônica ou câncer de distintos tipos, as quais representam aquelas que precisam de um período mais prolongado para seu desenvolvimento, com mudanças fisiopatológicas e com prolongados períodos de instâncias subclínicas como as envolvidas em disfunções no sistema imunológico e/ou o desenvolvimento de câncer, o que abrange uma série de processos de mudanças histológicas associadas com a capacidade de ultrapassar certos sistemas de segurança naturalmente presentes para evitar o desenvolvimento da doença (Erbes *et al.*, 2024).

A tal fim, sugere-se que as ações que visem ratificar a origem ou a vinculação ambiental com o desfecho/efeito considerado e posteriormente a implementação de estratégias para a redução dos níveis de contaminação, são aconselhados aqui, em particular, o monitoramento da qualidade ambiental nessas áreas e em todo o Rio Grande do Norte. A implementação de medidas de prevenção é considerada de relevância no objetivo de minimizar os impactos individuais em termos de qualidade de vida e otimizar os investimentos sanitários desde a perspectiva da gestão em saúde coletiva. Ademais, através das descobertas do presente estudo pretende-se contribuir para a melhoria de políticas públicas em esferas econômicas, sociais e ambientais para minimizar e/ou reduzir os impactos antrópicos sobre a saúde pública e ecológica.

## CONCLUSÕES

Diante da complexidade que o conceito de saúde ambiental contempla, a abordagem realizada nesta pesquisa descreveu de forma representativa um desbalanço entre o desenvolvimento econômico e populacional em detrimento da degradação ambiental, sendo um fator de risco para a instauração de doenças. Por outro lado, salienta-se a importância da implementação de ações diretas e específicas dirigidas a promoção da saúde, considerando o ambiente como peça-chave na prevenção e mitigação de enfermidades. Nesta perspectiva, destaca-se a necessidade de uma abordagem ecocêntrica para o desenvolvimento humano tendo como premissa a preservação da qualidade ambiental. Logo, reforça-se a utilidade do Modelo FPSEEA como ferramenta para definição de cenários de estudo e o entendimento e implementação nesse contexto do conceito de saúde ambiental por comportar a complexidade que o estudo de questões/problemáticas ambientais requer. Assim, visando a implementação da gestão para a prevenção e mitigação de problemáticas de índole sanitária do estado do RN, este estudo descreveu áreas prioritárias a serem consideradas, promovendo a gestão ambiental e a saúde comunitária.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), uma vez que a pesquisa é proveniente da tese de um dos autores.

## REFERÊNCIAS

- BANDEIRA, A. A. H. Plantio de árvores em ambiente urbano: cartilha de recomendações. **Brazilian Journal of Development**, v. 9, n. 1, p. 4834-4838, 2023. <https://doi.org/10.34117/bjdv9n1-333>
- BARBOSA, I. R.; GONÇALVES, R. C. B.; SANTANA, R. L. Social vulnerability map for the municipality of Natal (Northeast Brazil) at a census sector level. **Journal of Human Growth and Development**, v. 29, n. 1, p. 48-56, 2019. <https://doi.org/10.7322/jhgd.157749>
- BAROUKI, R. *et al.* The COVID-19 pandemic and global environmental change: Emerging research needs. **Environment international**, v. 146, p. 106272, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106272>
- BARRETO, M. P. **Programa minha casa, minha vida em municípios de pequeno porte: efeitos na microrregião de Baixa Verde-RN**. 2016. 169p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/21679?mode=full>.
- BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. **Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984**. Diário Oficial da União. Brasília, 2020.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021**. Diário Oficial da União. Brasília, 2021.

BRASIL. **Saúde ambiental: guia básico para construção de indicadores**. Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador, 2011.

CARNEIRO, F. F. *et al.* Meeting report: development of environmental health indicators in Brazil and other countries in the Americas. **Environmental Health Perspectives**, v. 114, n. 9, p. 1407-1408, 2006. <https://doi.org/10.1289/ehp.8486>

CHAVES, A. K.D.L. *et al.* Sistemas agrossilvipastoris associados à modelagem nutricional podem minimizar os impactos da pecuária no bioma Caatinga. **Pubvet**, v. 15, p. 188, 2021. <https://doi.org/10.31533/pubvet.v15n10a936.1-10>

COALSON, J. E. *et al.* The complex epidemiological relationship between flooding events and human outbreaks of mosquito-borne diseases: a scoping review. **Environmental health perspectives**, v. 129, n. 9, p. 096002, 2021. <https://doi.org/10.1289/EHP8887>

CORDEIRO, E.C.; ALMEIDA, J.D.S.; DA SILVA, T.S. Perfil epidemiológico de acidentes com animais peçonhentos no estado do Maranhão. **Revista Ciência Plural**, v. 7, n. 1, p. 72-87, 2021. <https://doi.org/10.21680/2446-7286.2021v7n1ID20577>

DA COSTA, S. A. T. *et al.* Dinâmica espaço-temporal das anomalias de precipitação em uma região semiárida, Nordeste do Brasil. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 18, n. 2021, 2021a. <https://doi.org/10.21168/reg.a.v18e14>

DA COSTA, M.K. B. *et al.* Ethnozoology of snakebite victims in a risk area in Northeast Brazil. **Toxicon**, v. 201, p. 155-163, 2021b. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2021.08.021>

DA FONSECA, C. S.; DO AMARAL, V. S.; NAVONI, J. A. Impacto antrópico nos recursos hídricos do estado do Rio Grande do Norte: uma análise geoespacial de vulnerabilidade ambiental. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 1, n. 46, p. 49-67, 2024. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/cpg/article/view/9293>. Acesso em: 12 maio 2025.

DA SILVA, R. M.; DE ALMEIDA, W.D.S.; DE ARAÚJO, D.D.S. Abertura Econômica e Concentração Produtiva e Populacional na Região Metropolitana de Natal: 1990-2010. **Revista de Economia Regional**, Urbana e do Trabalho, v. 2, n. 2, 2013. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/rerut/article/view/16686/11152>. Acesso em: 12 maio 2025.

DA SILVA, P.L.N. *et al.* Perfil epidemiológico dos acidentes por animais peçonhentos notificados no Estado de Minas Gerais durante o período de 2010-2015. **Revista Sustinere**, v.5, n.2, p.199-217, 2017. <https://doi.org/10.12957/sustinere.2017.29816>

DE OLIVEIRA MUSSE, L.; LOPES, R. L.; TAVARES, J. L. Emissão de CO<sub>2</sub> pela frota de ônibus de transporte público da região metropolitana de Natal/RN. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 9, n. 2, p. 335-350, 2018. <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.002.0027>

DE SOUSA, C. L.; CAVALCANTE, L. S. M.; AGUIAR, L. P. Pesquisa de coliformes e *Escherichia coli* em água de coco (*Cocos nucifera* L.) comercializada por ambulantes em Fortaleza-CE. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 16, p. e545101624054-e545101624054, 2021. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i16.24054>

DOS REIS BATISTA, M.; ENDLICH, A. M. Gestão compartilhada em áreas não metropolitanas: microrregiões. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 2, p. e23911225808, 2022. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i2.25808>

ERBES, L. A.; CASCO, V. H.; ADUR, J. Caracterização dos estágios iniciais do câncer colorretal utilizando microscopia de autofluorescência 3D: um estudo preliminar. **Arquivos de Gastroenterologia**, v. 61, p. e23062, 2024. <https://doi.org/10.1590/s0004-2803.246102023-62>

FERREIRA, J. G. *et al.* Água, semiárido e sustentabilidade: aplicando o ODS 6 aos municípios do Rio Grande do Norte. **MIX Sustentável**, v. 9, n. 2, p. 75-90, 2023. <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n2.75-90>

FREITAS, C.M.D.; GIATTI, L. L. Indicadores de sustentabilidade ambiental e de saúde na Amazônia Legal, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 25, p. 1251-1266, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2009000600008>

HAMBLING, T.; WEINSTEIN, P.; SLANEY, D. A review of frameworks for developing environmental health indicators for climate change and health. **International journal of environmental research and public health**, v. 8, n. 7, p. 2854-2875, 2011. <https://doi.org/10.3390/ijerph8072854>

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rn.html>. 2022. Acesso em: 7 fevereiro 2024.

IVANCKO, G. M. et al. Estratégia Saúde da Família e Vigilância em Saúde: conhecimento de médicos de família e comunidade sobre Vigilância Sanitária, Vigilância em Saúde Ambiental e Vigilância em Saúde do Trabalhador. **Revista Brasileira de Medicina de Família e Comunidade**, v.16, n.43, p. 2733-2733, 2021. [https://doi.org/10.5712/rbmfc16\(43\)2733](https://doi.org/10.5712/rbmfc16(43)2733)

LEHNER, R. et al. Emergence of nanoplastic in the environment and possible impact on human health. **Environmental science & technology**, v. 53, n. 4, p. 1748-1765, 2019. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b05512>

LIMA, N. A.; ROMÃO, T.; MURARA, P. Estudo preliminar sobre o câncer de pele no Brasil a partir de uma perspectiva geográfica. Hygeia: **Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde**, v. 17, p. 71, 2021. <https://doi.org/10.14393/Hygeia17057343>

MANISALIDIS, I. et al. Environmental and health impacts of air pollution: a review. **Frontiers in public health**, v. 8, p. 505570, 2020. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00014>

MARENGO, J.A.; CUNHA, A.P.; ALVES, M.L. A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico. **Climanálise, Cachoeira Paulista**, v. 3, n.1, p. 1-6, 2016. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/%7Erclimanl/revista/pdf/30anos/marengoetal.pdf>. Acesso em: 12 maio 2025.

MARENGO, J.A. et al. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas. **INSA - Instituto Nacional do Semiárido. Campina Grande - PB**, v. 1, p. 383-422, 2011. Disponível em: <https://www.ccst.inpe.br/publicacao/variabilidade-e-mudancas-climaticas-no-semiarido-brasileiro/>. Acesso em: 12 maio 2025.

MARIA, N. C.; MEDEIROS-SOUSA, A. R.; SLOVIC, A. D. An Environmental Health Typology as a Contributor to Sustainable Regional Urban Planning: The Case of the Metropolitan Region of São Paulo (MRSP). **Sustainability**, v. 11, n. 20, p. 5800, 2019. <https://doi.org/10.3390/su11205800>

MARTINEZ, P. A. et al. Climate change-related distributional range shifts of venomous snakes: a predictive modelling study of effects on public health and biodiversity. **The Lancet Planetary Health**, v. 8, n. 3, p. e163-e171, 2024. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(24\)00005-6](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(24)00005-6)

MARTINS, E. S. P. R.; MAGALHÃES, A.R.; FONTENELE, D. A seca plurianual de 2010- 2017 no Nordeste e seus impactos. **Parcerias Estratégicas**. v. 22, n. 44, p. 17-40, 2017. Disponível em: [http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias\\_estrategicas/article/viewFile/844/772](http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/viewFile/844/772). Acesso em: 12 maio 2025.

MEDEIROS, L. D. C. et al. Toxicological aspects of trihalomethanes: a systematic review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, p. 5316-5332, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3949-z>

MEIRA, P. M. R. S.; Navoni, J. A. Indicadores de sustentabilidade: um olhar ecossistêmico sobre a gestão socioambiental da Região Metropolitana de Natal (RMN) no contexto pandêmico. **Gaia Scientia**, v. 16, p. 128-146, 2022. <https://doi.org/10.22478/ufpb.1981-1268.2022v16n3.64155>

MELO, T.D.S.D. et al. Jardim de chuva: sistema de biorretenção para o manejo das águas pluviais urbanas. **Ambiente Construído**, v. 14, p. 147-165, 2014. <https://doi.org/10.1590/S1678-86212014000400011>

MESQUITA, L. G. et al. Câncer de pele e renda familiar: um estudo ecológico. **Revista Brasileira de Cancerologia**, v. 66, n. 4, 2020. <https://doi.org/10.32635/2176-9745.RBC.2020v66n4.949>

MORAIS, F. H. M.D. et al. Influência da Irradiação Solar na Análise de Viabilidade Econômica de Sistemas Fotovoltaicos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, p. 723-734, 2022. <https://doi.org/10.1590/0102-7786360049>



MUJAN, I. *et al.* Influence of indoor environmental quality on human health and productivity-A review. **Journal of cleaner production**, v. 217, p. 646-657, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.307>

NOVAIS, G. T. Distribuição média dos Climas Zonais no Globo: estudos preliminares de uma nova classificação climática. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 5, p. 1614-1623, 2017. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v.10.5.p1614-1623>

OLIVEIRA, E. M.D. **Agricultura familiar e estratégias de reprodução Socioeconômica das famílias rurais de São Miguel – RN. 2013.** 104p. Dissertação (Mestrado em Estudos Urbanos e Regionais) – Programa de Pós-Graduação em Estudos Urbanos e Regionais. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/47601>

OLIVEIRA, F. M. F. D.; CRISPIM, M.C. Biorremediação por biofilme como ferramenta de despoluição ambiental em ecossistema lótico. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v. 24, n.2 p. 01-21. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/slideshow/revista-de-biologia-e-ciencias-da-terra-issn-15195228-artigobioterrav24n201pdf/267312644>. Acesso em 12 maio 2025.

PINTO, M.D.A.; PERES, F.; MOREIRA, J. C. Utilização do modelo FPSEEA (OMS) para a análise dos riscos relacionados ao uso de agrotóxicos em atividades agrícolas do estado do Rio de Janeiro. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 17, p. 1543-1555, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1413-81232012000600018>

ROCHA, J.C.A.D.A.; NASCIMENTO, M. A. L. D. O pico do Cabugi como produto ecoturístico e geoturístico no Rio Grande do Norte. **Global Turism**, v. 3, n.2, p. 1-22, 2007. Disponível em: <http://geoturismobrasil.com/artigos/Geoturismo%20no%20Pico%20Cabugi.pdf>. Acesso em 12 maio 2025.

ROMA, J. C.; VIANA, J. P. Biodiversidade e serviços ecossistêmicos: temas indissociáveis e estratégicos para o desenvolvimento econômico, socialmente inclusivo e ambientalmente sustentável do Brasil. **Boletim Regional, Urbano e Ambiental**, v.30, 2023. <https://doi.org/10.38116/brua30art5>

SANTOS, J. E. D. *et al.* Pensando um subespaço do homem: Reflexões sobre problemas socioespaciais das pequenas cidades da microrregião de umarizal (RN). **Geografia Ensino & Pesquisa**, v.15, n.3, p. 261-270, 2011. <https://doi.org/10.5902/223649947359>

SANTOS, M. D.C. F. *et al.* Caracterização da pesca e dos pescadores artesanais de camarões penaeidae em salina no município de Macau-Rio Grande do Norte. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 42, n. 2, p. 465-478, 2016. <https://doi.org/10.20950/1678-2305.2016v42n2p465>

SESAP-RN - Secretaria de Estado da Segurança Pública do Rio Grande do Norte. **Boletins epidemiológicos, arboviroses**. 2024. Disponível em: <http://www.saude.rn.gov.br/Conteudo.asp?TRAN=ITEM&TARG=7549&ACT=&PAGE=0&PARM=&LBL=Boletins+Epidemiol%F3gicos>. Acesso em: 13 abril 2024.

SHEN, H. *et al.* Environmental pollutants exposure-derived extracellular vesicles: crucial players in respiratory disorders. **Thorax**, v. 79, n. 7, p. 680-691, 2024. <https://doi.org/10.1136/thorax-2023-221302>

SILVA, A. F. C.D. O parcelamento do solo e a formação de espaços de pobreza em Natal-RN. **Scripta Nova**, v. 7, n. 146, p. 1-10, 2003. Disponível em: <https://revistes.ub.edu/index.php/ScriptaNova/article/view/769>. Acesso em: 12 maio 2025.

SILVA, E. L.D L. *et al.* Levantamento epidemiológico da dengue nos municípios que integram a Regional de Saúde São Patrício II. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 63940-63958, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n8-720>

SILVA, L. F.D. N. Perfil de produtores da associação de criadores de cabras leiteiras do leste e agreste potiguar. 2014. 64p. Dissertação (Mestrado em Produção Animal) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/19623>.

SILVA, R. M. D.; DE ALMEIDA, W. D. S.; DE ARAÚJO, D.D.S. Abertura Econômica e Concentração Produtiva e Populacional na Região Metropolitana de Natal: 1990-2010. **Revista de Economia**

**Regional, Urbana e do Trabalho**, v. 2, n. 2, 2013. Disponível em:  
<https://periodicos.ufrn.br/rerut/article/view/16686/11152>. Acesso em 13 maio 2025.

SILVA, R. B. Vulnerabilidade, expansão urbana e perspectivas diante do cenário das mudanças climáticas em Praia Grande-SP. **Revista Geotemas**, v. 9, n. 2, p. 85-109, 2019. <https://doi.org/10.33237/geotemas.v9i2.3512>

SOUTO, C. N. Qualidade de vida e doenças crônicas: possíveis relações. **Brazilian Journal of Health Review**, v. 3, n. 4, p. 8169-8196, 2020. <https://doi.org/10.34119/bjhrv3n4-077>

SOUTO, L. V. *et al.* Economia e Aspectos da Urbanização na Microrregião de Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil. **Revista Baru-Revista Brasileira de Assuntos Regionais e Urbanos**, v. 5, n. 2, p. 182-198, 2019. <https://doi.org/10.18224/baru.v5i2.7564>

SOUZA, G.D.S. *et al.* Tendência de mortalidade por câncer de pulmão em diferentes contextos urbanos do Brasil, 2000-2015. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 28, 2019. <https://doi.org/10.5123/S1679-49742019000300003>

SOUZA, M. A. S.D.; SESTREM, N.A.; DE MOURA, G.B. A prevenção e combate ao Aedes aegypti em uma cidade inteligente: análise dos impactos do aplicativo de controle de Dengue em Itajaí. **GeSec: Revista de Gestão e Secretariado**, v. 14, n. 6, 2023. <https://doi.org/10.7769/gesec.v14i6.2361>

SURENDRAN, D. E. *et al.* Quantifying the sectoral contribution of pollution transport from South Asia during summer and winter monsoon seasons in support of HTAP-2 experiment. **Atmospheric Environment**, v. 145, p. 60-71, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.09.011>

TIBES, M. **Orçamento público em saúde: uma análise de gastos da morbidade hospitalar do SUS com câncer cervical**. 2024. Trabalho de conclusão de curso (Especialização em Citopatologia). Rio de Janeiro: INCA, 2024. Disponível em: <https://ninho.inca.gov.br/jspui/handle/123456789/15562>. Acesso em 13 maio 2025.

TORRES, L. M. *et al.* Poluição atmosférica em cidades brasileiras: uma breve revisão dos impactos na saúde pública e meio ambiente. **Naturae**, v. 2, n. 1, p. 23-33, 2020. <https://doi.org/10.6008/CBPC2674-6441.2020.001.0003>

VIEIRA, S. L.; VIDAL, E. M.; QUEIROZ, P.A.S. Financiamento e Expansão do Ensino Médio: o caso da diversificação da oferta no Ceará. **EccoS-Revista Científica**, n. 58, p. 20852, 2021. <https://doi.org/10.5585/eccos.n58.20852>

WHO. World Health Organization. **Environmental health indicators: framework and methodologies**. 1999. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/66016/WH?sequence=1>. Acesso em: 08 maio 2024.