

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

FABRYNNE MENDES DE OLIVEIRA

**DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DE NASCENTES DA MICROBACIA DO
RIACHO ALGODOAIS INSERIDAS NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DO
COMPLEXO INDUSTRIAL PORTUÁRIO DE SUAPE**

**RECIFE - PERNAMBUCO
2024**

FABRYNNE MENDES DE OLIVEIRA

**DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DE NASCENTES DA MICROBACIA DO
RIACHO ALGODOAIS INSERIDAS NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DO
COMPLEXO INDUSTRIAL PORTUÁRIO DE SUAPE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Rosângela Gomes Tavares

Coorientador: Valmir Cristiano Marques de Arruda

**RECIFE - PERNAMBUCO
2024**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Bibliotecário(a): Suely Manzi – CRB-4 809

O48d Oliveira, Fabrynne Mendes de.
Diagnóstico ambiental de nascentes da microbacia do riacho Algodoads inseridas na área de influência do Complexo Industrial Portuário de Suape / Fabrynne Mendes de Oliveira. - Recife, 2024.
99 f.; il.

Orientador(a): Rosângela Gomes Tavares.
Co-orientador(a): Valmir Cristiano Marques de Arruda.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Recife, BR-PE, 2024.

Inclui referências.

1. Monitorização ambiental. 2. Solo - Uso. 3. Análise multivariada. 4. Recursos hídricos 5. Proteção ambiental. I. Tavares, Rosângela Gomes, orient. II. Arruda, Valmir Cristiano Marques de, coorient. III. Título

CDD 620.8

FABRYNNE MENDES DE OLIVEIRA

**DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DE NASCENTES DA MICROBACIA DO RIACHO
ALGODOAIS INSERIDAS NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DO COMPLEXO
INDUSTRIAL PORTUÁRIO DE SUAPE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 27 de setembro de 2024.

Rosângela Gomes Tavares
Presidente da Banca e Orientadora

BANCA EXAMINADORA:

Júlio da Silva Corrêa de Oliveira Andrade
Membro Externo - UFRPE

Alex Souza Moraes
Membro Interno - UFRPE

AGRADECIMENTOS

A Deus, meu Senhor, que foi minha fonte de força e fortaleza neste e em todos os momentos da minha trajetória de vida. Tudo o que sou e serei é mérito dEle.

A Nossa Senhora, minha Mãe do céu, que foi à frente a cada passo que tomei e me guiou para concluir este trabalho.

A toda minha família, em especial aos meus pais: Cicero Silva Mendes (Fábio) e Antônia Martins de Oliveira Mendes (Beta) que desde o meu primeiro fôlego de vida, investiram tudo de si para me orientar no caminho correto. Em especial nestes 2 anos de mestrado, agradeço por terem confiado em sua educação e me deixado voar para fora do ninho, onde venho conquistando meus sonhos e buscando orgulhá-los todos os dias, mesmo sabendo que meu lar é e sempre estará onde vocês estiverem.

Ao meu marido, Daniel Pereira de Moraes, com quem dividi este sonho, quem esteve presente desde o momento de alegria com a aprovação na seleção de mestrado até os momentos de ansiedade, nervosismo e angústia onde tivemos que fortalecer um ao outro, longe de nossa família, mas trilhando novos caminhos que nos fizeram ter certeza de que juntos somos muito mais fortes.

Ao meu irmão, Fábio Mendes de Oliveira, por ser meu melhor amigo e sempre me lembrar que nunca estarei sozinha neste mundo.

Aos meus sogros, Francisco Moraes (Chico) e Antonizete Pereira, que acreditaram que tudo isso era possível, investiram neste sonho e sempre me apoiaram.

Aos meus amigos da vida, Klívia Barbosa, Henrique Silva, Rebeca Maia, Larissa Gomes, Larissa Goes e Lázaro Henrique, vocês foram essenciais para manter minha cabeça no lugar e não desistir no meio do caminho.

Aos amigos que conheci nessa jornada de mestrado, particularmente à minha turma, Maria Eduarda Borges, Gean Carlos, João Gabriel, Victor Alves, Djayana Cavalcanti e Rafaela Júlia, agradeço pela oportunidade de ter aprendido tanto com vocês. E também aos vizinhos de Recife, que se tornaram grandes amigos: Anderson, Valéria, Beatriz e Anderson Júnior, muito obrigada por terem nos acolhido e tornado nossos dias mais leves e alegres.

Aos bolsistas de iniciação científica, Pedro Assis e Bruno Luz, a ajuda de vocês foi fundamental. Muito obrigada por terem aguentado sol e chuva em prol da coleta dos dados deste trabalho.

A minha orientadora, profa. Dra. Rosângela Gomes, agradeço imensamente pela atenção, pela consideração e pelo olhar sensível diante das dificuldades do caminho.

Ao meu coorientador, prof. Dr. Valmir Cristiano Marques Arruda, agradeço por ter aceitado contribuir com sua experiência para realização deste trabalho.

A minha banca avaliadora, agradeço pela disposição em participar deste ilustre momento de minha vida acadêmica e pelas contribuições que serão valorosas para meu trabalho.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental (PPEAMB) e todos os seus excepcionais docentes, pela oportunidade de realizar esta pós-graduação e por ter me ofertado uma visão de mundo cheia de novas oportunidades e conhecimentos para vida.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro pela concessão da bolsa de estudos.

“Vivei sempre contentes. Orai sem cessar. Em todas as circunstâncias, dai graças, porque esta é a vossa respeito a vontade de Deus em Jesus Cristo.”

1 Tessalonicenses 5, 16-18

RESUMO

OLIVEIRA, Fabrynne Mendes de, M.Sc., Universidade Federal Rural de Pernambuco, setembro de 2024. **Diagnóstico ambiental de nascentes da Microbacia do Riacho Algodois inseridas na área de influência do Complexo Industrial Portuário de Suape.** Orientadora: Rosângela Gomes Tavares. Coorientador: Valmir Cristiano Marques de Arruda.

O Complexo Industrial Portuário de Suape (CIPS) é composto por um conjunto de infraestruturas e indústrias de desenvolvimento, produção e escoamento comercial referência no estado de Pernambuco pelo seu potencial econômico. Dentro de sua região, encontram-se diversas áreas, dentre elas: Macrozona de Desenvolvimento Econômico – MADE e Macrozona de Proteção Ambiental e Sociocultural – MAAS, esta segunda contendo a Zona de Preservação Ecológica - ZPEC, que compreende uma abundância de nascentes levantadas por meio do Projeto Nascentes de Suape em 2018. As nascentes são importantes corpos hídricos para manutenção do equilíbrio ecológico. Na área de influência de Suape, a predominância de nascentes, componentes da Microbacia do Riacho Algodois, possui um importante viés social, ambiental e econômico, visto que representa um meio de obtenção de água para múltiplos usos e sua qualidade ambiental deve ser avaliada. Neste estudo, foram analisados parâmetros quantitativos e qualitativos e confrontados às legislações e publicações científicas, em busca de uma compreensão geral sobre a qualidade ambiental dos pontos de interesse. Foram selecionadas quatro nascentes estratégicas, localizadas nos municípios pernambucanos de Ipojuca e Cabo de Santo Agostinho, para medição de vazão volumétrica e coleta de amostragem de água em um período de 06 campanhas com frequência mensal. As amostras coletadas passaram por análises laboratoriais para obtenção de dados de Oxigênio Dissolvido, Coliformes Termotolerantes, potencial hidrogeniônico (pH), Demanda Bioquímica de Oxigênio, Temperatura, Nitrogênio total, Fósforo total, Turbidez e Resíduo Total, que compõem o laudo técnico de Índice de Qualidade da Água (IQA). A partir da revisão bibliométrica, verificou-se a relevância da pesquisa nesta temática, que ainda é pouco explorada no Brasil nos últimos 5 anos. Quanto ao uso e ocupação do solo, por meio de geoprocessamento e sensoriamento remoto, no período de 2002 a 2022, comprovou-se que o território de Suape está em constante avanço das áreas urbanizadas e redução da classe de corpos hídricos, que reflete a possibilidade de comprometimento dos recursos naturais. A avaliação quantitativa, com o IQA e também com o Índice de Impacto à Nascentes (IIAN), permitiu classificar os quatro pontos com características de degradação pela presença de coliformes termotolerantes em todas as amostras analisadas, enquadrados em faixas que não permitem a utilização para consumo humano sem

adequado tratamento prévio. Foi utilizada a estatística multivariada como uma ferramenta para tratamento dos dados de campo, buscando correlação e caracterização das variáveis, parâmetros e propriedades relacionadas, que auxiliassem na dedução de diversas problemáticas ambientais e, ao final, sugestão de um modelo de gestão e monitoramento ambiental de nascentes, para manutenção tanto de sua qualidade, quanto de sua disponibilidade, com vistas à utilização racional. Por fim, foi possível promover a revisão e consolidação dos métodos de análise quantitativa, qualitativa e espacial das nascentes de interesse, gerando um fundamental acervo de dados para o gerenciamento destes recursos hídricos e para a tomada de decisões importantes para todos os interessados.

Palavras-chave: Monitoramento ambiental; Uso e ocupação do solo; Análise multivariada; Recursos hídricos; Áreas de Preservação Permanente.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Fabrynne Mendes de, M.Sc., Universidade Federal Rural de Pernambuco, September, 2024. **Environmental diagnosis of springs of the Rising Algodois Basin inserted in the area of influence of the Suape Port Industrial Complex.** Adviser: Rosângela Gomes Tavares. Co-adviser: Valmir Cristiano Marques de Arruda.

The Suape Port Industrial Complex (CIPS) is made up of a set of infrastructures and industries for development, production and commercial flow that are a reference in the state of Pernambuco due to their economic potential. Within its region, there are several areas, including: Economic Development Macrozone – MADE and Environmental and Sociocultural Protection Macrozone – MAAS, the latter containing the Ecological Preservation Zone - ZPEC, which includes an abundance of springs surveyed through the Suape Springs Project in 2018. Springs are important water bodies for maintaining ecological balance. In the area of influence of Suape, the predominance of springs, components of the Algodois Stream Microbacteria, has an important social, environmental and economic vision, since it represents a means of obtaining water for multiple uses and its environmental quality must be evaluated. In this study, quantitative and qualitative parameters were analyzed and compared with legislation and scientific publications, in search of a general understanding of the environmental quality of the points of interest. Four emerging strategies were selected, located in the municipalities of Ipojuca and Cabo de Santo Agostinho, Pernambuco, for measuring volumetric flow and collecting water samples in a period of 06 campaigns with monthly frequency. The collected samples underwent laboratory analysis to obtain data on dissolved oxygen, thermotolerant coliforms, hydrogen potential (pH), biochemical oxygen demand, temperature, total nitrogen, total phosphorus, turbidity and total residue, which make up the technical report of the Water Quality Index (WQI). From the bibliometric review, the relevance of research on this topic, which has still been little explored in Brazil in the last 5 years, is obtained. Regarding land use and occupation, through geoprocessing and remote sensing, from 2002 to 2022, it is proven that the Suape territory is constantly expanding into urbanized areas and reducing the class of water bodies, which reflects the possibility of compromising natural resources. The quantitative evaluation, with the IQA and also with the Spring Impact Index (IIAN), allowed the classification of the four points with release characteristics due to the presence of thermotolerant coliforms in all samples presented, classified in ranges that do not allow use for human consumption without adequate treatment in advance. Multivariate statistics were used as a tool for processing field data, objectively seeking and characterizing the variables,

parameters and related properties, which would help in the deduction of various environmental problems and, in the end, suggesting a model for management and environmental monitoring of springs, to maintain both their quality and their availability, with a view to rational use. Finally, it was possible to promote a review and consolidation of the quantitative, qualitative and spatial analysis methods of the springs of interest, generating a collection of fundamental data for the management of these water resources and for making important decisions for all interested parties.

Keywords: Environmental monitoring; Land use and occupation; Multivariate analysis; Water resources; Permanent Preservation Areas.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1 – O AVANÇO DO USO DE ÍNDICES PARA DETERMINAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE NASCENTES

Figura 1 – Fluxograma da metodologia do trabalho.....	30
Figura 2 – Rede de citações (sem correlações).....	33
Figura 3 – Rede de citações (com correlações)	33
Figura 4 – Rede de palavras-chave.....	35
Figura 5 – Sobreposição de palavras-chave por citação.....	36
Figura 6 – Número de trabalhos sobre a temática: (a) 2014 - 2024; (b) distribuição por países, com destaque ao Brasil (coluna vermelha).....	37
Figura 7 – Sobreposição de palavras-chave por ano	38

CAPÍTULO 2 - GEOPROCESSAMENTO APLICADO À AVALIAÇÃO DE ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE DE NASCENTES INSERIDAS NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DO COMPLEXO PORTUÁRIO DE SUAPE

Figura 1 – Localização e fotos reais dos pontos de estudo.....	46
Figura 2 – Curvas de nível do ponto de interesse A.....	49
Figura 3 – Curvas de nível dos pontos de interesse B e C	49
Figura 4 – Curvas de nível do ponto de interesse D.....	50
Figura 5 – Classificação da imagem da área no ano de 2002.....	51
Figura 6 – Classificação da imagem da área no ano de 2006.....	52
Figura 7 – Classificação da imagem da área no ano de 2010.....	52
Figura 8 – Classificação da imagem da área no ano de 2014.....	53
Figura 9 – Classificação da imagem da área no ano de 2018.....	53
Figura 10 – Classificação da imagem da área no ano de 2022.....	54

CAPÍTULO 3 - AVALIAÇÃO DA QUALIDADE AMBIENTAL DE NASCENTES DA MICROBACIA DO RIACHO ALGODOAIS INSERIDAS NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DO COMPLEXO PORTUÁRIO DE SUAPE

Figura 1 – Localização dos pontos de estudo	65
Figura 2 – Dendograma de todos os parâmetros de análise	75
Figura 3 – Gráfico de Dispersão por parâmetro	77
Figura 4 – Matriz de correlação entre os parâmetros	78
Figura 5 – Gráfico de Dispersão por campanha e nascente.....	79

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1 – O AVANÇO DO USO DE ÍNDICES PARA DETERMINAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE NASCENTES

Tabela 1 – Distribuição de palavras-chave por cluster 34

CAPÍTULO 2 - GEOPROCESSAMENTO APLICADO À AVALIAÇÃO DE ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE DE NASCENTES INSERIDAS NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DO COMPLEXO PORTUÁRIO DE SUAPE

Tabela 1 – Evolução espaço-temporal do uso e classificação do solo na área de estudo.....55

CAPÍTULO 3 - AVALIAÇÃO DA QUALIDADE AMBIENTAL DE NASCENTES DA MICROBACIA DO RIACHO ALGODOAIS INSERIDAS NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DO COMPLEXO PORTUÁRIO DE SUAPE

Tabela 1 – Cálculo do IQA para as nascentes amostradas72

LISTA DE QUADROS

CAPÍTULO 1 – O AVANÇO DO USO DE ÍNDICES PARA DETERMINAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE NASCENTES

Quadro 1 – Levantamento de dados em diferentes bases	28
Quadro 2 – Ranking de artigos mais citados quanto ao tema específico	31

CAPÍTULO 2 - GEOPROCESSAMENTO APLICADO À AVALIAÇÃO DE ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE DE NASCENTES INSERIDAS NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DO COMPLEXO PORTUÁRIO DE SUAPE

Quadro 1 – Localização da amostragem.....	47
Quadro 2 – Classes de uso e ocupação do solo do Projeto Mapbiomas	47

CAPÍTULO 3 - AVALIAÇÃO DA QUALIDADE AMBIENTAL DE NASCENTES DA MICROBACIA DO RIACHO ALGODOAIS INSERIDAS NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DO COMPLEXO PORTUÁRIO DE SUAPE

Quadro 1 – Localização da amostragem.....	65
Quadro 2 – Localização dos postos pluviométricos	66
Quadro 3 – Metodologia do índice de impacto ambiental macroscópico em nascentes	67
Quadro 4 – Metodologias para análises de parâmetros	67
Quadro 5 – Peso correspondente a cada parâmetro do IQA.....	69
Quadro 6 – Peso correspondente a cada parâmetro do IQA.....	70
Quadro 7 – Classificação das nascentes quanto aos aspectos macroscópicos.....	70
Quadro 8 – Cálculo do IIAN para as nascentes amostradas.....	74

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	17
2. OBJETIVOS	19
2.1. Objetivo geral	19
2.1. Objetivos específicos	19
3. REVISÃO DE LITERATURA	20
3.1. Conceito e importância das nascentes	20
3.2. Legislação ambiental aplicada a nascentes	21
3.3. Monitoramento da qualidade ambiental de nascentes	22
3.4. Aplicação de geotecnologias para monitoramento de nascentes	23
3.5. Aplicação de estatística multivariada para monitoramento de nascentes	23
3.6. Complexo Industrial Portuário de Suape (CIPS)	24
3.7. Microbacia do riacho Algodoads	25
4. CAPÍTULO 1 – ESTUDO DO USO DE ÍNDICES PARA DETERMINAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE NASCENTES	26
4.1. Resumo:	26
4.2. Introdução	26
4.3. Material e Métodos	28
4.4. Resultados e Discussão	30
4.5. Conclusões	39
4.6. Referências	39
5. CAPÍTULO 2 - GEOPROCESSAMENTO APLICADO À AVALIAÇÃO DE ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE DE NASCENTES INSERIDAS NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DO COMPLEXO PORTUÁRIO DE SUAPE	43
5.1. Resumo:	43
5.2. Introdução	43
5.3. Material e Métodos	45
5.3.1. Descrição da área de estudo	45
5.3.2. Levantamento e processamento de dados	46
5.4. Resultados e Discussão	48
5.5. Conclusões	57
5.6. Referências	57
6. CAPÍTULO 3 - AVALIAÇÃO DA QUALIDADE AMBIENTAL DE NASCENTES DA MICROBACIA DO RIACHO ALGODOAIS INSERIDAS NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DO COMPLEXO PORTUÁRIO DE SUAPE	62
6.1. Resumo:	62

6.2. Introdução	62
6.3. Material e Métodos	64
6.3.1. Descrição da área de estudo	64
6.3.2. Levantamento de dados	66
6.3.3. Cálculo dos Índices	68
6.3.4. Tratamento de Dados	70
6.4. Resultados e Discussão	71
6.5. Conclusões	80
6.6. Referências.....	80
7. CONCLUSÕES GERAIS	85
REFERÊNCIAS	86

1. INTRODUÇÃO GERAL

A disponibilidade e qualidade dos recursos hídricos é um tema que vem despertando o interesse da sociedade. Ainda que o Brasil seja um país hidricamente rico, não são raros exemplos de má gestão e práticas que contaminam os mananciais e geram escassez hídrica. Neste contexto, as nascentes são sistemas naturais frágeis, sensíveis à ação antrópica e sua preservação é uma exigência legal.

A preservação das nascentes é uma medida simples, de baixo custo, que previne a poluição, melhora a qualidade da água e restaura o ecossistema. Por isso, trabalhos de campo que visam a proteção, recuperação e/ou preservação de nascentes, são necessários para garantir o equilíbrio hidrológico e ambiental.

Diante do exposto, considera-se importante a condução de estudos que caracterizem a quantidade e a qualidade das águas e áreas de contribuição de nascentes, permitindo estabelecer procedimentos de avaliação de impactos ambientais e propor medidas que harmonizem a gestão sustentável de nascentes sem comprometer as gerações futuras.

Em 2014 foi publicado o Programa Nascentes de Suape do Complexo Industrial Portuário Governador Eraldo Gueiros – Suape (CIPS), que teve como objetivo conhecer a localização e as condições ambientais das áreas de nascentes localizadas na Zona de Preservação Ecológica (ZPEc). Nesta oportunidade, foram identificadas e mapeadas aproximadamente 70 nascentes inseridas na Microbacia do Riacho Algodoads, evidenciando a abundância destes corpos hídricos e, ao mesmo tempo, a necessidade de monitoramento da qualidade ambiental.

Felippe (2009) aponta a importância do estudo das nascentes, dada a sua complexidade e transversalidade conceitual, sendo fundamental a aplicação teórica e prática de diversas ciências, tais como a hidrologia, geologia, biologia, física, além de diversos campos da geografia, como a geomorfologia, biogeografia, climatologia e pedologia; abrangendo, ainda, a perspectiva humana contida na geografia urbana, geografia rural e geografia da população.

O avanço dos métodos de monitoramento ambiental vem considerando novas técnicas para organização e operacionalização desses processos, como por exemplo a utilização das geotecnologias, além da estatística descritiva e multivariada, como formas de otimização do processamento de dados e obtenção de resultados consistentes.

Cabe destacar também que a relevância do desenvolvimento da presente pesquisa para a UFRPE está na aproximação da Estação Suape-UFRPE de Sustentabilidade (Esus) com o

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPEAMB/UFRPE), corroborando para um dos propósitos da Esus que é colaborar com o desenvolvimento econômico, social e ambiental em todo o território portuário de Suape.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Avaliar a qualidade ambiental das nascentes de corpos d'água da Microbacia do Riacho Algodoads inseridas na área de influência do Complexo Industrial Portuário de Suape.

2.1. Objetivos específicos

- Realizar a caracterização dos aspectos qualitativos e quantitativos das águas das nascentes, por meio de campanhas mensais de coletas de amostras de águas e determinação dos parâmetros físicos, químicos e biológicos, como também emissão de laudos técnicos baseados no Índice de Qualidade de Água (IQA);
- Realizar a quantificação da disponibilidade hídrica, segundo as medições de vazão realizadas com frequência mensal;
- Avaliar o estado de conservação do solo (análise de sedimentos) e vegetação ripária (registros fotográficos, geoprocessamento e sensoriamento remoto), assim como avaliação de impactos ambientais, por meio da classificação do Índice de Impacto Ambiental em Nascentes – IIAN;
- Indicar as ações de mitigação que devem ser realizadas para melhorar a qualidade ambiental das nascentes estudadas, que serão apresentadas por meio de relatório técnico disponibilizado à administração de Suape.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Conceito e importância das nascentes

A vida humana é diretamente dependente da água, elemento essencial para a sobrevivência, em suas diversas finalidades de uso como o abastecimento público, os usos industriais, a geração de energia elétrica, as atividades de pesca, turismo e lazer, entre outras. Desta forma, conforme destacado por Costa (2016), é fundamental entender a dinâmica das águas e observar os fatores que influenciam na sua qualidade e quantidade, visando um melhor planejamento da sua gestão.

Os recursos hídricos superficiais ou subterrâneos são os meios de captação convencionais para a utilização, seja antrópica ou natural, da água. As áreas de drenagem são originadas através da dinâmica hidrológica, por intermédio da contribuição das nascentes (Mohamed & Paleologos, 2018).

As nascentes foram definidas por Linsley e Franzini (1978) como o afloramento do lençol freático, originando fontes de água de acúmulo (represa) ou cursos d'água (riachos, ribeirões e rios), as quais podem se localizar em encostas, depressões do terreno ou no nível de base representado pelo curso d'água local, se subdividem em perenes (fluxo contínuo), temporárias (fluxo apenas na estação chuvosa) e efêmeras (surgidas durante a chuva, com permanência curta).

Valente e Gomes (2011) afirmaram que os lençóis freáticos e artesianos são abastecidos pela água que chega por meio da chuva, aumentando a disponibilidade hídrica e favorecendo a bacia hidrográfica, devido a sua grande aptidão como reservatórios subterrâneos naturais, garantindo também que córregos e rios tenham vazões mais regulares ao longo do ano.

Diante disso, as nascentes são surgências naturais na superfície do solo, resultantes destes lençóis subterrâneos, que dependem do suporte da cobertura no solo e da precipitação para se manterem abastecidos e produtivos (Dias *et al.*, 2011). Ademais, estas possuem papel importante por dar origem a rios, córregos e lagos, e quando em situação desprotegida e sem vegetação nativa ficam mais susceptíveis aos processos de erosão e assoreamento do solo (Cordeiro *et al.*, 2021).

Alvarenga *et al.* (2012) considera a importância da condução de estudos que caracterizem a quantidade e qualidade das águas nas áreas de contribuição de nascentes, devido estas constituírem-se áreas de extrema influência e importância ambiental, pois são os berços dos cursos d'água e, primordialmente, de toda oferta de água disponível.

3.2. Legislação ambiental aplicada a nascentes

O primeiro Código Florestal Brasileiro, promulgado pela Lei N° 4.771/1965, foi pioneiro na inclusão de definições e propostas de preservação das nascentes. A partir dele, marcos legais brasileiros surgiram com abordagem à relevância da proteção de nascentes.

O Novo Código Florestal Brasileiro, decretado pela Lei N° 12.651/2012, conceituou nascentes como o “afloramento natural do lençol freático que apresenta perenidade e dá início a um curso d’água” (Brasil, 2012). Ainda, regulamentou que as áreas no entorno das nascentes e dos olhos d’água perenes, qualquer que seja sua situação topográfica, no raio mínimo de 50 (cinquenta) metros devem ser convertidas em áreas protegidas legalmente, denominadas Áreas de Preservação Permanente (APP).

A Resolução N° 303/2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), atualiza esta área de constituição da APP, mencionando que deve ser constituída “de tal forma que proteja, em cada caso, a bacia hidrográfica contribuinte” (CONAMA, 2002). Com esta nova regulamentação, foi retomado o conceito aplicado pela Lei N° 4.771/1965, antigo Código Florestal, que contemplava as nascentes também como o “local onde aflora naturalmente, mesmo que de forma intermitente, a água subterrânea” (Brasil, 1965).

Uma nova regulação legal foi promulgada em 2023, a Lei N° 14.653, que estabelece regras para a proteção e recuperação de nascentes, promovendo uma atualização do Código Florestal e mencionando medidas para melhoria das atividades de recomposição da vegetação nativa no entorno de nascentes e outras áreas degradadas (Brasil, 2023).

Em menor escala, destaca-se a Lei Estadual N° 11.206/1995, que decretou a Política Florestal do estado de Pernambuco, fazendo menção a necessidade de preservação permanente da área de “nascentes permanentes ou temporárias, incluindo os olhos d’água, seja qual for sua situação topográfica” (Pernambuco, 1995). Na mais recente atualização, a Lei Ordinária N° 17.947/2022, incluiu ao Art. 75, parágrafo 2º, a possibilidade de convênios com os municípios para implantação de Programas de Preservação de Nascentes e Conservação de Matas Ciliares nas margens de riachos e rios do seu território (Pernambuco, 2022).

Embora importantes para ênfase da conservação destes corpos hídricos, tais publicações legais em vigor ainda não contemplam a heterogeneidade das nascentes em relação aos seus fatores tipológicos (Carmo, Felipe e Magalhães Junior, 2014). Cortines (2008) destaca que as áreas das nascentes são diferenciadas em três zonas hidrogenéticas: zonas de captação, transmissão e afloramento. Nas legislações, o conceito e a menção de preservação destinam-se estritamente a área de afloramento da água.

3.3. Monitoramento da qualidade ambiental de nascentes

O estudo das áreas de nascentes é considerado útil para diversas finalidades, entre elas, o prognóstico de enchentes, a mitigação da poluição, a previsão da dinâmica do ecossistema e da evolução das paisagens dos ambientes hídricos, tendo como dificuldade apenas constituir-se de um território de estudo em microescala, conforme citado por Clubb *et al.* (2014).

A necessidade de monitoramento da qualidade ambiental de nascentes se dá por sua natureza sensível à significativas alterações devido aos próprios ciclos naturais do ecossistema, bem como pela intensificação de ações antrópicas, como desmatamento, queimadas, ocorrência de áreas de pastagens no entorno, atividades agrícolas e pecuárias, entre outras (Pereira, 2012).

Uma forma de monitorar corpos hídricos é a aplicação e acompanhamento do Índice de Qualidade das Águas (IQA), desenvolvido pela Agência Nacional das Águas (ANA), com o objetivo de realizar uma avaliação das características da água bruta após seu devido tratamento utilizada para o abastecimento público. Os indicadores que compõem este índice são parâmetros físico-químicos capazes de verificar, principalmente, a presença de agentes de contaminação causada pelo lançamento de esgotos domésticos (CETESB, 2018).

Gomes, Melo e Vale (2005) empreenderam com a utilização do Índice de Impacto Ambiental em Nascentes – IIAN, com o objetivo de analisar as condições ambientais e o grau de preservação de nascentes a partir de uma avaliação visual individualmente. Felipe (2009), utilizando-se deste índice, afirmou que os danos ambientais advindos de atividades antrópicas são expressivos nas proximidades das nascentes, sendo muitas vezes irreversíveis, e tais impactos são passíveis de promover a descaracterização e redução da vazão das nascentes.

A disponibilidade hídrica de corpos d'água de aproveitamento humano é uma preocupação milenar, com a instituição das primeiras comunidades às margens dos rios para suprir necessidades vitais, como sua dessedentação, alimentação e higiene (Branco, 2006). As nascentes como precedentes de corpos hídricos contêm aspectos que estão intrinsecamente ligados às condições climáticas de uma região, que repercutem diretamente na qualidade da água, no que diz respeito às características limnológicas (Wiegand; Piedra & Araújo, 2016).

A quantificação do volume hídrico médio das nascentes, através de periódicas medições de vazão, é fundamental para que haja a investigação do comportamento quantitativo em relação a um determinado período e como este indicador reflete na qualidade e oferta da água. Além de, em determinados casos, denotar presença de atividades antrópicas nestas áreas (Bezerra & Silva, 2016). É pertinente mencionar que estas alterações no corpo hídrico podem também ser decorrentes de eventos naturais, como altos índices de pluviométricos em um determinado período (Bomfim *et al.*, 2015).

O avanço dos métodos de monitoramento ambiental vem considerando novas técnicas para organização e operacionalização desses processos, como por exemplo a utilização das geotecnologias (Santos & Fontenele, 2020) e da geoestatística (Pinto, 2021).

3.4. Aplicação de geotecnologias para monitoramento de nascentes

As ferramentas das geotecnologias que utilizam o Sistema de Informação Geográfica (SIG) podem contribuir para o acompanhamento espacial das nascentes, assim como de suas matas ciliares e zonas de amortecimento, por meio de geoprocessamento (Silva *et al.*, 2012).

Tanto o geoprocessamento quanto o sensoriamento remoto auxiliam eficientemente na representação e interpretação dos fenômenos da superfície terrestre, principalmente devido sua capacidade de análise temporal, quantificação, identificação e localização de ações (Aquino & Valladares, 2014).

A potencialidade de utilização das geotecnologias se dá principalmente pelo estudo do uso e ocupação do solo da área de preservação das nascentes. Leta, Demissie e Tränckner (2021) afirmaram que este uso da terra impacta diretamente no escoamento superficial, o pico de fluxo e fluxo de base após precipitações, sendo possível rastrear alterações nas condições de umidade do solo e na quantidade de água para infiltração no solo que faz a recarga da água subterrânea.

Santos e Cavalcanti (2022) estudando o uso e cobertura da terra em áreas de nascentes e rios em um município pernambucano evidenciaram resultados satisfatórios quanto a utilização do geoprocessamento para o monitoramento das classes de uso do solo, destacando as regiões que necessitariam de manejo, as regiões preservadas e as demais áreas significativas para gestão adequada dos recursos hídricos possivelmente impactados pela evolução espaço-temporal do uso e ocupação do solo por diferentes classes.

3.5. Aplicação de estatística multivariada para monitoramento de nascentes

O monitoramento ambiental vem passando por processos de otimização pela utilização de novas ferramentas, como o seu adequado processamento por análise estatística multivariada, que permite correlacionar as alterações na qualidade das águas com fatores naturais ou antrópicos (Mongin, 2020).

Nguyen *et al.* (2019) indicaram a Análise por Componentes Principais (ACP) como uma das técnicas de estatística multivariada mais utilizada, efetuando uma investigação integrada de multiparâmetros da qualidade ambiental, possibilitando a síntese dos dados em uma matriz de correlação ou covariância das informações como melhor expressão da sua variabilidade.

A metodologia de uso da ACP é uma forma de integração de dados ambientais que favorece a avaliação de uma grande quantidade de variáveis e amostras por redução a agrupamentos que facilitam sua avaliação (Bernardi *et al.*, 2009). No caso da qualidade dos recursos hídricos, a exemplo do estudo de Simeonov *et al.* (2003), esta análise pode ser utilizada para identificar as principais fontes responsáveis por alterações na qualidade de água.

O trabalho de Daou, Nabbout e Kassouf (2016) corroborou para a inferência de que este tipo de processamento de dados possui potencialidade para aplicação em estudos que busquem identificar processos que afetem a qualidade da água. Trindade (2013) concluiu, mediante a isto, que os aspectos supracitados levam a considerar esta metodologia como uma forma de assegurar o fornecimento de informações confiáveis que norteiem a gestão de recursos hídricos.

Mongin (2020) concluiu acerca da relevância da estatística descritiva e multivariada para ajuste aos objetivos e às características intrínsecas de cada rede de monitoramento ambiental, relacionando nelas a capacidade de detectar e propor ajustes eficazes para subsidiar políticas públicas adequadas.

3.6. Complexo Industrial Portuário de Suape (CIPS)

O Complexo Industrial Portuário de Suape (CIPS) localiza-se na Região Metropolitana do Recife (RMR), distante 40 km da capital pernambucana, foi idealizado como um projeto de desenvolvimento econômico, um local estratégico para o nordeste brasileiro e reconhecido mundialmente pelo conceito de porto-indústria (Medeiros, 2005).

Suape se consolidou gradativamente como um importante agente dinamizador local, estadual e regional, atraindo altos investimentos públicos para sua atividade portuária estratégica, resultante das formas espaciais criadas inicialmente para a atividade industrial do próprio complexo (Miquilini *et al.*, 2021).

Braga, Uchoa e Duarte (1989), mesmo na década de 90, já discutiram sobre a implantação de um porto e da infraestrutura para um complexo industrial, com obras de aterros, dragagens e represamentos, acarretando alterações na hidrologia local e modificações drásticas à paisagem natural.

Segundo Barros e Silveira (2010), o Complexo de Suape foi um dos empreendimentos que trouxe diversos impactos, tanto ambiental como social, decorrentes da magnitude de alterações geológicas da bacia estuarina do local, assim como, na supressão de manguezais que acarretaram na perda de biodiversidade, além de alterações de paisagem, poluição atmosférica e a realocação de populações tradicionais. Estes feitos podem ter influenciado para alterações dos ciclos hidrológicos e dinâmica das nascentes que compõem a região hídrica do local.

Além desses possíveis impactos ambientais, existe a preocupação com a alta demanda hídrica para desenvolvimento das atividades produtivas, como também para o abastecimento das comunidades locais da área de influência direta. Quanto à hidrografia e hidrologia de Suape, Gouveia (2017) destaca que estas são condicionadas tanto pelos aspectos naturais como geologia, geomorfologia, clima e vegetação, quanto pelo processo de ocupação industrial, turística, canavieira, entre outros.

Corpos hídricos como as nascentes são afloramentos naturais do lençol freático que apresentam perenidade e dão início a um curso d'água (Brasil, 2012). Com a primeira execução do projeto Nascentes de Suape, em 2016, foi realizado o levantamento, mapeamento e diagnóstico das nascentes dentro da microbacia do riacho Algodóais localizadas dentro da Zona de Preservação Ecológica de Suape – ZPEc (CIPS, 2014).

Além da preocupação ambiental, com este projeto, Suape também buscou atender ao interesse socioambiental exigido, já que seu território faz parte do grupo de bacias pertencentes às áreas de proteção de mananciais da Região Metropolitana de Recife, constando na Lei Estadual nº 9.860/1986 (Pernambuco, 1986).

3.7. Microbacia do riacho Algodóais

O riacho Algodóais é afluente da bacia hidrográfica do rio Massangana, localizado no município do Cabo de Santo Agostinho, possui extensão total de aproximadamente 10,0 km e 25,31 km² de área de drenagem (SECTMA, 2002).

Carvalho e Cabral (2022), estudando projetos de intervenção em rios perenes, verificaram que o riacho Algodóais em seu alto-curso, situado exclusivamente na zona rural, tem seu leito natural totalmente assoreado e, em parte significativa, coberto por gramíneas; em seu médio e baixo curso, na zona industrial da bacia hidrográfica, encontra-se retificado e revestido.

Publicações científicas já se atentaram a necessidade de investigar as águas do riacho Algodóais que passam pelo território de Suape. O trabalho de Souza *et al.* (2015) indicou a presença de contaminantes emergentes do tipo Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA) em quantidades significativas e preocupantes ao longo de todo o riacho.

Foi levantada a necessidade de medidas para desassoreamento e redimensionamento de calha, instalação de jardins filtrantes, recuperação de nascentes e reposição florestal da área de preservação permanente das margens, com objetivo de melhorar a qualidade da água deste riacho diante da constatação do lançamento de efluentes tratados oriundo das indústrias localizadas ao longo da extensão do curso d'água (Carvalho & Cabral, 2022).

4. CAPÍTULO 1 – ESTUDO DO USO DE ÍNDICES PARA DETERMINAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE NASCENTES

4.1. Resumo:

As nascentes são corpos hídricos com função fundamental para a manutenção ambiental, visto que se constituem uma das mais importantes fontes de água doce da natureza. A gestão hídrica destes recursos deve ocorrer de maneira sustentável, buscando garantir a preservação e a conservação do seu papel ecossistêmico. O estudo das nascentes pode se dar pelo monitoramento da qualidade de água, utilizando-se de índices que permitam acompanhar variáveis que consigam refletir toda a sua complexidade e transversalidade. Este artigo objetivou-se a pesquisar em base de dados científicos, no período dos últimos 10 anos, os trabalhos que envolvem índices para determinação da qualidade da água de nascentes, por meio de uma metodologia rigorosa e definida para levantamento de informações. A metodologia possui cunho exploratório e descritivo. Inicialmente, foi executada uma revisão bibliométrica para seleção sistemática de publicações, seguida de revisão bibliográfica da produção científica levantada sobre os índices de qualidade de água de nascentes. Foi utilizada a base de dados Scopus, com três palavras-chave “water quality”, “springs” e “index”, no período de 2014-2024, obtendo 46 artigos que foram lidos na íntegra e analisadas as redes bibliométricas. Ficou evidenciada uma grande diversidade metodológica entre os artigos, no entanto, cada um dos trabalhos lidos demonstrou resultados relevantes no âmbito científico, bem como contribuições para a qualidade da vida humana, por meio da manutenção ambiental das nascentes e consequente equilíbrio ecológico.

Palavras-chaves: revisão de literatura, monitoramento ambiental, qualidade ambiental, corpos hídricos.

4.2. Introdução

Nascente, conforme o Código Florestal Brasileiro, é o “afloramento natural do lençol freático que apresenta perenidade e dá início a um curso d’água” (Brasil, 2012). A água desses corpos hídricos é uma das mais importantes fontes de água doce, especialmente em regiões áridas e com falta de chuvas anuais, para abastecimento humano (Ebraheem *et al.*, 2021).

Os entornos de nascentes e olhos d’água são legalmente considerados Áreas de Preservação Permanente (APP). Sua gestão deve ser sustentável, com objetivos de proteção e restauração, para manutenção da qualidade, quantidade e performance do papel ecossistêmico das águas afloradas, fato este que necessita da produção de dados e de conhecimento científico

para amparar a criação de políticas públicas de regulação e controle ambiental (Souza *et al.*, 2019).

Em áreas de recarga de nascentes, diversos aspectos ambientais, como o desmatamento das matas ciliares, assoreamento, erosão e a lixiviação de contaminantes, podem causar problemas ambientais, diante das alterações na quantidade e na qualidade deste recurso hídrico (Oliveira *et al.*, 2020). Isso é possível ser evidenciado por Gomes *et al.* (2021) em seu estudo, que conseguiram elucidar os efeitos ambientais adversos que as nascentes em região urbana sofrem diante da diminuição de suas vazões, perda de suas funções naturais e a perenização dos cursos d'água, manutenção da rede hidrográfica e diluição de carga poluidora, provavelmente pelo despejo indevido de efluentes sanitários.

Felippe (2009) aponta a importância do estudo das nascentes, dada a sua complexidade e transversalidade conceitual, sendo fundamental a aplicação teórica e prática de diversas ciências, tais como a hidrologia, geologia, biologia, física, além de diversos campos da geografia, como a geomorfologia, biogeografia, climatologia e pedologia; abrangendo, ainda, a perspectiva humana contida na geografia urbana, geografia rural e geografia da população. Neste sentido, o estudo da qualidade da água de nascentes baseia-se em avaliações de aspectos macroscópicos (entorno e estado da nascente) e microscópicos (análises laboratoriais da água), conforme Ramos *et al.* (2018).

Uma forma de monitorar corpos hídricos é a aplicação e acompanhamento do Índice de Qualidade das Águas (IQA), desenvolvido pela Agência Nacional das Águas (ANA), com o objetivo de realizar uma avaliação das características da água bruta após seu devido tratamento utilizado para o abastecimento público. Os indicadores que compõem este índice são parâmetros físico-químicos capazes de verificar, principalmente, a presença de agentes de contaminação causada pelo lançamento de esgotos domésticos (CETESB, 2018).

O supracitado trabalho de Felippe (2009) ainda propôs a utilização do Índice de Impacto Ambiental em Nascentes – IIAN (Gomes; Melo; Vale, 2005), com o objetivo de analisar as condições ambientais e o grau de preservação de nascentes a partir de uma avaliação visual individualmente.

Outro índice que pode ser empregado trata-se do Índice do Estado Trófico (IET), objetivando-se a classificar corpos d'água em diferentes graus de trofia, avaliando a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito, relacionado ao crescimento excessivo das algas ou ao aumento de infestação de macrófitas aquáticas (CETESB, 2007).

Diante disso, este estudo tem como objetivo pesquisar em bases de dados científicas, no período dos últimos 10 anos, trabalhos que envolvam estes e outros índices para a

determinação da qualidade da água desses importantes corpos hídricos. Para isso, será utilizada uma metodologia rigorosa e definida para o levantamento de informações em revisão bibliométrica e a discussão dos resultados em revisão bibliográfica.

4.3. Material e Métodos

Este estudo foi conduzido por meio de uma pesquisa exploratória e descritiva. Inicialmente, foi realizada uma revisão bibliométrica para a seleção sistemática de publicações, seguida de uma revisão bibliográfica da produção científica levantada sobre os índices de qualidade da água em nascentes.

Para isso, foi utilizado o acesso remoto do portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela Comunidade Acadêmica Federada (CAFe) para logar-se a plataformas de dados que reúnem as principais publicações. Foram selecionadas duas bases: Web of Science (Clarivate Analytics) e Scopus (Elsevier).

Após algumas tentativas, foram definidos os termos adequados para a finalidade desta pesquisa, que foram: “water quality”, “springs” e “index”, juntamente com o operador booleano “and” que combinou as três palavras podendo estar contidas no título, no resumo, nas palavras chave ou no corpo de texto. Como primeiro filtro de seleção das publicações, foi limitado o período de publicação dos trabalhos para os últimos 10 anos, restringindo-se aos anos entre 2014 a 2024. Já o segundo filtro, categorizou os trabalhos somente documentos do tipo “articles”. As pesquisas nas duas bases de dados têm seus resultados expostos no quadro 1. Do total de 631 trabalhos da Web of Science, 72 trabalhos estavam também presentes na lista da Scopus, pelo cruzamento realizado pelos arquivos .txt de ambas as bases.

Quadro 1 – Levantamento de dados em diferentes bases

PESQUISA	FILTROS	SCOPUS	WEB OF SCIENCE
Termos e Operador Booleano	“water quality”	148	886
	AND		
	“springs”		
	AND		
	“index”		
Período	2014-2024	117	655
Tipo de Documento	Artigos	111	631

Fonte: Autora (2024).

Devido a menor quantidade de artigos, foi escolhida a base de dados Scopus para proceder à etapa de leitura de títulos e resumos, visando descartar publicações que não estavam relacionadas ao delineamento da temática. Após essa etapa, foram removidos 65 dos 111 artigos, os quais não se encaixavam na proposta, e 46 artigos seguiram para a próxima etapa da revisão.

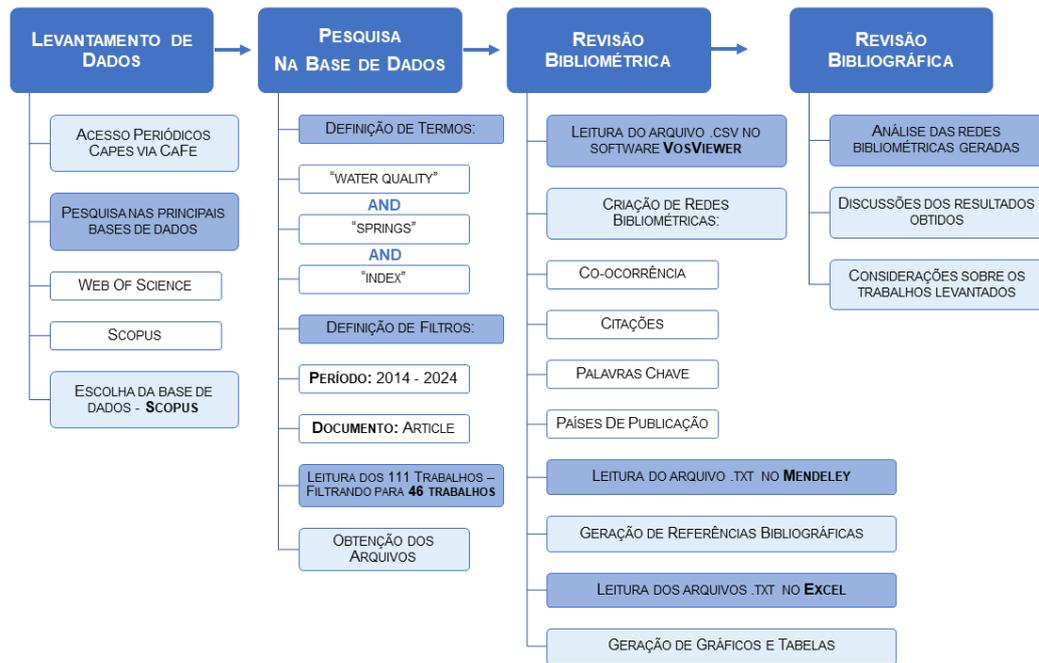
Para geração de referências conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), os documentos selecionados foram importados para o software livre denominado Mendeley Reference Manager (Elsevier), desenvolvido para os dados dos trabalhos serem automaticamente recuperados para formulação da lista de referências e citações intratextuais.

Na própria plataforma Scopus foi extraído o arquivo compatível com o software VOSviewer (formato .csv), para análise sistemática dos trabalhos selecionados, onde foram obtidas as redes bibliométricas. Este software adota o método conhecido como VOS (em português, Visualização de Similaridades), com o objetivo de definir os nós e ligações de qualquer conjunto de dados de redes (Moreira; Guimarães; Tsunoda, 2020).

Foram realizadas análises do tipo co-ocorrência de citações e palavras-chave, países de publicação e, a partir destes dados, gerados mapas com visualização do tipo redes, com as publicações científicas como objeto de interesse. Com os 46 trabalhos selecionados, a primeira análise bibliométrica desenvolvida pelo software permitiu rankear os trabalhos mais citados. O procedimento adotado foi uma análise do tipo citações, verificando por documento, variando de zero até a quantidade máxima de citações encontradas.

Na segunda etapa, com a leitura e interpretação dos artigos filtrados, foi possível evidenciar informações pertinentes a respeito da temática. Neste sentido, por meio desta metodologia (figura 1), almeja-se inferir a tendência geral de ciência referente ao tema específico que se restringe à pesquisa, neste caso, a aplicação de índices para avaliação da qualidade de água de nascentes nos últimos 10 anos.

Figura 1 – Fluxograma da metodologia do trabalho



Fonte: Autora (2024).

4.4. Resultados e Discussão

Comparando as duas bases de dados pesquisadas, a Web of Science forneceu um maior número de trabalhos publicados, refletindo uma maior diversidade de periódicos contemplados. Por motivo de replicabilidade, apenas a base de dados Scopus foi objeto de análise bibliométrica, por um número menor de trabalhos permitir a leitura para análise criteriosa dos selecionados para discussão e levantamento de considerações sobre a temática.

A lista obtida, em ordem decrescente por número de citações, foi organizada no quadro 2, identificando também seu *Digital Object Identifier* (DOI), a revista ou jornal em que foi publicado e o fator de impacto relacionado, por meio da base *Journal Citation Reports - JCR* (Clarivate Analytics). A análise do fator de impacto é importante pois é um parâmetro da cienciometria que leva em consideração o número de citações dos artigos publicados nele próprio e nos demais periódicos indexados (Pinto e Andrade, 1999), indicando a relevância deste periódico no meio acadêmico.

Quadro 2 – Ranking de artigos mais citados quanto ao tema específico

Referência	DOI	Revista	Fator de Impacto (2022)	Quantidade de Citações
Naghibi, S. A. <i>et al.</i> (2020).	https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125197	Journal of Hydrology	6.4	82
Barakat, A. <i>et al.</i> (2018).	https://doi.org/10.1016/j.pce.2018.01.006	Physics and Chemistry of the Earth	3.7	82
Amin, M. G. M. <i>et al.</i> (2017).	https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.07.011	Agricultural Water Management	6.7	66
Ameen, H. A. (2019).	https://doi.org/10.1007/s13201-019-1080-z	Applied Water Science	5.5	55
Shah, M. <i>et al.</i> (2019).	https://doi.org/10.1016/j.gsd.2020.100535	Groundwater for Sustainable Development	5.9	41
Jabbo, J. N. <i>et al.</i> (2022).	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129916	Journal of Cleaner Production	11.1	36
Moldovan, A. <i>et al.</i> (2020).	https://doi.org/10.3390/w12123510	Water (Switzerland)	3.4	33
Cinti, D. <i>et al.</i> (2019).	https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.07.063	Environmental Pollution	8.9	29
Chauhan, J. S.; Badwal, T.; Badola, N. (2020)	https://doi.org/10.1007/s13201-020-1159-6	Applied Water Science	5.5	26
Mukanyandwi, V. <i>et al.</i> (2019).	https://doi.org/10.1007/s10661-019-7757-9	Environmental Monitoring and Assessment	3.0	20

Fonte: Autora (2024).

O trabalho de Jabbo *et al.* (2022) foi o publicado na revista de maior impacto (11.1), sua temática envolve estudos sobre as principais concentrações de cátions e metais pesados nas águas subterrâneas de nascentes, poços, poços escavados à mão e um riacho. A publicação mencionada buscou avaliar a distribuição nos locais de amostragem e investigar a origem dos Elementos Potencialmente Tóxicos (PTEs) devido às ameaças de processos antropogênicos e geogênicos à sua qualidade para avaliar sua adequação para beber e o risco imposto à saúde humana pelo uso do Índice de Qualidade da Água (IQA), Quociente de Perigo (QG) e Índice de Perigo (IH).

Os trabalhos mais citados neste espaço de tempo foram o de Naghibi *et al.* (2020) e o de Barakat *et al.* (2018), ambos com 82 citações. O primeiro desenvolveu métodos para produzir mapas de águas subterrâneas potenciais com apenas dados derivados do modelo digital

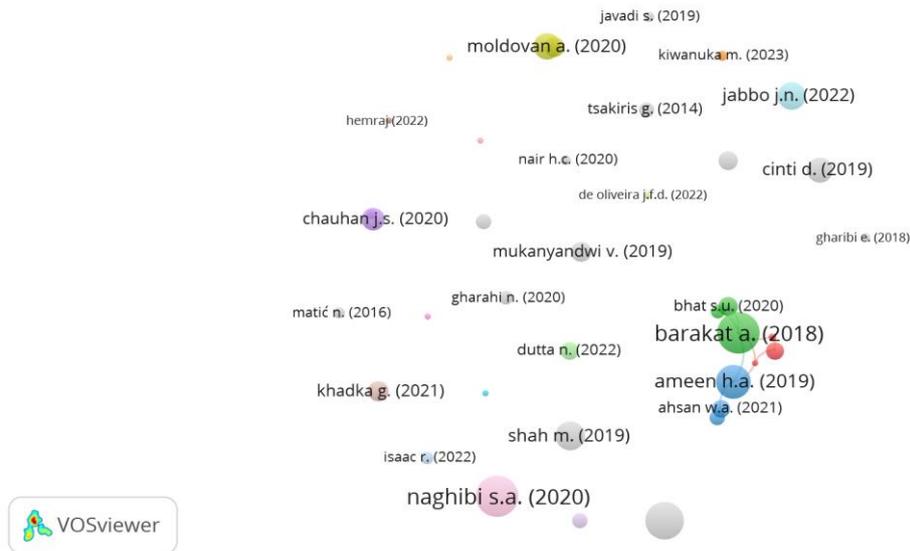
de elevação como entrada, encontrando uma metodologia favorável para produzir informações iniciais para exploração destes recursos hídricos em áreas que enfrentam falta de dados. Já o segundo trabalho deteve-se a examinar a qualidade da água de nascentes cársticas localizadas em uma região do Marrocos para fins potáveis e encontrou resultados satisfatórios quanto aos padrões do país, demonstrando que as amostras de águas analisadas exigiriam apenas um simples tratamento físico e desinfecção, apesar da necessidade de um controle sistemático da qualidade, do tratamento adequado antes da utilização para consumo humano e do acesso ao saneamento de esgoto.

O terceiro artigo mais citado, dentre os levantados no quadro 2, é aquele publicado há mais tempo, no ano de 2017. Amin *et al.* (2017) com suas 66 citações, demonstrou um modelo eco hidrológico de bacia hidrográfica com a finalidade de desenvolver um plano de gestão eficiente para melhoria da qualidade da água e, entre suas considerações, incluiu representações apropriadas das interações entre águas superficiais e subterrâneas e áreas de recarga e descarga de nascentes, demonstrando o papel fundamental das ferramentas empregadas para a gestão de terras agrícolas em regiões cársticas.

O trabalho menos citado do quadro 2 elaborado é também o que foi publicado no periódico de menor Fator de Impacto dentre estes, o que não diminui a sua devida importância. Mukanyandwi *et al.* (2019) em sua publicação traz importantes contribuições sobre a demanda hídrica em países em desenvolvimento ou subdesenvolvidos que se utilizam das fontes naturais de água, as nascentes, para satisfazer as suas necessidades. Os autores, utilizando-se do grau de contaminação, índice de metais e sistemas de informações geográficas, buscaram realizar a distribuição espacial da qualidade de água nas fontes de água consideradas em Ruanda, encontrando que os poluentes são facilmente transportados para os corpos d'água durante a estação chuvosa nas áreas urbanas e rurais, em maior extensão do que durante a estação seca, fazendo com que a qualidade da água desses locais esteja atingindo o limiar de alerta.

A rede bibliométrica ilustrada na figura 2 demonstra a distribuição de análise do tipo citações, utilizando como unidade de análise os documentos e com uma ocorrência de no mínimo uma citação por trabalho, retornando um total de 38 trabalhos diferentes. Destes, os que possuem os círculos com maior diâmetro são aqueles que foram mais citados, ou seja, possuem publicação mais relevante, visto que estão sendo replicados em demais estudos sejam nesta mesma temática ou em outras equivalentes.

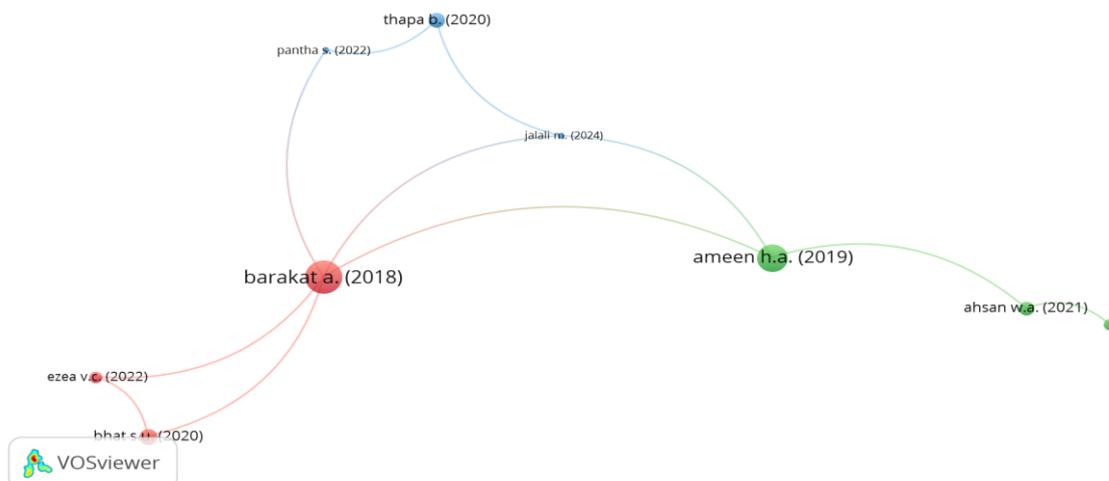
Figura 2 – Rede de citações (sem correlações)



Fonte: Autora (2024) pelo VOSviewer v.1.6.19

Já a rede bibliométrica ilustrada na figura 3 apresenta as citações interligadas entre si, onde foram retornados apenas 9 trabalhos. Este tipo de análise bibliométrica permite inferir a possível existência de cooperação nesta linha de pesquisa. Neste caso em específico, com os indicadores e filtros utilizados, observa-se que não existem muitos pesquisadores utilizando-se de correlação entre pesquisas para ampliar a sua rede bibliográfica com trabalhos desse mesmo levantamento, ou seja, podem estar referenciando estudos em outro período de tempo, com outras palavras-chave ou até mesmo buscando outras bases de dados/periódicos para estabelecer o seu embasamento teórico.

Figura 3 – Rede de citações (com correlações)



Fonte: Autora (2024) pelo VOSviewer v.1.6.19

Barakat *et al.* (2018) publicaram o artigo que obteve maior correlação com os demais trabalhos, sendo citado em demais trabalhos posteriores que se utilizaram de suas discussões para iniciarem novas buscas na temática selecionada. Ezea *et al.* (2022) avaliaram a água de nascente em Igbo-Etiti na Nigéria, para consumo humano e irrigação, usando parâmetros físico-químicos, índice de qualidade da água, minerais e oligoelementos, índices de poluição e avaliação de risco. Na discussão, Ezea *et al.* (2022) relacionaram o achado de Barakat *et al.* (2018), tratando-se do parâmetro de dureza da água, com a presença de metais alcalino-terrosos dissolvidos, como Ca e Mg, com outros cátions divalentes, aumentando a dureza e interferindo no índice de qualidade avaliado.

Bhat *et al.* (2020) também fez referência ao trabalho de 2018 supracitado, buscando demonstrar o diagnóstico da qualidade da água das nascentes de água doce do distrito de Baramulla, no Vale da Caxemira, em contrapartida às ameaças de poluição e consequências previstas das mudanças climáticas para os ecossistemas do Himalaia. Percebe-se que, com o passar dos anos, as publicações em base de dados vão cada vez mais servindo de precursoras para os demais estudos realizados, sejam por referencial teórico ou por discussão de argumentação, contestação ou confrontação de resultados mais recentemente obtidos.

As palavras-chave mais utilizadas foram identificadas e analisadas para classificar os 46 documentos obtidos como amostra final, os resultados estão expostos na tabela 1. Dos 46 documentos avaliados, foram identificadas 795 palavras-chave, destas, 48 palavras ocorreram no mínimo 5 vezes, representando aproximadamente 6% da amostra total. Destas palavras chave, foram gerados 4 clusters nas cores vermelho, verde, azul e amarelo (Figura 4). A palavra-chave “water quality” teve 41 ocorrências, sendo a palavra mais utilizada para resumir o tema principal dos documentos analisados, seguida por “groundwater” (25), “spring water” (23), “water quality indexes” (22), “potable water” (22) e “drinking water” (21).

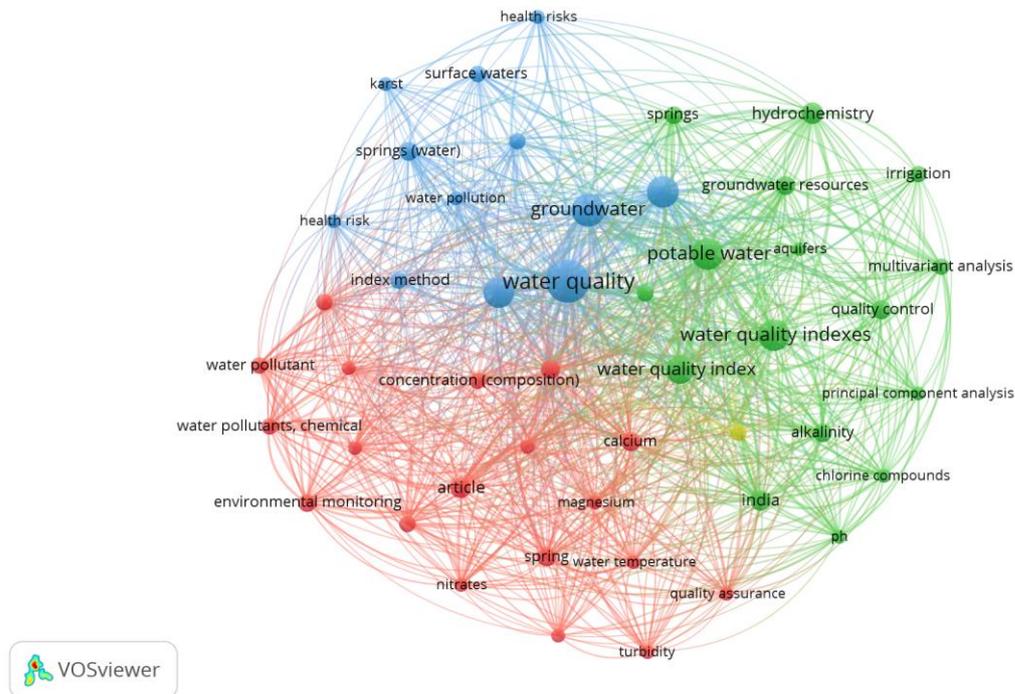
Tabela 1 – Distribuição de palavras-chave por cluster

	Cluster 1 - Vermelho	Cluster 2 - Verde	Cluster 3 – Azul	Cluster 4 – Amarelo	Total
Quantidade de palavras-chave	19	16	12	1	48
%	39,58	33,33	25,00	2,08	100

Fonte: Autora (2024).

A figura 4 apresenta a rede de distribuição de análise do tipo co-ocorrência, utilizando como unidade de análise todas as palavras-chave e com o número de ocorrências igual a 5, retornando um total de 48 palavras diferentes em 3 clusters preponderantes e 1 cluster secundário, cada um destes representado por uma cor diferente. Cada cluster, ou grupo de palavras-chave, constitui uma associação de subtemas que possuem relação entre si. Dentre as palavras que aparecem, é possível destacar tanto as mesmas palavras que estavam nos filtros de pesquisa na base de dados (ex: “water quality”), como também demais palavras que também serviriam de excelentes indicadores para busca de resultados no que concerne a esta temática (ex: “groundwater resources”).

Figura 4 – Rede de palavras-chave



Fonte: Autora (2024) pelo VOSviewer v.1.6.19

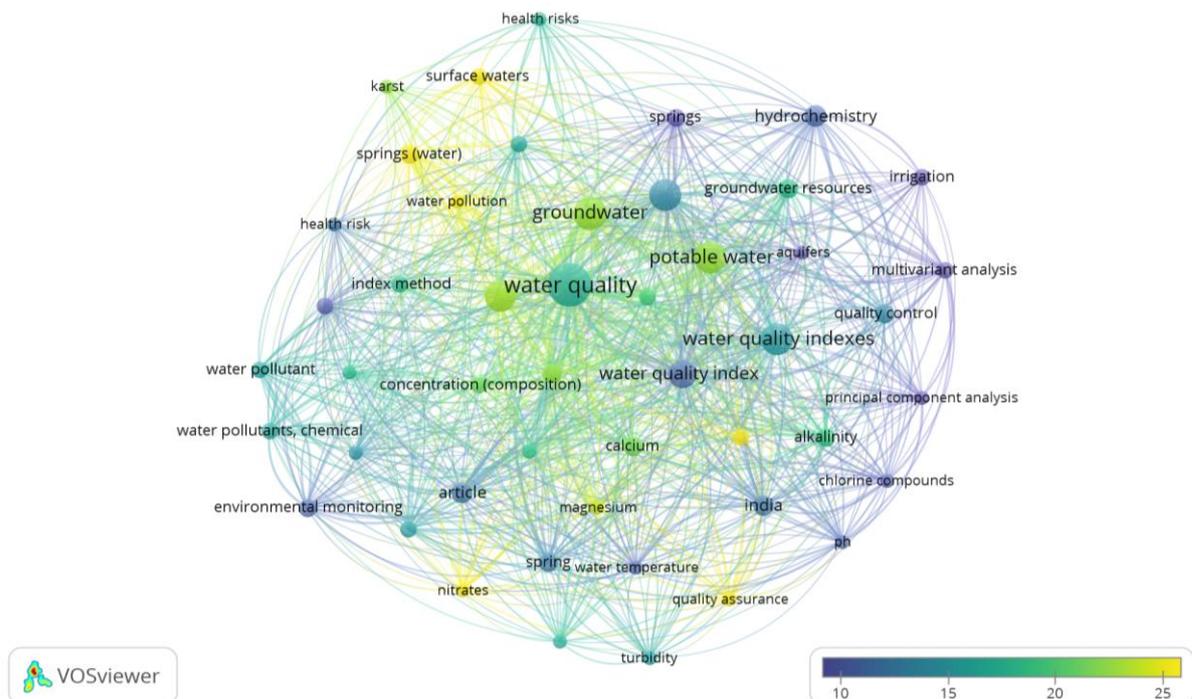
As palavras são agrupadas nos chamados clusters, em representação gráfica com diferentes cores e tamanhos, de acordo com a ocorrência das palavras e suas relacionadas áreas de pesquisa. Han; Gui; Xu (2013) afirmaram que a análise dos clusters de palavras-chave é uma metodologia eficiente e validada para identificação de temas e elaboração de diagramas estratégicos para visualização das tendências evolutivas de um campo científico.

Algumas das palavras-chave que foram encontradas ilustram tendências de pesquisas ou resultados amplamente encontrados nesta linha de pesquisa. A palavra-chave

“environmental monitoring”, por exemplo, traduzida por monitoramento ambiental, é um tópico recorrente nas discussões das publicações sobre qualidade de água, devido a necessidade de acompanhamento e controle dos parâmetros para fins de preservação deste recurso natural. Por exemplo, Abdo *et al.* (2024) analisaram os níveis individuais de agrupamento de metais pesados em diferentes fontes de água e regiões e calculou um índice de poluição por metais pesados (HPI) em cinco tipos diferentes de água potável. Neste estudo foi relatada um pouco da importância do monitoramento ambiental, como também foi possível destacar a ocorrência de demais palavras que estão na rede bibliométrica citada.

Por comparativo, ao analisar a mesma distribuição de análise do tipo co-ocorrência mas com a visualização de sobreposição (figura 5) de citações, é possível verificar que os clusters conseguem mapear a literatura traçando as principais vertentes. As tendências de cores referem-se à quantidade de links, já o diâmetro relaciona-se a quantidade de ocorrências. Por exemplo, a palavra “quality assurance”, traduzida por garantia de qualidade, é de cor amarela pois possui 32 links, no entanto possui pouco destaque em seu cluster pois só tem 5 ocorrências.

Figura 5 – Sobreposição de palavras-chave por citação

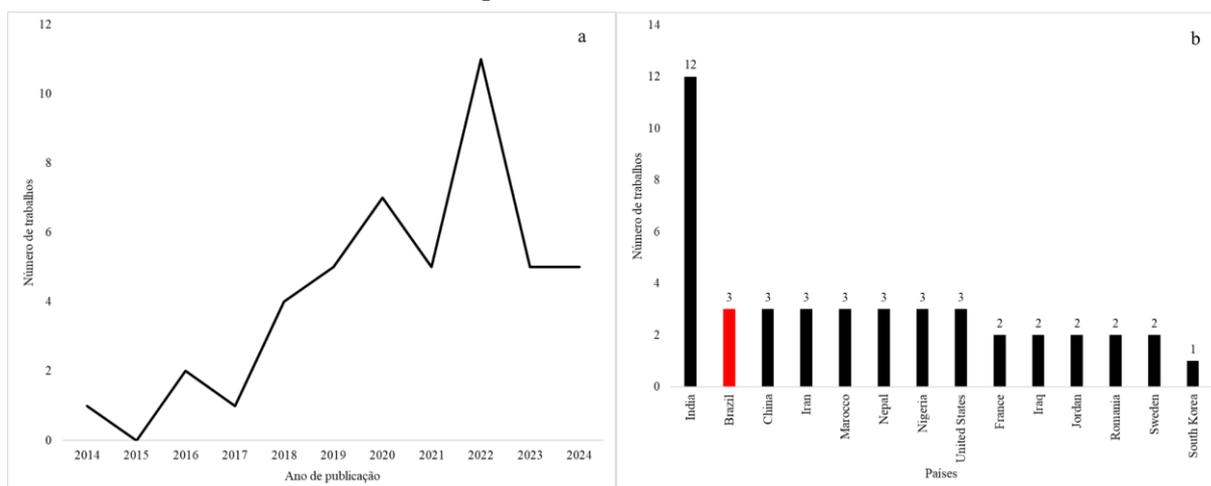


Fonte: Autora (2024) pelo VOSviewer v.1.6.19

Ao realizar a distribuição dos 10 países que mais publicam relacionado a temática delineada (figura 6b), observa-se que a Índia se sobressai com o número de 12 trabalhos,

aproximadamente 26% do total dos selecionados. Este país destaca-se pela abundância de fontes e nascentes de água, bem como pela necessidade de analisar e buscar alternativas para abastecimento hídrico usando dispositivos padrão e buscando a segurança para o consumo.

Figura 6 – Número de trabalhos sobre a temática: (a) 2014 - 2024; (b) distribuição por países, com destaque ao Brasil (coluna vermelha)



Fonte: Autora (2024) por meio do software Microsoft Excel v. Office16.

Um dos trabalhos publicados na Índia é o de Dutta *et al.* (2022), que teve como objetivo avaliar o Índice de Qualidade da Água (IQA) do distrito de South Sikkim, Índia, na região do Himalaia Oriental. Os autores conseguiram obter resultados no que concerne à adequação da água fornecida após o tratamento convencional a residências individuais pela administração local, sendo livre de contaminantes e segura para consumo humano. Como demais outros estudos, as considerações finais geralmente incluem sugestões para o planejamento e gerenciamento adequados dos recursos de água potável.

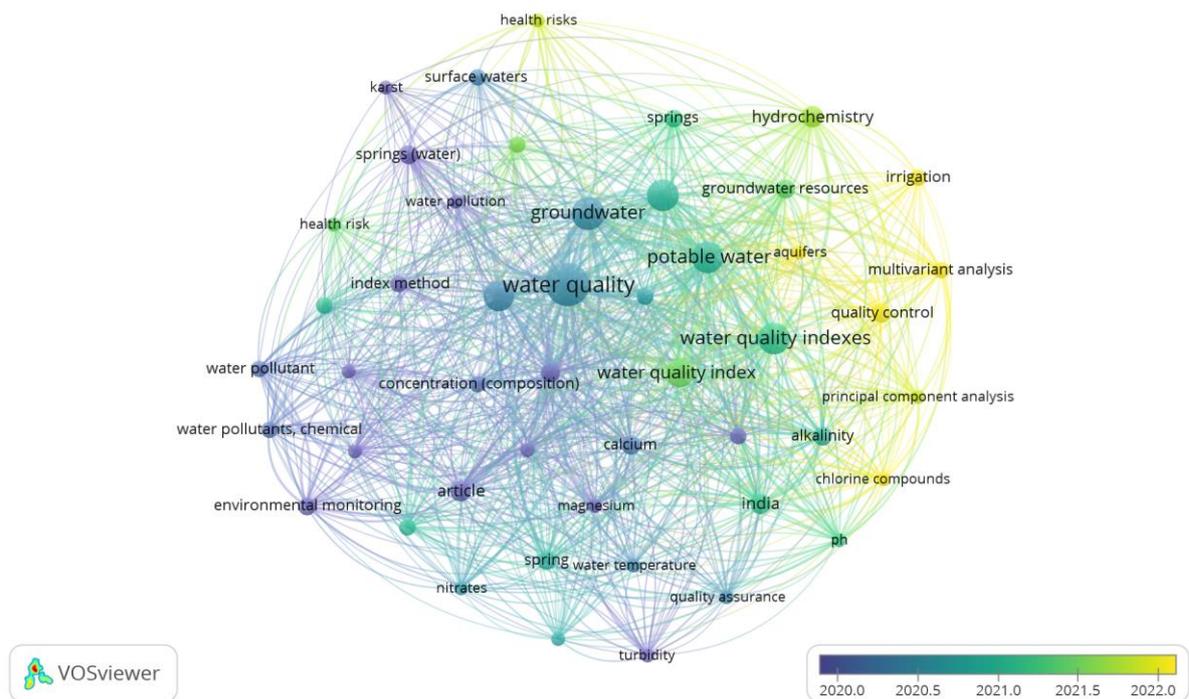
O Brasil aparece na segunda posição dos países que mais publicam, apesar de ter a mesma quantidade de publicações que outros 6 países (China, Iran, Morocco, Nepal, Nigeria e United States). Observa-se a ausência de estudos nesta temática, apontando a necessidade de explorar este novo recurso, bem como o potencial de inovação ao desenvolver índices para monitorar a qualidade ambiental destes corpos hídricos, visto que se constituem Área de Preservação Permanente (APP), conforme a Lei N° 12.651/2012 – Código Florestal Brasileiro (Brasil, 2012).

No Brasil, Souza *et al.* (2022) avaliaram a qualidade hidroambiental de três nascentes usadas para abastecimento humano em comunidades rurais do município de Baianópolis no estado da Bahia. Neste estudo encontraram resultados que evidenciaram que os pontos com

maiores impactos antrópicos são também os com maiores inconformidades com os padrões de potabilidade estabelecidos pelas legislações vigentes, estabelecendo relação direta que leva a degradação destes corpos hídricos.

Observa-se na figura 6a, o ano que houve uma maior quantidade de trabalhos publicados foi em 2022, destacando comparativamente à figura 7 em como se deu a distribuição das palavras-chave nos anos de análise. No grupo de palavras ilustrado pela cor amarela, é perceptível uma nova forma de pesquisa que se utiliza de “principal componente analysis” e “multivariant analysis”, Análise do Componente Principal (ACP) e análise multivariante, respectivamente conforme tradução. Esses tipos de métodos envolvem estatística para verificar correlação e caracterização das variáveis, parâmetros e propriedades relacionadas, que auxiliam na dedução de diversas problemáticas ambientais. Pinto (2021) afirmou que a técnica estatística ACP para aplicação com dados de água pode corroborar na investigação de fontes de poluição, variações temporais e monitoramento das condições de qualidade da água.

Figura 7 – Sobreposição de palavras-chave por ano



Fonte: Autora (2024) pelo VOSviewer v.1.6.19

Destaca-se um artigo brasileiro dos autores Oliveira *et al.* (2022), que apontaram o monitoramento de nascentes e cursos d'água como fundamental para subsidiar ações de proteção e recuperação ambiental em bacias hidrográficas. Cada um dos trabalhos lidos

apresenta resultados relevantes no âmbito científico, bem como contribuições para a qualidade de vida humana, por meio da manutenção da qualidade ambiental das nascentes e consequente equilíbrio ecológico.

4.5. Conclusões

É necessário evidenciar a importância de artigos com revisão de literatura com métodos padronizados, visto que conseguem verificar o estado da arte e buscar uma uniformização de metodologia para verificar a qualidade ambiental das nascentes, importantes recursos hídricos para a manutenção ambiental e o equilíbrio ecológico.

Por meio deste estudo foi possível fornecer um panorama geral e recente das publicações sobre um tema específico, apesar de possuir um grande potencial em ser replicado para quaisquer assuntos, desde que sejam determinados criteriosos filtros e indicadores para restringir e limitar as publicações de interesse.

Diante de todos os trabalhos levantados, analisados e lidos na íntegra, dos mais diversos países e nos últimos 10 anos, observa-se uma grande divergência no que tange à metodologia para determinação de qualidade. Apesar do uso de alguns índices, ainda não existe uma uniformização quanto a consolidação de procedimentos para avaliar e determinar a situação das nascentes.

4.6. Referências

ABDO, N.; ALHAMID, A.; ABU-DALO, M.; GRABOSKI-BAUER, A.; AL HARAHSHEH, M. Potential health risk assessment of mixtures of heavy metals in drinking water. **Groundwater for Sustainable Development**, v. 25, p. 101-147, maio 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gsd.2024.101147>.

AMEEN, H. A. Spring water quality assessment using water quality index in villages of Barwari Bala, Duhok, Kurdistan Region, Iraq. **Applied Water Science**, v. 9, n. 8, p. 1-12, 14 out. 2019. Springer Science and Business Media LLC. <https://doi.org/10.1007/s13201-019-1080-z>.

AMIN, M. G. M.; VEITH, T. L.; COLLICK, A. S.; KARSTEN, H. D.; BUDA, A. R. Simulating hydrological and nonpoint source pollution processes in a karst watershed: A variable source area hydrology model evaluation. **Agricultural Water Management**, v. 180, p. 212–223, jan. 2017. Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.07.011>.

BARAKAT, A.; MEDDAH, R.; AFDALI, M.; TOUHAMI, F. Physicochemical and microbial assessment of spring water quality for drinking supply in Piedmont of Béni-Mellal Atlas (Morocco). **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 104, p. 39–46, abr. 2018. Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2018.01.006>.

BHAT, S. U.; MUSHTAQ, S.; QAYOOM, U.; SABHA, I. Water Quality Scenario of Kashmir Himalayan Springs—a Case Study of Baramulla District, Kashmir Valley. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 231, n. 9, 22 ago. 2020. Springer Science and Business Media LLC. <https://doi.org/10.1007/s11270-020-04796-4>.

BRASIL. Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 28 maio 2012.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Água: rios e reservatórios**. São Paulo, SP, 2007. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/rios/indice.asp>. Acesso em: 22 jul. 2023.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Apêndice D – Índices de Qualidade das Águas**. São Paulo, SP, 2018. 32 f. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/12/2018/03/Apendice-D-Indices-de-Qualidade-das-Aguas-1.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2023.

CHAUHAN, J. S.; BADWAL, T.; BADOLA, N. Assessment of potability of spring water and its health implication in a hilly village of Uttarakhand, India. **Applied Water Science**, v. 10, n. 2, p. 1-10, 11 fev. 2010. Springer Science and Business Media LLC. <https://doi.org/10.1007/s13201-020-1159-6>.

CINTI, D.; VASELLI, O.; PONCIA, P. P.; BRUSCA, L.; GRASSA, F.; PROCESI, M.; TASSI, F. Anomalous concentrations of arsenic, fluoride and radon in volcanic-sedimentary aquifers from central Italy: Quality indexes for management of the water resource. **Environmental Pollution**, v. 253, p. 525–537, out. 2019. Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.07.063>

DUTTA, N.; THAKUR, B. K.; NURUJAMAN, M.; DEBNATH, K.; BAL, D. P. An assessment of the water quality index (WQI) of drinking water in the Eastern Himalayas of South Sikkim, India. **Groundwater for Sustainable Development**, v. 17, 100735, maio 2022. Elsevier BV <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2022.100735>.

EBRAHEEM, A. A.; SHERIF, M.; AL MULLA, M.; ALGHAFI, K.; SEFELNASR, A. Assessment of Groundwater Resources in Water Spring Areas Using Geophysical Methods, Northern UAE. **Natural Disaster Science And Mitigation Engineering: DPRI reports**, p. 493-508, 12 out. 2021. Springer Singapore. http://dx.doi.org/10.1007/978-981-16-2904-4_20.

EZEA, V. C.; IHEDIOHA, J. N.; ABUGU, H. O.; EKERE, N. R. A multi-criteria approach to drinking and irrigation water assessment of spring water in Igbo-Etiti, Nigeria. **Applied Water Science**, v. 12, n. 9, p. 1-20, 06 ago. 2022. <https://doi.org/10.1007/s13201-022-01747-8>.

FELIPPE, M. F. **Caracterização e tipologia de nascentes em unidades de conservação de Belo Horizonte – MG com base em variáveis geomorfológicas, hidrológicas e ambientais.**

2009. 277 f. Dissertação (Mestrado em Geografia e Análise Ambiental) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

GOMES, C. S.; FERREIRA, L. L. B.; HENRIQUES, R. J.; BARROS, J. S.; CARVALHO, R. P. B.; MAGALHÃES JR., A. P. Nascentes naturais em áreas urbanas: usos e funções socioambientais em Belo Horizonte, MG. **Geo UERJ**, n. 39, p. 1 - 20, 26 dez. 2021.

Universidade de Estado do Rio de Janeiro. <http://dx.doi.org/10.12957/geouerj.2021.41059>.

GOMES, P. M.; MELO, C.; VALE, V. S. Avaliação dos impactos ambientais em nascentes na cidade de Uberlândia-MG: análise macroscópica. **Sociedade & Natureza**, v. 17, n. 32, p. 103-120, jun. 2005. 10.14393/SN-v17-2005-9169.

HAN, H.; GUI, J.; XU, S. Revealing research themes and their evolutionary trends using bibliometric data based on strategic diagrams. **2013 International Conference on Information Science and Cloud Computing Companion**, v. 28, p. 653-659, dez. 2013. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/iscc-c.2013.121>.

JABBO, J. N.; ISA, N. M.; ARIS, A. Z.; RAMLI, M. F.; ABUBAKAR, M. B. Geochemometric approach to groundwater quality and health risk assessment of heavy metals of Yankari Game Reserve and its environs, Northeast Nigeria. **Journal of Cleaner Production**, v. 330, n. 129916, 1 jan. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129916>.

MOLDOVAN, A.; HOAGHIA, M.A.; KOVACS, E.; MIREA, I. C.; KENESZ, M.; ARGHIR, R. A.; PETCULESCU, A.; LEVEI, E. A.; MOLDOVAN, O. T. Quality and health risk assessment associated with water consumption—a case study on karstic springs. **Water**, v. 12, n. 12, p. 3510, 14 dez. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/w12123510>.

MOREIRA, P. S. C.; GUIMARÃES, A. J. R.; TSUNODA, D. F. Qual ferramenta bibliométrica escolher? Um estudo comparativo entre softwares. **P2P e Inovação**, v. 6, p. 140-158, 31 mar. 2020. Logeion Filosofia da Informacao. <http://dx.doi.org/10.21721/p2p.2020v6n2.p140-158>.

MUKANYANDWI, V.; KURBAN, A.; HAKORIMANA, E.; NAHAYO, L.; HABIYAREMYE, G.; GASIRABO, A.; SINDIKUBWABO, T. Seasonal assessment of drinking water sources in Rwanda using GIS, contamination degree (Cd), and metal index (MI). **Environmental Monitoring And Assessment**, v. 191, n. 12, p. 1-13, 9 nov. 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-019-7757-9>.

NAGHIBI, S. A.; HASHEMI, H.; BERNDTSSON, R.; LEE, S. Application of extreme gradient boosting and parallel random forest algorithms for assessing groundwater spring potential using DEM-derived factors. **Journal of Hydrology**, v. 589, n. 125197, out. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125197>.

OLIVEIRA, A. S.; SILVA, A. M.; MELLO, C. R. Dinâmica da água em área de recarga de nascentes em dois ambientes na região Alto Rio Grande, Minas Gerais. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 25, n. 1, p. 59-67, jan. 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522020148177>.

OLIVEIRA, J. F. D.; COELHO, G.; LIMA DOMINGOS, A. L.; SILVA AMORIM, J. Water quality in microbasins and springs of the mineral water region of Minas Gerais State, Brazil.

Environmental Monitoring and Assessment, v. 194, n. 3, 24 fev. 2022.
<https://doi.org/10.1007/s10661-022-09885-x>.

PINTO, A. C.; ANDRADE, J. B. Fator de impacto de revistas científicas: qual o significado deste parâmetro?. **Química Nova**, v. 22, n. 3, p. 448–453, jun. 1999. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40421999000300026>.

PINTO, C. C. **Monitoramento de qualidade de água baseado em análise por componentes principais**: uma abordagem local. 2021. 170 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021

RAMOS, S. T. B.; MAFRA, M. S. H.; RECH, T. D.; SIEGLOCH, A. E.; RECH, A. F. Water quality of springs in areas under different land uses in the southern highlands of Santa Catarina. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, v. 13, n. 4, p. 1, 5 jul. 2018. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrográficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.2201>.

SHAH, M.; SIRCAR, A.; VARSADA, R.; VAISHNANI, S.; SAVALIYA, U.; FALDU, M.; VAIDYA, D.; BHATTACHARYA, P. Assessment of geothermal water quality for industrial and irrigation purposes in the Unai geothermal field, Gujarat, India. **Groundwater for Sustainable Development**, v. 8, p. 59–68, abr. 2019. Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2018.08.006>

SOUZA, K. I. S.; CHAFFE, P. L. B.; PINTO, C. R. S. C.; NOGUEIRA, T. M. P. Proteção ambiental de nascentes e afloramentos de água subterrânea no Brasil: histórico e lacunas técnicas atuais. **Águas Subterrâneas**, v. 33, n. 1, p. 76–86, 6 mar. 2019. Lepidus Tecnologia. <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v33i1.29254>.

SOUZA, N. N.; AMARAL, L. G.; CHIARELOTTO, M.; FUENTES, T. G.; SANTOS, M. A. Análise hidroambiental de nascentes utilizadas para abastecimento humano na zona rural do município de Baianópolis (Bahia). **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 10, n. 3, p. 202–224, 14 dez. 2022. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7519091>.

5. CAPÍTULO 2 - GEOPROCESSAMENTO APLICADO À AVALIAÇÃO DE ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE DE NASCENTES INSERIDAS NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DO COMPLEXO PORTUÁRIO DE SUAPE

5.1. Resumo:

As nascentes são corpos hídricos fundamentais para o equilíbrio ecológico das bacias hidrográficas, que são unidades ideais para utilização em estudos ambientais. Em virtude disto, buscou-se avaliar as nascentes e suas Áreas de Preservação Permanente, inclusas na microbacia do Riacho Algodoads, da área de influência do Porto de Suape, por meio de geotecnologias, como o sistema Mapbiomas. A metodologia consistiu em elaborar mapas temáticos e levantar dados quantitativos, analisando de 2002 a 2022 variações de uso e ocupação do solo e dinâmicas de curvas de nível que podem influenciar no fluxo da água no solo, com o transporte de materiais e uma possível disseminação de contaminação na área. No período selecionado, observou-se aumento da classe Área Urbanizada (+ 77,17%), como também de Formação Florestal (+ 53,51%). Contudo, houve redução de Rio, Lago e Oceano (-59,55%), que contempla os corpos hídricos na área da pesquisa. O estudo apresentou similaridade com publicações relacionadas e contribuiu para a conclusão que as ferramentas de geotecnologia se mostram eficientes no monitoramento ambiental, com abordagem precisa da cobertura vegetal e contribuem para implementação de medidas apropriadas para prevenção e mitigação de problemas decorrentes dos impactos ambientais adversos decorrentes da interação entre atividades humanas e meio ambiente.

Palavras-chaves: Geoprocessamento; Código florestal; Monitoramento ambiental.

5.2. Introdução

As bacias hidrográficas são passíveis de utilização como área de estudo, devido além de unidades hidrológicas, tratem-se também de unidades biofísicas e sociopolíticas, com contribuições primordiais para definição de serviços alimentares, sociais, de hábitat e econômicos, ou seja, atributos de suporte à vida (Taye & Moges, 2020).

As nascentes são fundamentais para a formação e manutenção dos cursos d'água das bacias (Martins *et al.*, 2020). A mata ciliar, nas proximidades das nascentes, funciona como meio de preservação da diversidade do meio ambiente e como uma “esponja”, para absorção de água da chuva e recarga do lençol freático (Freire *et al.*, 2022).

Desta forma, estes sistemas florestais estabelecidos são fundamentais para redução do assoreamento e degradação do meio ambiente, além de consistir em meio natural de

processamento e transformação da diversidade ambiental. O monitoramento das faixas às margens dos corpos hídricos é imprescindível, por tratarem-se de suporte de segurança para o equilíbrio do ecossistema e suas relações intrínsecas, estando associada ao manejo e conservação dos recursos naturais (Castro; Castro; Souza, 2013)

O Código Florestal Brasileiro estabelece a delimitação das Áreas de Preservação Permanente (APP), dentre outros critérios, quanto às áreas no entorno das nascentes e dos olhos d'água perenes, qualquer que seja sua situação topográfica, no raio mínimo de 50 (cinquenta) metros. Corroborando a isso, a supracitada legislação define nascente como “afloramento natural do lençol freático que apresenta perenidade e dá início a um curso d'água” e olho d'água como “afloramento natural do lençol freático, mesmo que intermitente” (Brasil, 2012).

Em 2014 foi publicado o Programa Nascentes de Suape do Complexo Industrial Portuário Governador Eraldo Gueiros – Suape (CIPS), que teve como objetivo conhecer a localização e as condições ambientais das áreas de nascentes localizadas na Zona de Preservação Ecológica (ZPEc). O projeto Nascentes de Suape (2018) identificou cerca de 70 nascentes distribuídas em toda a área de influência da Microbacia do Riacho Algoduais, no município supracitado e no município vizinho Cabo de Santo Agostinho.

O avanço tecnológico relacionado à análise de documentos cartográficos e imagens obtidas por sensoriamento remoto tem sido uma ferramenta fundamental para o estudo do uso e cobertura do solo (Francisco *et al.*, 2020). No caso das bacias hidrográficas, o uso e a cobertura podem ser modificados por atividades antrópicas, resultando em alterações nos atributos fisiográficos do ambiente natural (Vale; Costa; Pimentel, 2021).

A classificação automática das imagens obtidas permite a criação de diversos tipos de índices conforme as diferentes necessidades. Destes, a exemplo o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI – Normalized Difference Vegetation Index), com a finalidade de estudar áreas antropizadas para verificar a biomassa da cobertura vegetal (Moreira, 2012).

A utilização de técnicas de geoprocessamento, sensoriamento remoto e sistema de informações geográficas associadas ao Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil - MapBiomas, realiza o processamento em nuvem e classificação automatizada para desenvolvimento e operação na plataforma Google Earth Engine, gerando uma série histórica de mapas anuais de uso e cobertura da terra do Brasil (Mapbiomas, 2021).

Conforme a publicação científica de referência, Souza *et al.* (2020), o esquema de classificação do MapBiomas é um sistema hierárquico com uma combinação de classes de uso e ocupação do solo compatíveis com os sistemas de classificação da Organização para Agricultura e Alimentação (FAO) e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

O presente estudo tem como objetivo avaliar, por meio de técnicas de geoprocessamento e processamento digital de imagens, a evolução espaço-temporal do uso e ocupação do solo no território adjacente às APPs de nascentes localizadas nesta área de influência do Porto de Suape, Pernambuco. Nas discussões, a partir dos dados numéricos e mapas interativos, propõe-se verificar possíveis causas para alterações na qualidade ambiental destes corpos hídricos sensíveis da região.

5.3. Material e Métodos

5.3.1. Descrição da área de estudo

O Complexo Industrial Portuário de SUAPE (CIPS) está localizado no município pernambucano de Ipojuca, a uma distância de cerca de 40 km da capital Recife. Nesta área, são desenvolvidas atividades econômicas intensas, atividades portuárias de exportação e importação de produtos a nível nacional e internacional, bem como habitam comunidades em seu território estratégico.

Quanto a sua caracterização física, o CIPS está na Zona Fisiográfica do Litoral Pernambucano, apresentando clima quente úmido pseudo-tropical do tipo Ams', segundo o sistema Köppen de classificação climática. O complexo está localizado no setor sul da Bacia Pernambuco, com embasamento de rochas ígneas de idade pré-cambriana e sequência vulcano-sedimentar cretácica (Formação Cabo e vulcânicas da Suíte Ipojuca) e sedimentos quaternários (CIPS, 2011).

Além destes aspectos físicos, esta área situa-se em uma zona úmida, com bom desenvolvimento do solo, o que favorece a ocorrência de água subterrânea, em razão da infiltração direta da chuva. A recarga hídrica se dá nos afloramentos dos aquíferos e os exutórios nos rios e no mar (CIPS, 2011).

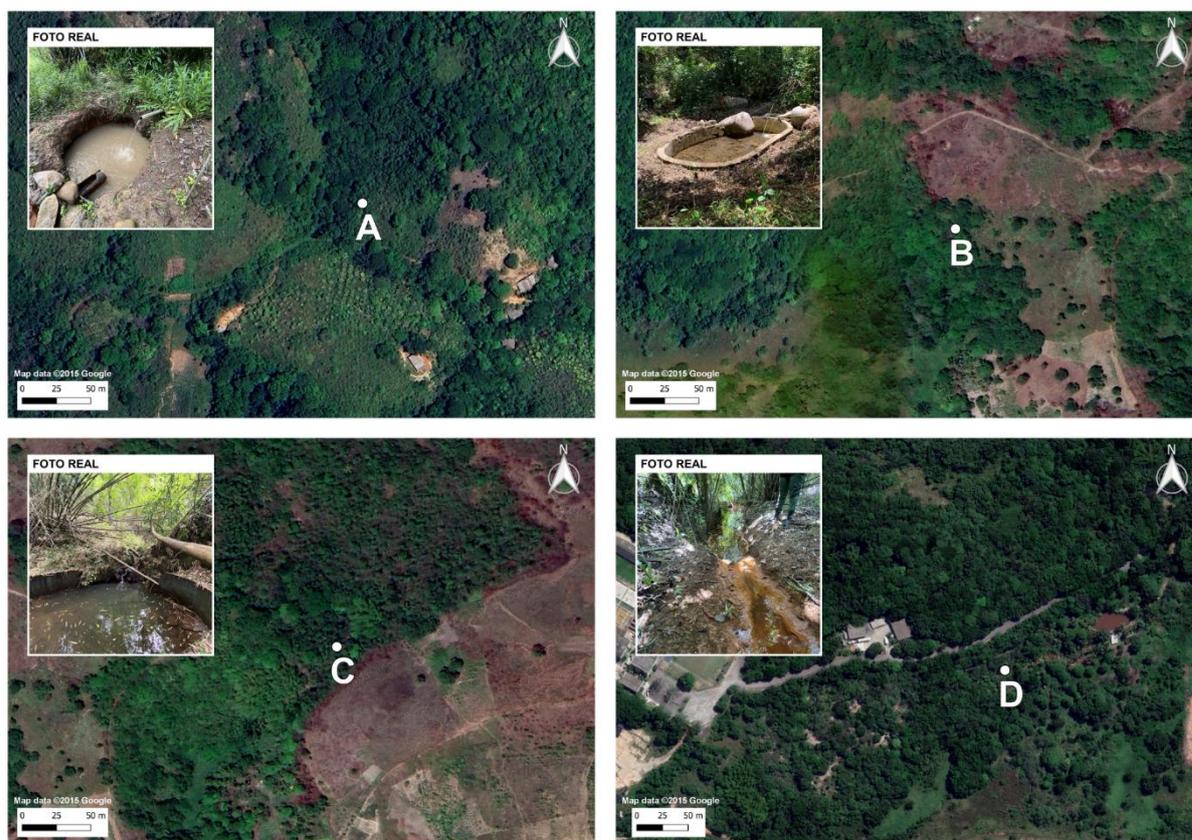
O Porto de Suape trata-se de um conjunto de infraestruturas e indústrias de desenvolvimento, produção e escoamento comercial referência no estado de Pernambuco pelo seu potencial econômico. Este porto encontra-se localizado na Bacia do Rio Ipojuca. Nesta Bacia, dentre as demais Microbacias constituintes, está a do Riacho Algoduais, inserida na área de influência de Suape e responsável pelo abastecimento hídrico para consumo, agricultura e indústria. Esta microbacia destaca-se por sua abundância de nascentes.

Conforme o Plano diretor do CIPS, a área territorial deste divide-se em duas Macrozonas: Macrozona de Desenvolvimento Econômico – MADE e Macrozona de Proteção Ambiental e Sociocultural – MAAS, esta segunda contendo a Zona de Preservação Ecológica -

ZPEC, que “compreende as áreas com características ambientais diversas que circundam as zonas produtivas do CIPS, destinadas à proteção para fins de preservação ecológica, bem como para a promoção de compensação ambiental futura no âmbito do CIPS” (Pernambuco, 2022).

Foram selecionados 4 pontos de interesse para a amostragem (figura 1), que representam cursos d’água contribuídos por estas nascentes, que estão inclusos na malha da Microbacia do riacho Algodoads, dentro do território de influência de Suape.

Figura 1 – Localização e fotos reais dos pontos de estudo



Fonte: Autora pelo Qgis v. 3.10.14

5.3.2. Levantamento e processamento de dados

Os 4 pontos escolhidos (quadro 1), foram georreferenciados in loco, com auxílio do GPS Garmin Etrex Vista HCx, fixados ao Google Earth Pro e extraídos os arquivos compatíveis com o software livre Qgis (.kml). Nestes dados vetoriais, as coordenadas foram reprojetadas para o Sistema de Referências de Coordenadas (SRC) EPSG:31985 - SIRGAS 2000 / UTM fuso 25 S. Com os pontos ajustados, utilizando a ferramenta Buffer, foram demarcadas as APPs, no raio de 50 metros de cada corpo hídrico.

Quadro 1 – Localização da amostragem

Ponto de Estudo	Longitude	Latitude
A	35° 2' 22.569" O	8° 19' 47.038" S
B	35° 1' 21.036" O	8° 19' 52.300" S
C	35° 1' 11.882" O	8° 19' 51.272" S
D	35° 0' 43.727" O	8° 22' 7.612" S

Fonte: Autora (2024).

Para análise do uso e ocupação do solo, foi utilizada a Coleção 8 do MapBiomas, que contempla os mapas e dados anuais do Brasil do período de 1985 a 2022. Foram extraídos os arquivos dos anos de 2022, 2018, 2014, 2010, 2006 e 2002, de modo a verificar a variação do solo no espaço-temporal numa frequência quadrienal. Os arquivos foram baixados no SRC original EPSG:4326 - WGS 84 e, posteriormente, também reprojitados para o SRC EPSG:31985 - SIRGAS 2000 / UTM fuso 25 S.

Foi criado um polígono que contém os 4 pontos de interesse, criando uma área de influência. Todas as imagens reprojitadas foram recortadas conforme a camada de máscara do polígono criado. O processamento das imagens foi realizado conforme o sistema de classificação de cobertura e uso do solo para o MapBiomas no Brasil, obtendo as classes elencadas no quadro 2 a seguir.

Quadro 2 – Classes de uso e ocupação do solo do Projeto Mapbiomas

CLASSES MAPBIOMAS – COLEÇÃO 8		
Afloramento Rochoso	Algodão	Apicum
Aquicultura	Área Urbanizada	Arroz
Café	Campo Alagado e Área Pantanosa	Cana
Citrus	Dendê	Floresta Alagável
Formação Campestre	Formação Florestal	Formação Savânica
Mangue	Mineração	Mosaico de Usos
Outras Áreas não Vegetadas	Outras Formações não Florestais	Outras Lavouras Perenes
Outras Lavouras Temporárias	Pastagem	Praia, Duna e Areal
Restinga Arbórea	Restinga Herbácea	Rio, Lago e Oceano
Silvicultura	Soja	-

Fonte: Souza *et al.* (2020).

A camada shapefile dos cursos d'água foi obtida na plataforma Metadados do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), por meio de áreas de contribuição hidrográfica da Base Hidrográfica Ottocodificada (BHO) utilizada pela Agência Nacional de

Águas e Saneamento Básico (ANA) na gestão de recursos hídricos a partir do Mapeamento Sistemático Brasileiro.

A camada das curvas de nível foi desenvolvida com o auxílio do complemento do Qgis denominado Open Topography, que consegue fornecer o Modelo Digital de Elevação (MDE) para determinação dos perfis topográficos de diferenciação. Foi utilizado o MDE Copernicus Global DSM 30m para download da imagem espacial do polígono anteriormente já definido. No próprio Qgis, foi realizada a conversão para o formato shapefile com a equidistância de 10 metros entre curvas, visando realizar a análise das variações do relevo na área de estudo.

As imagens do Mapbiomas foram obtidas no formato matricial e para sua leitura de atributos foram convertidos os pixels para shapefile. No Qgis, foram utilizadas as ferramentas “pixel para polígono”, “geoprocessamento para vetor” e por último a criação da tabela de atributos, criando uma coluna para cálculo de área em quilômetros quadrados (km²) de cada classe de solo incluída na área de interesse. Estas informações foram calculadas para todos os anos de estudos e, posteriormente, processadas com o uso do software Microsoft Excel.

Ao final da elaboração de todos os elementos gráficos e mapas, os resultados obtidos foram discutidos à luz de publicações científicas relevantes e atuais, bem como legislações e documentos técnicos, que foram levantados por meio de busca em plataforma digital (Scholar Google) e periódicos científicos (Periódicos Capes - acesso remoto via CaFe institucional).

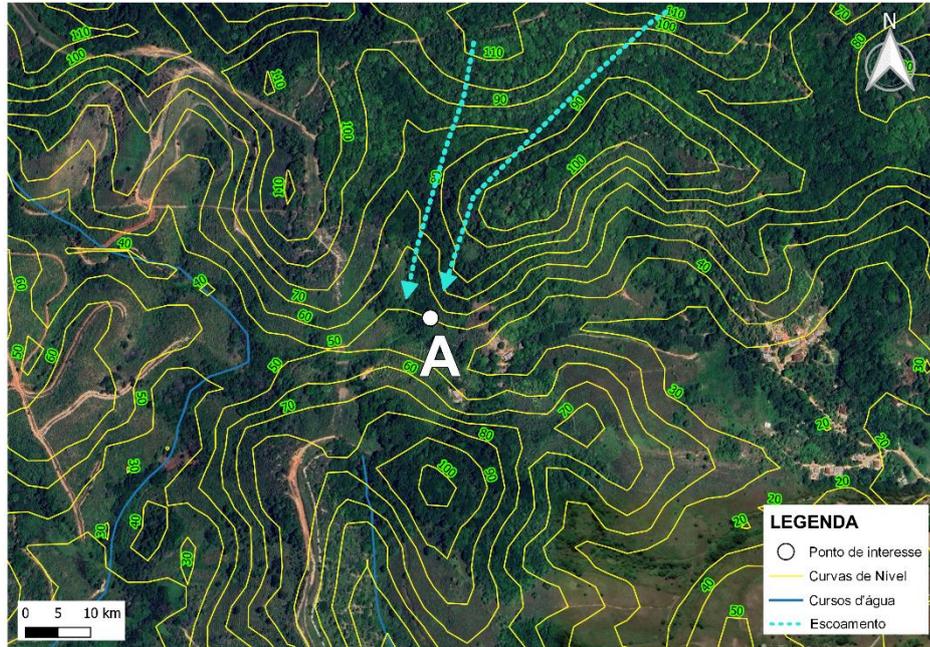
5.4. Resultados e Discussão

O levantamento dos aspectos ambientais aliado com os dados de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento permitiram obter uma série de discussões a respeito da área de interesse desse estudo. O primeiro aspecto discutido trata-se do padrão de drenagem e o regime de escoamento. O escoamento superficial se relaciona ao deslocamento da água sobre a superfície do solo, quando a intensidade da precipitação excede a taxa da capacidade de infiltração do solo (Pinto *et al.*, 2011).

Silva *et al.* (2019) avaliam que as áreas de recarga conseguem desempenhar um papel hidrológico satisfatório, quando consideradas a presença de áreas de infiltração. Com as ferramentas geográficas, analisando-se as curvas de nível, busca-se encontrar estas áreas de infiltração ou contribuição dos pontos de interesse para a bacia hidrográfica que está inserida. Já o estudo mais avançado, com o uso de modelagem hidrológica, pode avaliar o efeito na geração de escoamento superficial (Silva, 2023). Para análise dessa variável ambiental, foram

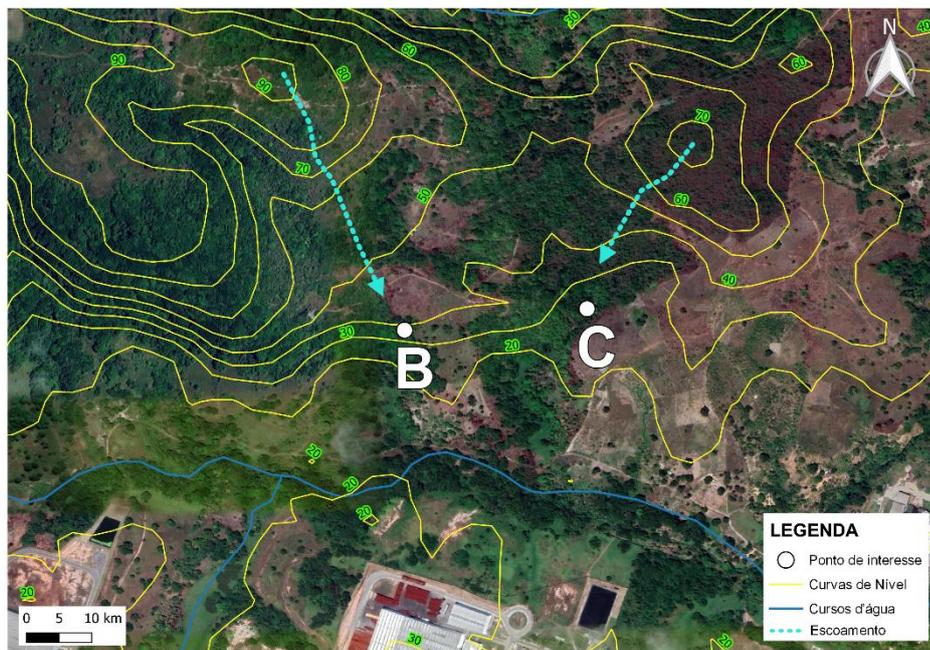
criados os mapas das figuras 2, 3 e 4, delineando o possível escoamento superficial das águas pluviais de acordo com as diferenças de nível do relevo no entorno dos pontos de interesse.

Figura 2 – Curvas de nível do ponto de interesse A



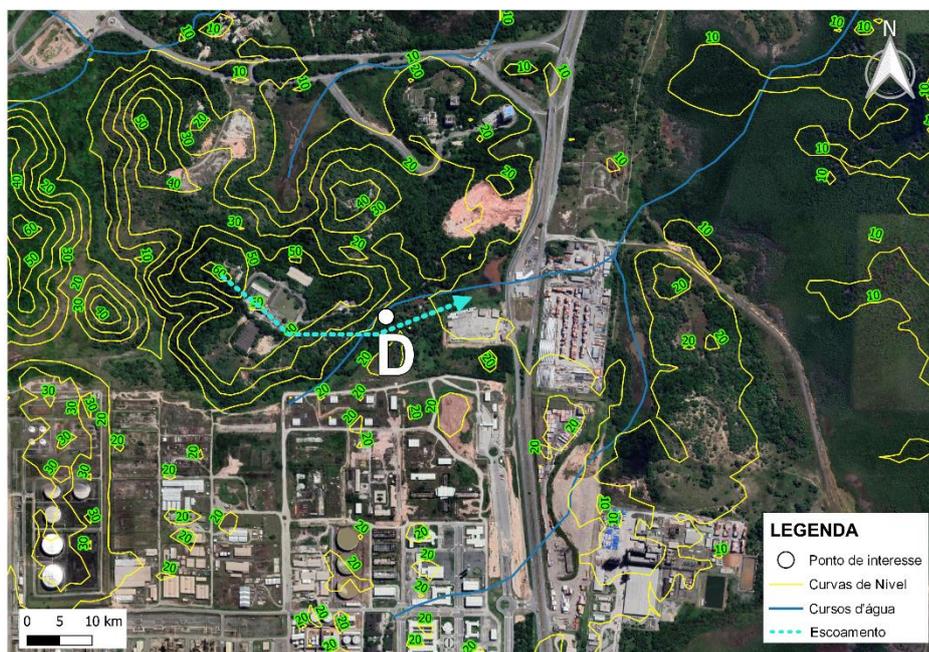
Fonte: Autora (2024) pelo Qgis v. 3.10.14 e dados do MDE Copernicus Global DSM 30m

Figura 3 – Curvas de nível dos pontos de interesse B e C



Fonte: Autora (2024) pelo Qgis v. 3.10.14 e dados do MDE Copernicus Global DSM 30m

Figura 4 – Curvas de nível do ponto de interesse D



Fonte: Autora (2024) pelo Qgis v. 3.10.14 e dados do MDE Copernicus Global DSM 30m

O fluxo da água no solo pode favorecer o transporte de materiais, podendo, pelas próprias diferenças de nível e características pedológicas, carrear e disseminar poluentes. Desta forma, o solo pode ser contaminado em um determinado ponto e essa poluição se estender por todo o aquífero subterrâneo, alcançando corpos hídricos, resultando em efeitos nocivos à saúde humana (Silva, Borges e Vasconcelos, 2020).

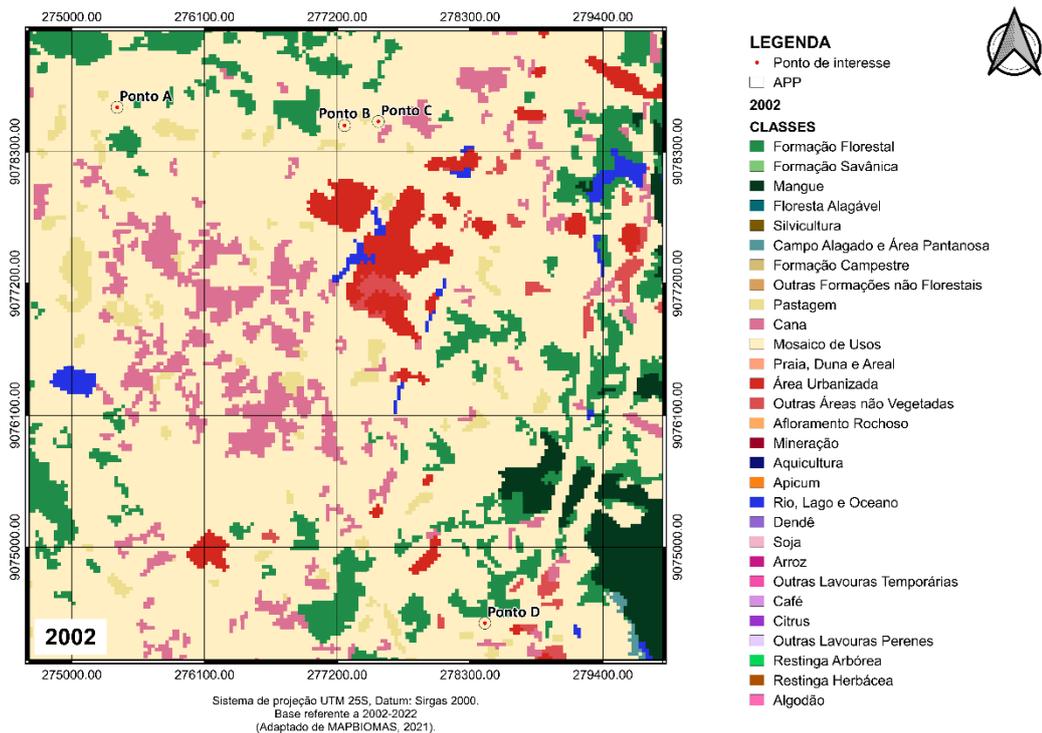
Dadas as condições de localização das nascentes em estudo, a dinâmica das declividades das adjacências devem ser consideradas visando entender se o escoamento superficial direto é maior que os processos de infiltração e recarga do lençol freático, o que poderia vir a reduzir a vazão ao longo do tempo (Oliveira *et al.*, 2014; Menezes, 2007). Como observado nas figuras 2, 3 e 4; os pontos de interesse não se tratam especificamente de onde ocorre o afloramento da água, no entanto, é um local que recebe contribuições do curso hídrico destas nascentes e onde verifica-se uma suscetibilidade a exploração hídrica, devido ao desenvolvimento, natural ou não, de uma área de acúmulo de água.

Neste contexto, é importante diferenciar as zonas hidrogenéticas que compõem as áreas das nascentes, sejam estas: zonas de captação, transmissão e afloramento (Cortines, 2008). Quando a microbacia é estável, isto é, possui solos homogêneos e bem estruturados, a infiltração e armazenagem de água serão conforme as particularidades das zonas hidrogenéticas, tais como captação/recarga, transmissão/erosão e afloramento/reforço de umidade (Valcarcel, 2003).

Assim, começa-se a avaliar os elementos que podem ocasionar tais instabilidades que dificultam o equilíbrio dos processos naturais destes corpos hídricos. Em bacias hidrográficas de vegetação preservada ocorre o fornecimento de água com boa distribuição no decorrer do ano e de melhor qualidade, devido ao ciclo hidrológico acontecer de forma natural e sem interferências antrópicas (Tucci, 2012). Já as diferenças de uso e cobertura do solo influenciam diretamente na resposta hidrológica de uma região aos eventos chuvosos (Silva, 2023). Sendo assim, o estudo destes avanços auxilia na prospecção de alterações nas recargas hídricas dos corpos hídricos, sejam subterrâneos ou superficiais.

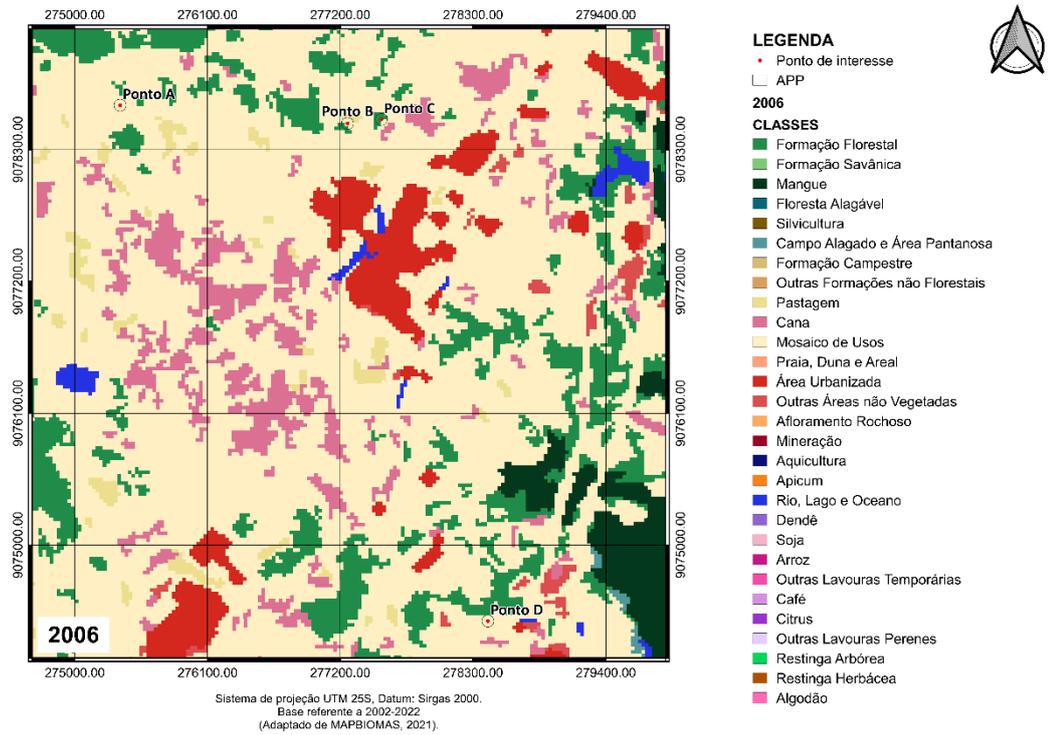
Para análise do uso e ocupação do solo, a observação temporal da distribuição das classes permitiu a identificação de diferentes atividades presentes na área de estudo. As figuras 5, 6, 7, 8, 9 e 10 ilustram as variações quadrienais da caracterização da terra, evidenciando as classes mapeadas pela Coleção 8 do projeto Mapbiomas.

Figura 5 – Classificação da imagem da área no ano de 2002



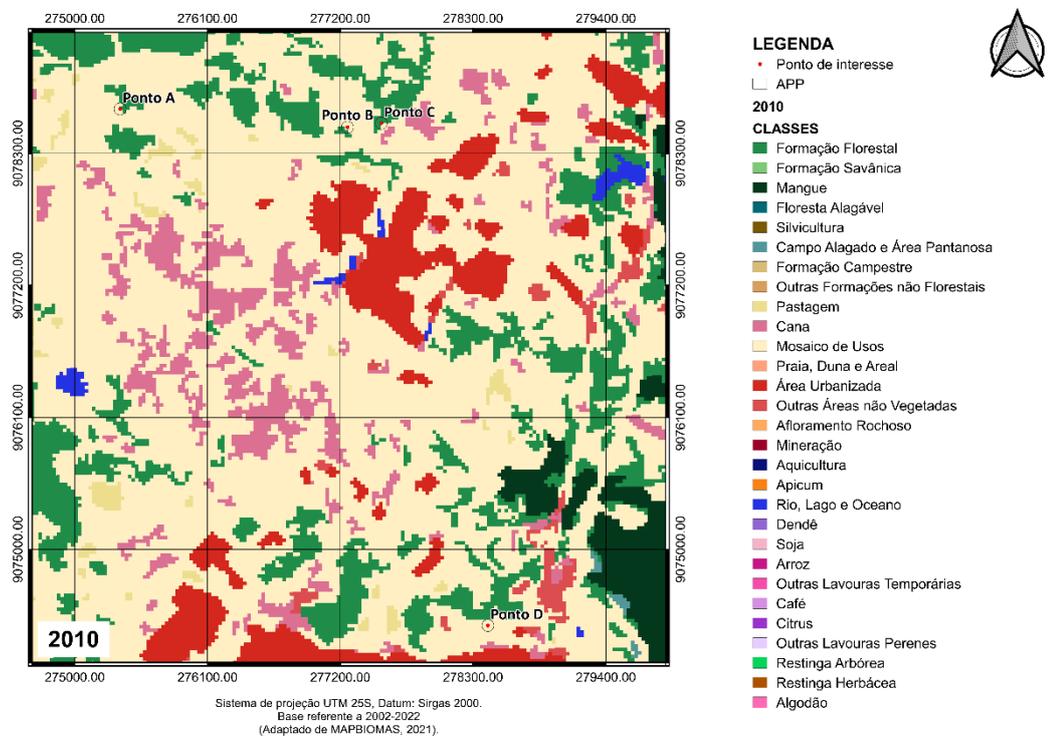
Fonte: Autora (2024) pelo Qgis v. 3.10.14 e dados do Mapbiomas Coleção 8

Figura 6 – Classificação da imagem da área no ano de 2006



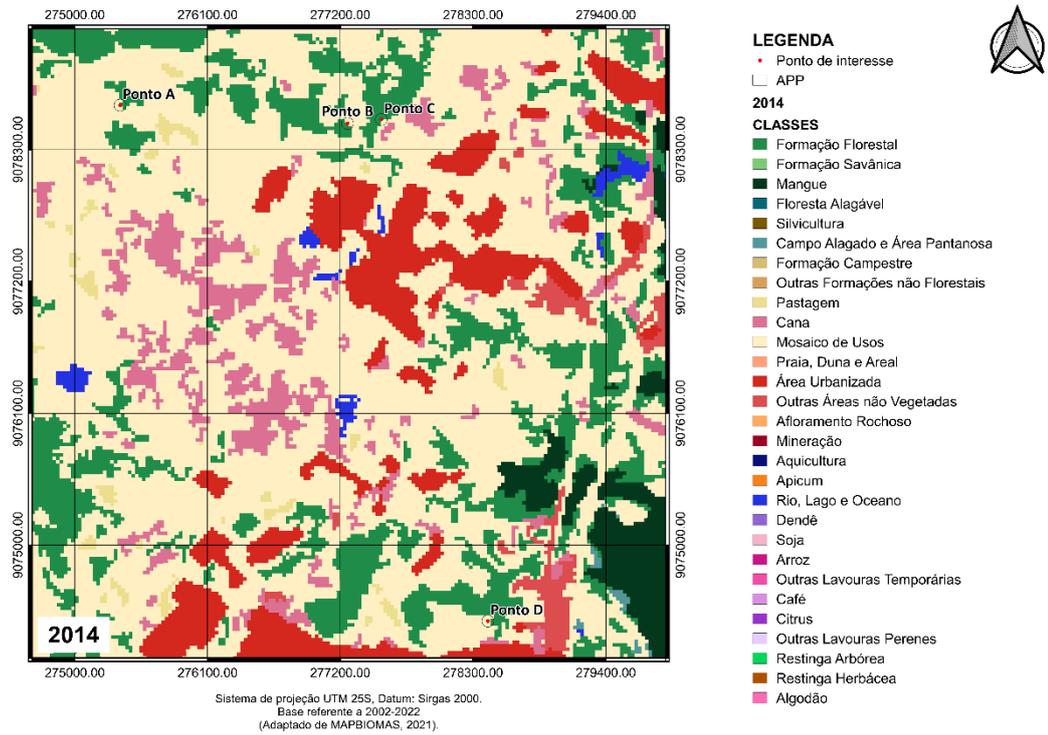
Fonte: Autora (2024) pelo Qgis v. 3.10.14 e dados do Mapbiomas Coleção 8

Figura 7 – Classificação da imagem da área no ano de 2010



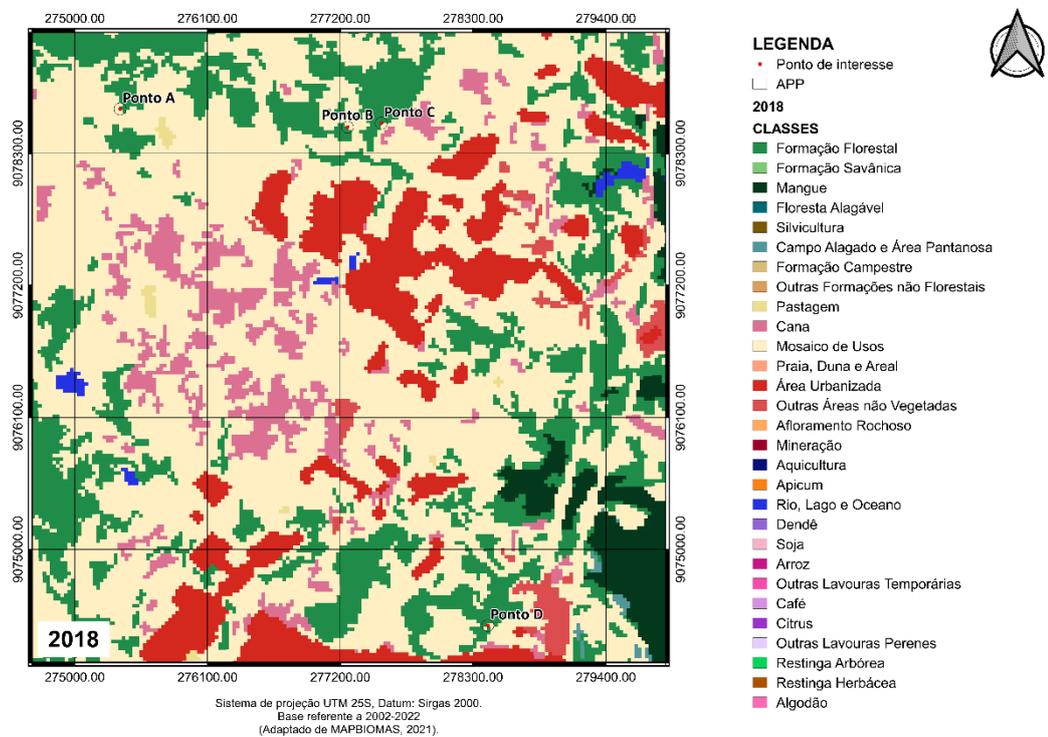
Fonte: Autora (2024) pelo Qgis v. 3.10.14 e dados do Mapbiomas Coleção 8

Figura 8 – Classificação da imagem da área no ano de 2014



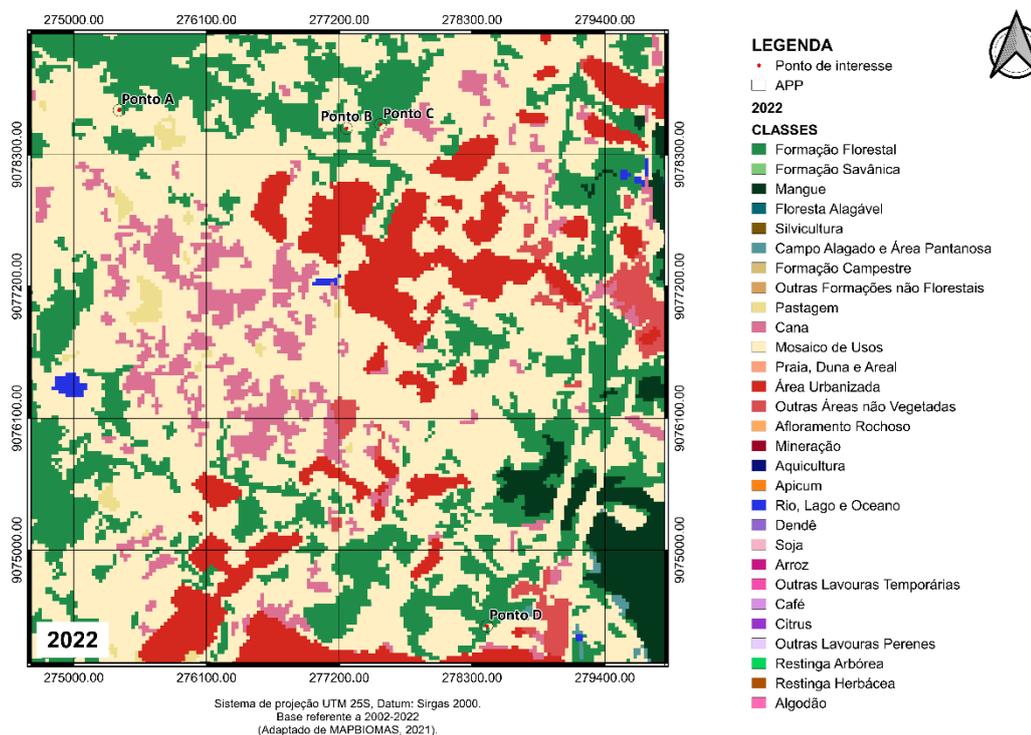
Fonte: Autora (2024) pelo Qgis v. 3.10.14 e dados do Mapbiomas Coleção 8

Figura 9 – Classificação da imagem da área no ano de 2018



Fonte: Autora (2024) pelo Qgis v. 3.10.14 e dados do Mapbiomas Coleção 8

Figura 10 – Classificação da imagem da área no ano de 2022



Fonte: Autora (2024) pelo Qgis v. 3.10.14 e dados do Mapbiomas Coleção 8

Os quatro pontos de interesse encontravam-se inseridos em áreas que, à princípio, não se apresentavam preservadas. No decorrer do período de estudo, é notável o avanço da preservação nas APPs em estudo. Este fato pode ser evidenciado devido a promulgação do Novo Código Florestal Brasileiro, Lei Federal de nº 12.651/2012, que foi o primeiro instrumento jurídico a definir a extensão da região no entorno de nascentes e olhos d'água a ser preservada.

Apesar disso, os pontos de pressão antrópica podem se sobressair ao raio definido, ressaltando, portanto, a necessidade de monitorar não somente uma área pré-determinada, mas todo um território de influência direta e indireta. A resolução CONAMA Nº 303/2002 estabelece que a APP é, além do raio mínimo de cinquenta metros, a área situada de tal forma que proteja, em cada caso, a bacia hidrográfica contribuinte. Desta forma, ainda que sejam analisadas as regiões adjacentes das nascentes e olho d'água, é importante observar toda a área de contribuição que influencia diretamente no fluxo da bacia.

Como é possível constatar visualmente, a área de estudo apresenta-se parcialmente urbanizada em todos os anos analisados, fato que se intensifica especialmente nos anos mais recentes. De modo a compreender quantitativamente o comportamento da evolução temporal da classificação das ocupações, foram levantados os dados das principais 9 classes,

identificando os valores em área (km²) por classe e a diferença entre o primeiro e último ano de análise, contidos na tabela 1.

Tabela 1 – Evolução espaço-temporal do uso e classificação do solo na área de estudo

CLASSE	ÁREA (km ²)						DIFERENÇA 2022 - 2002 (%)
	2002	2006	2010	2014	2018	2022	
Mosaico de Usos	25,2900	24,3945	21,3498	19,8603	19,1394	17,7642	- 29,76%
Formação Florestal	3,8268	4,3605	5,2542	5,9895	7,2171	8,2314	+ 53,51%
Cana	2,8494	2,8719	2,5560	2,5227	2,4003	2,4039	- 15,63%
Área Urbanizada	1,2366	1,9305	4,5081	5,1210	5,3649	5,4162	+ 77,17%
Mangue	1,5021	1,5255	1,5111	1,5498	1,5219	1,5444	+ 2,74%
Pastagem	0,9540	0,6588	0,6165	0,4869	0,0837	0,2736	- 71,32%
Rio, Lago e Oceano	0,4383	0,3870	0,2826	0,3240	0,2322	0,1773	- 59,55%
Outras Áreas não Vegetadas	0,3456	0,3186	0,3915	0,5886	0,4689	0,6030	+ 42,69%
Campo Alagado e Área Pantanosa	0,0792	0,0747	0,0522	0,0792	0,0936	0,1080	+ 26,67%

Fonte: Autora (2024) com dados da Coleção 8 do Mapbiomas e tabulados no Microsoft Excel v. Office16.

Conforme os dados quantitativos, a classe predominante na área de interesse em todos os anos é denominada “Mosaico de usos” e, segundo a legenda do Projeto Mapbiomas (Souza *et al.*, 2020), é definida por “áreas de uso agropecuário onde não foi possível distinguir entre pastagem e agricultura”. Dentre essas, a pastagem é uma atividade que gera impactos nítidos pelo pisoteio e compactação do solo pelo fluxo dos animais, ocasionando desenvolvimento incompleto das plantas, exposição e erosões ao solo (Santo *et al.*, 2020).

Embora constituírem a classe anterior discutida, as Pastagens possuem uma classe própria e esta foi a segunda que mais diminuiu na área de estudo. Mesmo com esta diminuição, essa atividade não é revertida de qualquer maneira, devendo passar pelo processo de recuperação de área degradada, com objetivo de modificar o sítio degradado para uma forma de utilização do solo com estabilidade do meio ambiente (Brasil, 1989).

No diagnóstico das APPs estudadas, observa-se indícios de degradação ambiental no que diz respeito a retirada de vegetação nativa, proximidade de áreas habitadas e estradas, proximidade de áreas de pastagem e agricultura. As atividades de agricultura, principalmente monocultura (as quais também englobam outras classes, como a Cana), utilizam-se de adubos químicos no solo, ocasionando a contaminação hídrica e impossibilitando o consumo humano (Santos e Cavalcanti, 2022).

A classe que engloba áreas urbanizadas, “com significativa densidade de edificações e vias, incluindo áreas livres de construções e infraestrutura”, foi a que mais cresceu em porcentagem durante o período de tempo estudado. Infere-se que este fato é, dentre outras razões, devido à crescente expansão das atividades econômicas e industriais nesta região, sendo o Complexo Portuário de Suape um importante motor da economia pernambucana (Simões *et al.*, 2013).

Atualmente são perceptíveis estradas e vias construídas nesta área, particularmente próximas ao ponto D, conforme imagens de satélite (figuras 1 e 4). Rezende e Coelho (2015) salientam impactos ambientais negativos advindo da construção e operação destas, nomeadamente alguns como intensificação de processos erosivos, alteração de cursos d’água, deposição de materiais de descarte, supressão de vegetação nativa, alteração nos habitats, entre outros.

Com relação aos recursos hídricos superficiais, a classe “Rio, Lago e Oceano” engloba corpos hídricos como rios, lagos, represas, reservatórios e outros. É relevante citar uma significativa redução em sua área de maneira decrescente a cada ano estudado, resultando em menos 59,55% em área nos 20 anos de análise. Corroborando a isso, Amorim *et al.* (2023) estudando a erosão costeira no município de Ipojuca - PE, também encontraram uma expressiva diminuição na área ocupada pelos corpos hídricos entre os anos de 1985 e 2019, intervalo de tempo compreendido por esta pesquisa. Contudo, mais do que observar as alterações quantitativas, é importante atentar-se quanto ao monitoramento da qualidade da água superficial, visto que esta é exposta à diversos aspectos naturais e antrópicos que podem comprometer sua disponibilidade e seus múltiplos usos.

Em contrapartida, a classe de “Formação Florestal” demonstrou crescimento de mais de 50% em área, evidenciando a eficiência das ações de preservação na área de estudo. A Lei Federal Nº 14.653/2023 regulamenta a intervenção e implantação de instalações necessárias à recuperação e proteção de nascentes. Já no estado do Pernambuco, onde está o local de estudo, foi promulgada a Lei Ordinária Nº 17.947 em 2022, com finalidade de incentivo a implantação de Programas de Preservação de Nascentes e Conservação de Matas Ciliares nas margens de riachos e rios pelos municípios pernambucanos.

Alves (2016) destacou que as atividades do CIPS foram responsáveis por acarretar diversos impactos socioambientais negativos no território, dentre os quais destacam-se os relacionados à supressão de vegetação que altera a fauna e flora, a degradação de ecossistemas, de recursos pesqueiros e alteração da qualidade do meio ambiente, com perda de biodiversidade.

Segundo o estudo conduzido por Jones *et al.* (2018), aproximadamente um terço (32,8% ou cerca de 6 milhões de km²) das áreas protegidas terrestres em todo o mundo enfrentam uma intensa pressão antrópica, sofrendo degradação por conta da presença de rodovias, pastagens ou urbanização. Os pesquisadores destacam a urgência em realizar esforços que permitam uma avaliação objetiva da pressão humana e das condições de habitat nessas áreas. Além disso, eles enfatizam a importância de implementar melhores práticas de gestão nas regiões circunvizinhas a essas áreas protegidas.

Vasconcelos, Lima e Paranhos Filho (2024) afirmaram que o uso do Mapbiomas expande as possibilidades de estudos ambientais no Brasil. Esta consideração pode ser atestada por meio das diversas discussões levantadas por meio deste estudo, que reforça a demanda por este monitoramento em diversas áreas, entretanto, em particular no território de influência do Porto de Suape, dados os conflitos socioambientais relacionados a degradação ambiental já intensificados nesta região (Alves *et al.*, 2021).

5.5. Conclusões

A utilização do processamento digital de imagens, geoprocessamento e sensoriamento remoto se mostra uma eficiente ferramenta de monitoramento de APPs, principalmente referente ao entorno de nascentes, que são corpos hídricos sensíveis a significativas alterações ambientais e possuem um papel importante no equilíbrio ecológico.

A análise da evolução temporal do uso e ocupação do solo da área deste estudo indica que as atividades antrópicas tendem a não considerar as zonas hidrográficas que compõem as áreas das nascentes, tampouco os próprios olhos d'água e pontos de afloramento, onde geralmente ocorre a exploração desenfreada do recurso sem sequer conhecer aspectos ambientais que podem estar comprometendo a qualidade hídrica.

O diagnóstico destas áreas e zonas, por meio da aplicação de ferramentas geotecnológicas, permite uma abordagem precisa da cobertura vegetal e, desta forma, contribui para a implementação de medidas apropriadas para prevenção e mitigação de problemas atuais e futuros acarretados pelos impactos ambientais adversos relacionados a interação entre as atividades humanas e o meio ambiente.

5.6. Referências

ALVES, M. J. C. F.; ALVES, S. G.; CAVALCANTI, A. M. C.; SANTOS, C. P. S.; OBANDO, G. N.; GURGEL, I. G. D.; SANTOS, M. O. S. Mapeamento de conflitos socioambientais no território de Suape, Pernambuco/Brasil. **Revista Mutirão. Folheto de**

Geografias Agrárias do Sul, v. 2, n. 2, p. 176, 30 dez. 2021. Universidade Federal de Pernambuco. <http://dx.doi.org/10.51359/2675-3472.2021.252448>.

ALVES, S. G. **Injustiças Socioambientais e Interferências na Saúde de Populações Localizadas na Área do Complexo Industrial Portuário de Suape**. 2016. 138 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, 2016.

AMORIM, E. S.; SAMPAIO, G. M.; LAFAYETTE, K. P. V.; SILVA, S. R. Aplicação do sistema Betonbloc, como alternativa de contenção da erosão costeira no município de Ipojuca/PE. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 9, n. 1, p. 44-58, 19 maio 2023. Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN. <http://dx.doi.org/10.21680/2447-3359.2023v9n1id31283>.

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil**. Brasília, DF, 2019. Disponível em: <http://snirh.gov.br/ usos-da-agua/>. Acesso em: 25 jul. 2024.

BRASIL. Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166- 67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 28 maio 2012.

BRASIL. Lei Nº 14.653, de 23 de agosto de 2023. Altera as Leis nºs 12.651, de 25 de maio de 2012, e 14.119, de 13 de janeiro de 2021, para disciplinar a intervenção e a implantação de instalações necessárias à recuperação e à proteção de nascentes. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 24 ago 2023. Seção 1, p.7.

BRASIL. Decreto Federal Nº 97.632, de 10 de abril de 1989. Dispõe sobre a regulamentação do Artigo 2º, inciso VIII, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 12 abril 1989.

CASTRO, M. N.; CASTRO, R. M.; SOUZA, P. C. A importância da mata ciliar no contexto da conservação do solo. **Revista Eletrônica de Educação da Faculdade Araguaia**, v. 4, n. 4, p. 230-541, 01 ago. 2013.

CIPS - Complexo Industrial Portuário de SUAPE. **Estudo Ambiental Complementar (EAC) ao Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental (EIA- RIMA) do Projeto de Ampliação e Modernização do Porto de Suape**. Cabo de Santo Agostinho, 2011.

CIPS - Complexo Industrial Portuário de SUAPE. **Programa Nascentes de Suape: conhecimento, conservação e educação ambiental**. Ipojuca, 2014. 50 p.

CIPS - Complexo Industrial Portuário de SUAPE. **Relatório do diagnóstico ambiental das nascentes da microbacia do riacho algodoads inseridas na Zona de Preservação Ecológica (ZPEc) de Suape identificadas em 2016, 2017 e 2018**, Parte III. Ipojuca, 2018. 50 p.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução N° 303 de 20 de março de 2002. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 13 maio 2002.

CORTINES, E. **Funcionamento hidrológico de nascentes em microbacias instáveis, Barra de Guaratiba - RJ**. 2008. 87 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008.

FRANCISCO, C. N.; RUIZ, P. R. S.; ALMEIDA, C. M.; GRUBER, N. C.; ANJOS, C. S. Análise do impacto da correção atmosférica no cálculo do Índice de Vegetação Por Diferença Normalizada a partir de Imagem Landsat 8/OLI. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 1, p. 076-086, 29 fev. 2020. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v13.1.p076-086>.

FREIRE, G. S.; FERREIRA, R. A.; OLIVEIRA, E. V. S.; OLIVEIRA, M. I. U. Caracterização Florística de Áreas de Nascentes na Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Piauitinga, Sergipe, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 1, p. 123-139, 23 mar. 2022. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v15.1.p125-141>.

JONES, K. R.; VENTER, O.; FULLER, R. A.; ALLAN, J. R.; MAXWELL, S. L.; NEGRET, P. J.; WATSON, J. E. One-third of global protected land is under intense human pressure. **Science**, v. 360, n. 6390, p. 788-791, 18 maio 2018. American Association for the Advancement of Science (AAAS). <http://dx.doi.org/10.1126/science.aap9565>.

MAPBIOMAS – Projeto MapBiomass. **Coleção 2022 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil 2021**. Disponível em: <https://mapbiomas.org/visao-geral-da-metodologia>. Acesso em: 27 de junho de 2024.

MARTINS, A. M.; FILGUEIRA, H. J. A.; AZEVEDO FILHO, A. C.; SILVA, T. C.; SILVA JÚNIOR, M. H. Análise de não homogeneidades de séries de vazão de captações de nascentes na bacia hidrográfica do rio Gramame, PB, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 6, p. 2896-2907, 14 dez. 2020. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v13.6.p2896-2907>.

MENEZES, M. D. **Levantamento de solos em bacias hidrográficas como apoio para avaliação do uso da terra e da potencialidade de recarga dos aquíferos**. 2007. 107 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 4 ed. Viçosa: UFV, 2012. 422 p.

OLIVEIRA, A. S.; SILVA, A. M.; MELLO, C. R.; ALVES, G. J. Stream flow regime of springs in the Mantiqueira Mountain Range region, Minas Gerais State. **Cerne**, v. 20, n. 3, p. 343-349, set. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/01047760201420031268>.

PERNAMBUCO. Decreto N° 54.185, de 20 de dezembro de 2022. Institui o Plano Diretor – SUAPE 2035 e dispõe sobre o ordenamento do uso e ocupação do solo do Complexo Industrial Portuário de Suape – CIPS. **Diário Oficial do Estado**, Recife, PE, 21 dez. 2022.

PERNAMBUCO. Lei N° 17.947, de 9 de novembro de 2022. Dispõe sobre a Política Florestal do Estado de Pernambuco e dá outras providências, a fim de incentivar a implantação de

Programas de Preservação de Nascentes e Conservação de Matas Ciliares nas margens de riachos e rios pelos municípios pernambucanos. **Diário Oficial do Estado**, Recife, PE, 10 nov. 2022.

PINTO, N. L. S.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A.; GOMIDE, F. L. S. **Hidrologia Básica**. 13ª reimpressão da 1ª. ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda., 2011. 304 p.

REZENDE, E.N.; COELHO, H.A. Impactos Ambientais Decorrentes da Construção de Estradas e suas Consequências na Responsabilidade Civil. **Revista do Mestrado em Direito da Universidade Católica de Brasília**: Escola de Direito, v. 9, n. 2, p. 155-180, 30 dez. 2015. Universidade Católica de Brasília. <http://dx.doi.org/10.18840/1980-8860/rvmd.v9n2p155-180>.

SIMÕES, R. F.; RIBEIRO, L. C. S.; LOPES, T. H. C. R.; MOREIRA, T. M. SUAPE: novo polo de crescimento. **Novos Cadernos Naea**, v. 16, n. 1, p. 1-12, 18 set. 2013. Universidade Federal do Para. <http://dx.doi.org/10.5801/ncn.v16i1.1198>.

SANTO, C. L.; SILVA, C. C. P.; ALMEIDA, J.; LIMA, M. J. A.; MOURÃO, F. V. Avaliação ambiental da área de preservação permanente das nascentes e corpo hídrico impactados pela atividade pecuária rotativa. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 25385-25390, 07 maio 2020. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv6n5-116>.

SANTOS, G. R.; CAVALCANTI, L. C. S. O uso e cobertura da terra em áreas de nascentes e rios, município de Correntes, Pernambuco. **Geografia**, v. 47, n. 1, p. 1-19, 18 dez. 2022. UNESP - Universidade Estadual Paulista. <http://dx.doi.org/10.5016/geografia.v47i1.16736>.

SILVA, E. P.; SANTOS, R. L.; AMARAL, A. K. N.; RAMOS, H. F.; SANTOS, L. P. S.; SOUZA, P. C. Uso do solo e caracterização morfométrica como subsídios para análise das áreas de alagamento e da qualidade da água nas microbacias do Macambira e Cascavel, Goiânia-GO. **Ciência E Natura**, v. 41, e59, 14 nov. 2019. <https://doi.org/10.5902/2179460X38425>.

SILVA, N. B. D.; BORGES, I.; VASCONCELOS, V. V. Análise do impacto potencial de áreas com contaminação de solos sobre cursos d'água e poços no município de São Paulo. **Águas Subterrâneas**, v. 34, n. 3, p. 250-263, 8 set. 2020. Lepidus Tecnologia. <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v34i3.29753>.

SILVA, P. V. S. **Avaliação do Avanço da Urbanização de Maceió-AL e os Efeitos na Hidrologia Urbana de Bairros que Margeiam a Laguna Mundaú**. 2023. 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2023.

SOUZA, C. M.; SHIMBO, J. Z.; ROSA, M. R.; PARENTE, L. L.; ALENCAR, A. A.; RUDORFF, B. F. T.; HASENACK, H.; MATSUMOTO, M.; FERREIRA, L. G.; SOUZA-FILHO, P. W. M. Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. **Remote Sensing**, v. 12, n. 17, p. 2735, p. 1-27, 25 ago. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs12172735>.

TAYE, T.; MOGES, A. Implication of long-term watershed development on land use/land cover change and sediment loss in Maybar Sub-Watershed, South Wello Zone,

Ethiopia. **Cogent Food & Agriculture**, v. 7, n. 1, p. 1-17, 22 dez. 2020. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/23311932.2020.1863596>.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Ed Universidade, 2012. 944 p.

VALCARCEL, R. “Meio ambiente”. In: **Plano diretor de desenvolvimento sustentável, Armação dos Búzios – RJ, Perfil do município – texto para discussão**. Armação dos Búzios: Prefeitura Municipal de Armação dos Búzios, Secretaria de PI Urbanismo, 2003.

VALE, J. R. B.; COSTA, L. S.; PIMENTEL, M. L. S. Análise da morfometria e do uso e cobertura da terra da bacia hidrográficado rio Mocajuba, zona costeira Amazônica. **Geosul**, v. 36, n. 78, p. 537-557, 8 abr. 2021. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). <http://dx.doi.org/10.5007/2177-5230.2021.e72705>.

VASCONCELOS, B. R.; LIMA, M. T. V.; PARANHOS FILHO, A. C. Detecção de mudanças no uso e ocupação do solo no estado do Amazonas baseada nas classificações do Projeto Mappiomas. **Geofronter**, v. 10, e7773, p.1-21, 23 jan. 2024. Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul. <http://dx.doi.org/10.61389/geofronter.v10.7773>.

6. CAPÍTULO 3 - AVALIAÇÃO DA QUALIDADE AMBIENTAL DE NASCENTES DA MICROBACIA DO RIACHO ALGODOAIS INSERIDAS NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DO COMPLEXO PORTUÁRIO DE SUAPE

6.1. Resumo:

O monitoramento da qualidade ambiental de nascentes é de fundamental importância para manutenção hídrica e equilíbrio ecológico. Com esta finalidade, o Índice de Qualidade das Águas (IQA) é o principal índice de qualidade de água do Brasil. Já o Índice de Impacto a Nascente (IIAN) é proposto para avaliação macroscópica e comparativa de alguns elementos-chave na identificação de impactos ambientais e suas consequências sobre a qualidade das nascentes. O objetivo deste trabalho, utilizando-se da metodologia destes dois índices, foi diagnosticar a qualidade ambiental de nascentes da microbacia do riacho Algodóais que se inserem na área de influência do Complexo Industrial Portuário de Suape (CIPS), com o incremento de técnicas para o tratamento dos dados. As quatro nascentes amostradas receberam seis campanhas mensais, com aplicação de ficha de campo, coleta de amostras para análise de parâmetros qualitativos e quantificação média da disponibilidade hídrica. Quanto a determinação do IQA, as 4 nascentes variaram em Regular (A e C) e Ruim (B e D). Quanto ao IIAN, A e C variaram em Bom e B e D em Razoável. A identificação dos parâmetros determinantes da variabilidade da qualidade das águas das nascentes em estudo fundamentado pela aplicação do modelo de estatística multivariada permitiu a criação de agrupamentos por correlação. Tais resultados sugerem a criação de um modelo simplificado de monitoramento ambiental, para permitir a antecipação aos impactos ambientais e o acompanhamento periódico das nascentes.

Palavras-chaves: IQA; IIAN; Estatística multivariada; Quimiometria.

6.2. Introdução

As nascentes são corpos hídricos fundamentais para a bacia hidrográfica, visto que representam o início e são responsáveis por toda rede fluvial e hídrica (ANA, 2018). Também conhecidas por fontes, olhos d'água, minas, cabeceiras ou fios d'água; estas desempenham atribuição significativa para manutenção do depósito e sustentabilidade do recurso hídrico, por conseguinte, são mais oportunas para desenvolvimento de atividades de monitoramento, manutenção, proteção e conservação ambiental (França, 2019).

Quando relacionado ao Brasil, aproximadamente 60% do abastecimento hídrico é procedente de poços (públicos ou particulares) ou nascentes (IBGE, 2000). No caso particular

do Nordeste brasileiro, a disponibilidade hídrica é relacionada a problemas para a população quanto ao acesso à água (Silva; Montenegro; Souza, 2017). O Agreste do estado de Pernambuco é uma região que passa por situações de escassez hídrica (Vasconcelos *et al.*, 2020). Portanto, se faz tão importante ações de controle e monitoramento dos recursos naturais, principalmente a água, que é vital para todas as atividades humanas e para o equilíbrio ecológico.

Os danos promovidos às nascentes podem ser avaliados por meio da utilização de índices ambientais, como forma de inspecionar as alterações no meio. Atualmente, o Índice de Qualidade das Águas (IQA) é o principal índice de qualidade de água do país, que é utilizado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) desde 1975 (Garcia *et al.*, 2018). Por meio de análises físicas, químicas e microbiológicas, espera-se elucidar modificações que consigam indicar degradação ou poluição, de acordo com os atributos e parâmetros definidos nas legislações ambientais (Carvalho, 2015).

O IQA foi desenvolvido pela Agência Nacional das Águas (ANA, 2013), com o intuito de realizar uma avaliação das características da água bruta após seu devido tratamento utilizada para o abastecimento público. Os indicadores que compõem este índice são nove parâmetros físico-químicos capazes de verificar, principalmente, a presença de agentes de contaminação causada pelo lançamento de esgotos domésticos. Para Conceição (2017), o IQA é um mecanismo de bastante importância nos dias atuais, uma vez que a sua metodologia é de rápida resposta e operação por um sistema que classifica as características da água em relação as fontes poluidoras, identificando a água a partir das suas características.

Conforme Oliveira *et al.* (2022), as campanhas de campo para monitoramento dos parâmetros orgânicos, inorgânicos e microbiológicos da qualidade de água proporcionam a determinação da quantidade e qualidade da água destas nascentes e, desta forma, auxiliam na aplicação adequada dos instrumentos de controle dos recursos hídricos, à exemplo da outorga e fiscalização, conforme preconizado pela Política Nacional de Recursos Hídricos (Brasil, 1997).

Além disto, também foi elaborada uma classificação do grau de impacto de nascente simples, prática, didática e com resultados satisfatórios por Gomes, Melo e Vale (2005), baseada na Classificação do Grau de Impacto de Nascente do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos de Portugal e no Guia de Avaliação da Qualidade das Águas da Rede das Águas, denominada Índice de Impacto a Nascente (IIAN).

Segundo Felipe (2009), a técnica é composta pela avaliação macroscópica (sensorial) e comparativa de alguns elementos-chave na identificação de impactos ambientais e suas consequências sobre a qualidade das nascentes. Estes elementos constituem-se de onze

parâmetros, com atributos definidos em bom, médio ou ruim, que são convertidos em um escore. Os dados levantam uma interpretação do grau de conservação ou não da nascente.

Com isso, métodos de avaliação e monitoramento tornam-se indispensáveis. Neste contexto, ferramentas como o IQA, o IIAN e a quantificação da disponibilidade hídrica são essenciais, tendo por crivo a elaboração de um diagnóstico que traduz a situação ambiental de uma nascente e, assim, norteia um direcionamento de possíveis responsáveis pelo impacto ambiental e a promoção de ações mitigadoras eficientes (Felippe & Magalhães Jr., 2012).

O processamento de dados utilizando-se de técnicas estatísticas é fundamental para a resolução de problemas de aplicações ambientais, colaboram para uma eficiente interpretação dos resultados analíticos com uma avaliação abrangente dos contextos ambientais estudados (Fernandéz, 2017). Mongin (2020) consolidou em seu trabalho a relevância da estatística descritiva e multivariada para ajuste aos objetivos e às características intrínsecas de cada rede de monitoramento ambiental, relacionando nelas a capacidade de detectar e propor ajustes eficazes para subsidiar políticas públicas adequadas. Destarte, o desenvolvimento desses estudos pode validar metodologias mais eficazes, de baixo custo e com resultados satisfatórios para o monitoramento dos recursos naturais.

Isto posto, este trabalho objetivou-se a determinar a qualidade ambiental de nascentes da microbacia do Riacho Algodais inseridas na área de influência de Porto de Suape em Pernambuco, por meio da coleta de dados quali-quantitativos, com a utilização do IQA e IIAN, e do tratamento por estatística multivariada, discutindo sob a luz de publicações científicas relevantes e legislações pertinentes.

6.3. Material e Métodos

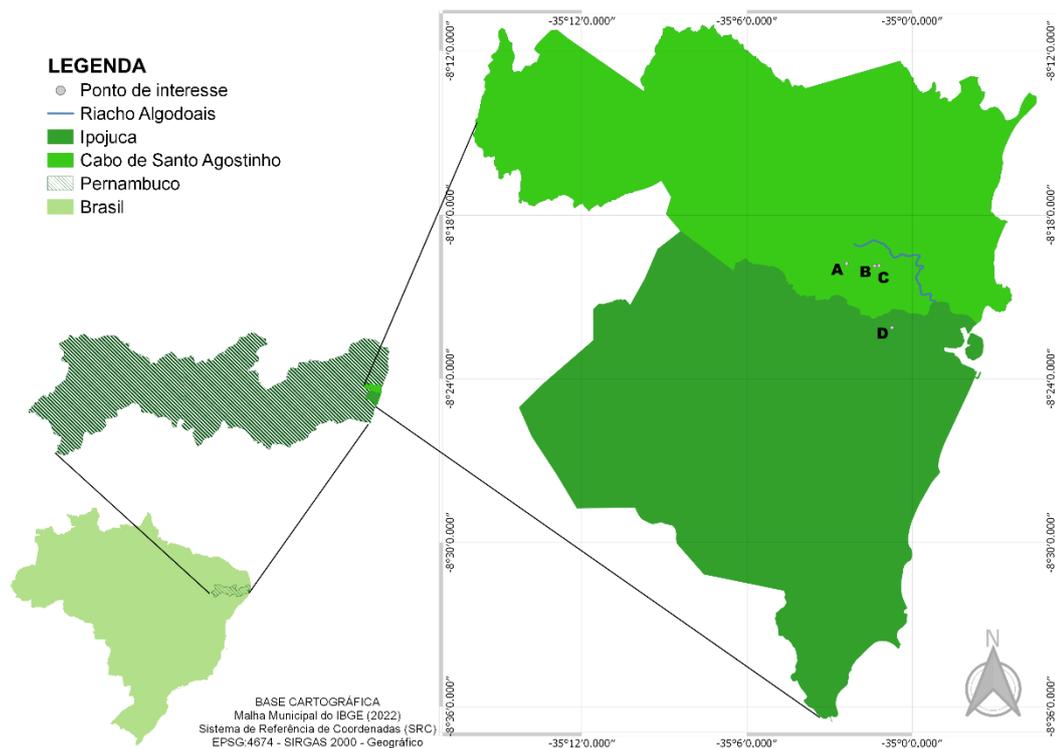
6.3.1. Descrição da área de estudo

A área de influência de Suape está inserida principalmente no município de Ipojuca - PE, contudo tem abrangência estendida a todo o domínio sul da região metropolitana de Recife (Lins *et al.*, 2021). O território apresenta um solo bem desenvolvido, com zona úmida, que favorece a existência de água subterrânea, e possui área de recarga nos afloramentos dos aquíferos e exutórios nos rios e no mar (CIPS, 2011).

Em seu domínio, compreende-se a microbacia do riacho Algodais, afluente da bacia hidrográfica do rio Massangana, com extensão total de aproximadamente 10,0 km (SECTMA, 2002). Carvalho e Cabral (2022) indicaram que parte do trajeto deste riacho em seu médio e baixo curso perpassam pela zona industrial, encontrando-se retificado e revestido.

O programa Nascentes de Suape identificou diversas nascentes no território de influência de Suape. De acordo com os relatórios referentes aos anos de 2016 a 2018, foram mapeadas cerca de 70 nascentes na área da microbacia do Riacho Algodoads (CIPS, 2018). Dentre estas, quatro nascentes foram selecionadas visando consolidar o entendimento da qualidade destes corpos hídricos expostos às alterações ambientais em seu entorno (figura 1).

Figura 1 – Localização dos pontos de estudo



Fonte: Autora (2024).

As nascentes de estudo foram escolhidas conforme o acesso e a disponibilidade de metodologia eficiente para amostragem. Desta forma, norteados pela equipe de Suape, foram definidos os quatro pontos de interesse, com coordenadas descritas no quadro 1. É importante evidenciar que estes pontos podem tratar-se não necessariamente da área de afloramento da água, constituindo-se de um local que recebe contribuições do curso hídrico destas nascentes e onde verifica-se uma suscetibilidade a exploração hídrica, devido ao desenvolvimento, natural ou não, de uma área de acúmulo de água.

Quadro 1 – Localização da amostragem

Ponto de Estudo	Longitude	Latitude
A	35° 2' 22.569" O	8° 19' 47.038" S

B	35° 1' 21.036" O	8° 19' 52.300" S
C	35° 1' 11.882" O	8° 19' 51.272" S
D	35° 0' 43.727" O	8° 22' 7.612" S

Fonte: Autora (2024).

6.3.2. Levantamento de dados

Nas nascentes amostradas foram realizadas seis campanhas mensais entre outubro de 2023 e março de 2024, com aplicação de ficha de campo, coleta de amostras em triplicata e quantificação média da disponibilidade hídrica. Esta última, realizada por meio da medição de vazão volumétrica por método empírico, utilizando um recipiente de volume conhecido (em litros) e um cronômetro contabilizando a quantidade de tempo (em segundos) que a água levou para preencher todo o recipiente, realizando-se um cálculo simples (equação 1) que traduz a vazão média que escoar na nascente.

$$Q (l/s) = \frac{\text{volume } (l)}{\text{tempo } (s)} \quad \text{Equação 1}$$

Para avaliação desta vazão, também foram levantados dados de índice de precipitação nos postos pluviométricos da Agência Pernambucana de Águas e Climas (APAC), que se localizavam nas proximidades dos pontos de estudo (Quadro 2). Para as nascentes A, B e C foi utilizado o Posto Cabo, código 301; já para a nascente D foi utilizado o Posto da Barragem de Gurjaú, código 490. Nesta tabulação, foi considerado o acumulado de chuva em milímetros dos últimos trinta dias anteriores a data de visita em campo para cada posto.

Quadro 2 – Localização dos postos pluviométricos

ID Posto Pluviométrico	Coordenadas	Proximidade das Nascentes
Posto Cabo * Cód. 301	35° 1' 48" O 8° 16' 55" S	A
		B
		C
Posto Cabo 2 Gurjaú Cód. 490	35° 0' 54" O 8° 22' 5" S	D

Fonte: Adaptado pela autora (2024).

Foi aplicada uma ficha de campo para avaliação dos impactos ambientais, a partir da interpretação visual e subjetiva das nascentes partindo do IAN durante todas as visitas realizadas. O conjunto de parâmetros macroscópicos assinalados na ficha de campo são qualificados conforme o quadro 3, buscando avaliar aspectos no entorno das nascentes que sejam indicativos de degradação ambiental recente.

Quadro 3 – Metodologia do índice de impacto ambiental macroscópico em nascentes

Parâmetro Macroscópico	Qualificação		
	Ruim (1)	Médio (2)	Bom (3)
Cor da água	escura	clara	transparente
Odor da água	forte	com odor	não há
Lixo ao redor da nascente	muito	pouco	não há
Materiais flutuantes (lixo na água)	muito	pouco	não há
Espumas	muito	pouco	não há
Óleos	muito	pouco	não há
Esgoto na nascente	visível	provável	não há
Vegetação	degradada ou ausente	alterada	bom estado
Usos da nascente	constante	esporádico	não há
Acesso	fácil	difícil	sem acesso
Equipamentos urbanos	a menos de 50 metros	entre 50 e 100 metros	a mais de 100 metros

Fonte: adaptado de Gomes, Melo e Vale (2005)

As amostras de água coletadas para encaminhamento das análises laboratoriais foram armazenadas em frascos em polietileno e transportadas em caixa de isopor contendo gelo. Todas as coletas, preservações, transporte e procedimentos analíticos foram conforme as metodologias consolidadas no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA; AWWA & WEF, 2017), com códigos referenciados no quadro 4.

Quadro 4 – Metodologias para análises de parâmetros

Parâmetro a ser analisado	Código do Método
Oxigênio Dissolvido (OD)	4500-O
Potencial Hidrogeniônico (pH)	4500-H ⁺

Coliformes totais e termotolerantes	9221
Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO _{5,20}	5210
Temperatura	2550
Nitrogênio total	4500-N
Fósforo total	4500-P
Turbidez	2130
Resíduo total	2540
Condutividade elétrica	2510
Salinidade	2520

Fonte: adaptado de APHA; AWWA & WEF (2017)

O método microbiológico de colilert[®] foi utilizado para verificação de presença ou ausência de coliformes totais e termotolerantes, com isto, as amostras foram acondicionadas em sacos de 100 ml esterilizados. Com a confirmação da presença, na última campanha foi procedido o método de tubos múltiplos para quantificação das unidades bioindicadoras em 100 ml da amostra.

Já as amostras para a análise de nutrientes (nitrogênio total e fósforo total), foram acidificadas logo após a coleta com ácido sulfúrico. O nitrogênio total foi determinado pela somatória das frações de Nitrato (NO₃), Nitrito (NO₂) e Nitrogênio Amoniacal. Já o Fósforo total pelo ensaio de espectrometria de emissão óptica por plasma acoplado indutivamente (ICP-OES). A DBO_{5,20} foi calculada pela incubação de amostras por cinco dias, a 20 °C.

A determinação dos resíduos totais foi feita por método gravimétrico; os sólidos suspensos pela filtração da amostra em filtro de fibra de vidro, secagem e pesagem; e os sólidos dissolvidos pela diferença entre sólidos totais e suspensos.

Os demais parâmetros (pH, Oxigênio Dissolvido, Turbidez, Condutividade elétrica e Salinidade) foram lidos em equipamento específico, exceto a temperatura da água, que foi aferida em campo com termômetro portátil.

6.3.3. Cálculo dos Índices

Após todas as leituras dos parâmetros necessários, o IQA foi calculado pela equação 2, seguindo a metodologia proposta pela ANA e seguida pela CETESB.

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

IQA: Índice de Qualidade das Águas, um número entre 0 e 100;

q_i : qualidade do i -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva “curva média de variação de qualidade”, em função de sua concentração ou medida;

w_i : peso correspondente ao i -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade (Quadro 5), sendo que:

n : número de variáveis que entram no cálculo do IQA.

Quadro 5 – Peso correspondente a cada parâmetro do IQA

Parâmetro	Peso (w)
Oxigênio dissolvido	0,17
Coliformes termotolerantes	0,15
Potencial hidrogeniônico – pH	0,12
Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO _{5,20}	0,10
Temperatura da água	0,10
Nitrogênio total	0,10
Fósforo total	0,10
Turbidez	0,08
Resíduo total	0,08

Fonte: Adaptado de CETESB

Além de seu peso (w), cada parâmetro possui um valor de qualidade (q), obtido do respectivo gráfico de qualidade em função de sua concentração ou medida. Com as leituras das análises dos parâmetros que o compõem, foi efetuado o cálculo do índice para determinação da qualidade das águas brutas, variando numa escala de 0 a 100. No estado do Pernambuco, a Agência Estadual de Meio Ambiente do Estado de Pernambuco – CPRH, segue as curvas empregadas pela CETESB, por meio de uma planilha no software Microsoft Office Excel®, que foi replicada a este estudo.

A definição da qualidade da água é determinada conforme as faixas indicadas pela ANA, que estabelece diferenças para grupos de estados. As determinações para o estado do Pernambuco estão contidas no quadro 6.

Quadro 6 – Peso correspondente a cada parâmetro do IQA

Estados	Faixas de IQA	Avaliação da Qualidade da Água
BA, CE, ES, GO, MS, PB, PE, SP	$79 < IQA \leq 100$	Ótima
	$51 < IQA \leq 79$	Boa
	$36 < IQA \leq 51$	Razoável
	$19 < IQA \leq 36$	Ruim
	$IQA \leq 19$	Péssima

Fonte: Adaptado de CETESB

O cálculo do IQA foi realizado com os valores obtidos da última campanha de campo, visto que foi a única que quantificou os coliformes termotolerantes e, desta forma, constitui todos os dados necessários ao resultado. Já para o IIAN, feitas as avaliações em campo, todos os dados foram tabulados e atribuídos os valores numéricos a cada gradação, os quais foram somados e obtidos os resultados, que são convertidos nas faixas do quadro 7, indicando o grau de proteção por nascente e por campanha.

Quadro 7 – Classificação das nascentes quanto aos aspectos macroscópicos

Classe	Grau de proteção	Pontuação
A	Ótimo	31-33
B	Bom	28-30
C	Razoável	25-27
D	Ruim	22-24
E	Péssimo	Abaixo de 21

Fonte: adaptado de Gomes, Melo e Vale (2005)

6.3.4. Tratamento de Dados

Os dados foram tabulados e interpretados por meio de técnicas de estatística descritiva e multivariada, por meio de softwares, calculando-se variáveis como a matriz de correlação linear e a Análise de Componentes Principais (ACP). Foram gerados elementos gráficos de distribuição de informações da matriz de dados, do tipo dispersão de escores e dendograma, como forma de avaliar as relações entre os parâmetros qualitativos e quantitativos das amostras de modo a buscar possibilidades de agrupamentos por características similares, tanto por campanha, como por parâmetro e por nascente.

6.4. Resultados e Discussão

A Resolução CONAMA n° 357/2005, dentre outras disposições, estabelece a classificação dos corpos d'água e as diretrizes para enquadramento. Na microbacia deste estudo, por ainda não ter reconhecido nenhum enquadramento, conforme o Art. 42°, estas deverão ser consideradas como águas doce classe 2 para comparação com os parâmetros estabelecidos pela norma. Este tipo de classificação permite que as águas sejam destinadas, além das demais finalidades, para abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional.

No entanto, é possível também relacionar estes corpos hídricos quanto a Resolução CONAMA n° 396/2008, que delibera sobre o enquadramento das águas subterrâneas (aquíferos). Quanto a este tipo de classificação, de acordo com seu Art. 29°, destaca-se a necessidade de considerar: a caracterização hidrogeológica e hidrogeoquímica; a caracterização da vulnerabilidade e dos riscos de poluição; o cadastramento de poços existentes e em operação; o uso e a ocupação do solo e seu histórico; a viabilidade técnica e econômica do enquadramento; a localização das fontes potenciais de poluição; e a qualidade natural e a condição de qualidade das águas subterrâneas.

Sabendo disto, elucidar uma discussão a respeito desses pontos de estudo é de alta complexidade, diante das particulares condições naturais, hidrogeológicas e geomorfológicas da área de interesse. Uma dessas condições é a altitude, que pode influenciar na vazão e na disponibilidade hídrica no decorrer do ano, além de também constituir-se como uma variável que entra na ponderação do cálculo do IQA. Apesar da dificuldade, a análise dos parâmetros qualitativos é uma importante ferramenta de diagnóstico ambiental que permite um gerenciamento adequado destes recursos hídricos.

Quanto a determinação do IQA, as 4 nascentes variaram em Regular (A e C) e Ruim (B e D), conforme tabela 1. Sendo assim, uma das primeiras conclusões que deve ser apontada é que a utilização dessa água sem tratamento prévio para fins de consumo humano representa um risco a saúde.

Tabela 1 – Cálculo do IQA para as nascentes amostradas

Parâmetro	Unidade de Medida	A	B	C	D
Oxigênio Dissolvido	mg/L	4,80	4,40	5,40	3,40
Temperatura da água	°C	25,80	26,20	26,10	26,80
Altitude	m	47,00	40,00	25,00	18,00
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	4,00	2,50	14,00	14,00
pH	-	6,30	5,62	6,16	6,50
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	mg/L	2,20	0,60	2,00	1,10
Nitrogênio total	mg/L	408,92	306,12	319,84	597,41
Fósforo total	mg/L	2853,71	3171,13	3101,60	2602,80
Turbidez	NTU	2,62	0,40	4,54	34,93
Resíduo total	mg/L	0,01	0,04	0,04	0,04
IQA		38	36	37	32
		Regular	Ruim	Regular	Ruim

Fonte: Autora (2024)

Seguindo o Art. 15 da Resolução Conama 357/2005, para águas doce classe 2, o parâmetro Oxigênio Dissolvido (OD) deve contemplar valores não inferiores a 5 mg/L e apenas o ponto C esteve de acordo com o valor regido (5,40 mg/L). Em contrapartida, para a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) são exigidos valores até 5 mg/L e todas as amostras atenderam. Pinto, Roma e Balieiro (2012) apontam que um valor aceitável de DBO indica que a quantidade de oxigênio necessária para os microrganismos decomponem a matéria orgânica presente na água foi suficiente.

Não existem diretrizes em âmbito estadual e nacional que apontem valores limitantes para o parâmetro de temperatura, no entanto, observam-se que os valores medidos em campo se mantiveram em uma faixa de temperatura ambiente conforme o valor médio estimado para a região do Complexo Portuário de Suape (27°C). Em consonância a isso, observa-se que cursos d'água que apresentam pouca profundidade, como as nascentes, sofrem influência direta da temperatura ambiente na temperatura da água (Fia *et al.*, 2014). Os despejos industriais ou entrada de altas cargas orgânicas em corpos d'água poderiam interferir em aumento da temperatura e diminuição da quantidade de oxigênio (Garcia *et al.*, 2018).

Quanto ao pH, a linha de referência são valores de 6 a 9 e todos os valores de campo estão próximos a 6,0. Um dos motivos que podem justificar o pH levemente ácido nas amostras é a elevada concentração de matéria orgânica presente no corpo d'água (Piasentin, 2009). A presença de rochas e solos com composição ácida na região de captação das nascentes pode contribuir para a acidez da água, pela decomposição de matéria orgânica, dissolução de minerais e a presença de ácidos húmicos, impactando a biota aquática e a qualidade da água.

Quando fator limitante para eutrofização, nas condições estabelecidas pelo órgão ambiental competente, o valor de nitrogênio total (após oxidação) não deverá ultrapassar os valores de 2,18 mg/L para ambientes lóticos, como é o caso das nascentes. Nos resultados, foram obtidos valores variando de 306,12 - 597,41 mg/L, acentuadamente superiores ao esperado. Nos dados primários de análise deste parâmetro, verificou-se que a maior parte da concentração se constitui da fração de Nitrato (média de 83,6% nas amostras analisadas).

Tal como o Nitrogênio, o Fósforo total (PT) é um nutriente cujas amostras se mostraram superiores ao que a resolução estabelece, visto que a concentração de PT em ambientes lóticos não deve ser superior a 0,1 mg/L. Conforme Parron, Muniz e Pereira (2011), a presença dos valores de fósforo na água pode estar relacionada com processos naturais vinculados a carreamento de solo, dissolução de rochas, assim como, despejo de efluentes domésticos e industriais, detergentes, fertilizantes e pesticidas.

O excesso de nutrientes é uma das principais causas de degradação dos recursos hídricos, visto que favorece a proliferação de algas, pelo processo de eutrofização (Barros, 2008). Von Sperling (2007) lista diversos impactos ambientais adversos relacionados, são eles: aumento dos custos de tratamento para tratamento e distribuição de água potável, perda do valor estético dos corpos hídricos, impedimento e redução do valor de atividades de lazer e turismo, como a navegação e a recreação.

Para análise da turbidez, espera-se que as águas doces classe 2 apresentem valores abaixo de 100 UNT, onde todos os pontos se enquadraram adequadamente. O resíduo total apresentou valores próximos a zero, o que pode indicar a ausência de sólidos na água já que a quantidade de sólidos dispersos no corpo hídrico influencia nos valores dos parâmetros turbidez, colorimetria e sólidos totais (Teixeira & Senhorelo, 2000).

Quanto ao parâmetro microbiológico, a Portaria de Potabilidade do Ministério da Saúde regula que, para garantir a potabilidade, seja verificada na água para consumo humano a ausência de coliformes totais e *Escherichia coli* (Brasil, 2021). Nas amostras em estudo, houve presença de coliformes termotolerantes em todas as quatro nascentes. A presença desses microrganismos pode ser decorrente de diversos pontos de contaminação que variam desde a

enxurrada da água superficial proveniente das chuvas pelo escoamento superficial até o descarte de esgoto, lixo, animais e pessoas (Fonseca *et al.*, 2019). Sendo assim, a utilização dessa água sem tratamento prévio para fins de consumo humano representa um risco a saúde.

A avaliação dos resultados obtidos é essencial para a identificação das presumíveis contaminações destes recursos. No entanto, é necessário evidenciar que a metodologia do IQA ainda não contempla uma análise crítica de variáveis que são determinantes para ditar um método eficiente de monitoramento. Além disso, as curvas utilizadas no estado do Pernambuco são as mesmas da CETESB, por este motivo, não são sensíveis às particularidades da região que podem fazer diferença ao resultado final obtido.

Já quanto a determinação do IIAN, as 4 nascentes variaram em Bom (A e C) e Razoável (B e D), conforme quadro 8. Este índice, apesar de visual, apresentou o mesmo padrão do IQA para os mesmos dois pares de nascentes. Embora constituir-se apenas pela avaliação qualitativa, o resultado encontrado demonstra um panorama geral das intervenções urbanas nas dinâmicas das nascentes.

Quadro 8 – Cálculo do IIAN para as nascentes amostradas

Campanha	A	B	C	D
1ª Campanha	30 BOM	29 BOM	29 BOM	27 RAZOÁVEL
2ª Campanha	30 BOM	27 RAZOÁVEL	29 BOM	26 RAZOÁVEL
3ª Campanha	27 RAZOÁVEL	30 BOM	31 ÓTIMO	29 BOM
4ª Campanha	29 BOM	29 BOM	30 BOM	26 RAZOÁVEL
5ª Campanha	32 ÓTIMO	22 RUIM	30 BOM	27 RAZOÁVEL
6ª Campanha	29 BOM	21 PÉSSIMO	29 BOM	28 BOM
MÉDIA	30 BOM	26 RAZOÁVEL	30 BOM	27 RAZOÁVEL

Fonte: Autora (2024)

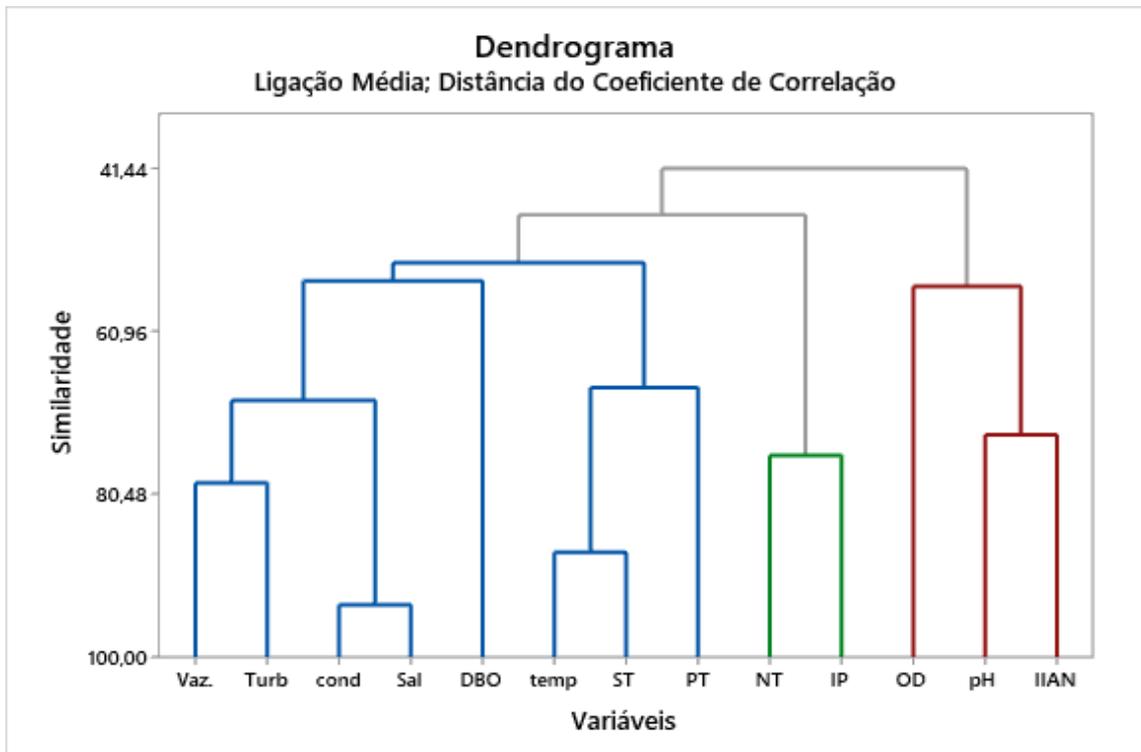
Felippe (2009) destacou que, mesmo com a delimitação de unidades de proteção, o entorno das nascentes não deixa de estar susceptível às interferências antrópicas, o que é fator

preocupante. Esta consideração torna relevante o estudo quanto ao uso e ocupação do solo tanto na Área de Preservação Permanente (APP), que configura a faixa de proteção das nascentes, quanto também de toda a área de influência da bacia hidrográfica que se insere estes corpos hídricos.

Ainda que ambos os índices possuam potencialidades para uso, observou-se que não são suficientes para fornecer um diagnóstico confiável da qualidade ambiental das nascentes. Com isso, o tratamento por estatística multivariada foi empregado, visando dirimir inconsistências e estabelecer correlações determinadas pelo próprio conjunto de dados.

Todos os parâmetros analisados foram estruturados no dendograma ilustrado na figura 2, com objetivo de representar graficamente a relação entre objetos ou grupos de objetos em uma análise de agrupamentos. A hierarquia é delineada por meio da medida da distância entre os parâmetros, sendo assim, quanto mais próximos uns dos outros, menor será sua distância de correlação.

Figura 2 – Dendograma de todos os parâmetros de análise



Fonte: Autora (2024) por meio do software estatístico.

Como observado no dendograma, foram formados três grupos distintos, que entre si apresentaram maior associação, representados pelas cores azul, verde e vermelho. Em resumo, o primeiro grupo (à esquerda) destaca a relação entre a vazão e a turbidez. No segundo grupo

(central), observa-se que o Nitrogênio Total e o Índice Pluviométrico apresentam muita afinidade entre si, diferentes dos demais parâmetros em análise, que se associam a bem mais variáveis. Já o terceiro grupo (à direita), apresenta o pH e o IIAN próximos, que ambos se relacionam ao OD.

Como estudado por Fia *et al.* (2014) os valores de turbidez podem ter relação direta com a presença de sólidos em suspensão, posto que, estes podem ser submetidos a uma força de arraste até o local. Em contrapartida, Santos *et al.* (2001) afirmaram que a turbidez não depende somente desta concentração de sedimentos em suspensão, assim como de outras características do sedimento, tais como tamanho, composição mineral, cor e quantidade de matéria orgânica. O aumento da vazão pode se relacionar com a diminuição dos valores da turbidez, devido ao efeito do processo natural de diluição (Barros *et al.*, 2011).

O nitrogênio pode ser encontrado nas águas doces em três principais formas: nitrito, nitrato e amônia, onde a sua presença pode ocasionar a redução da qualidade da água e a proliferação de algas (Correa, Monte e Nascimento, 2020). A poluição indicada pela alta presença deste pode ser devido a causas pontuais, como a decomposição de resíduos orgânicos, sistemas de saneamento, efluentes de águas residuais; ou causas difusas, como o uso de fertilizantes e pesticidas nas adjacências dos corpos hídricos (Arauzo & Martínez-Bastida, 2015; Gu *et al.*, 2013), quaisquer dessas intensificadas pela ação das chuvas.

Apesar de não correlacionado ao fósforo, este nutriente também pode facilmente ser transportado para corpos d'água através das chuvas (Silva, 2019) e um dos principais impactos ambientais associados ao enriquecimento destes nutrientes é a eutrofização dos mananciais, gerando uma problemática de saúde pública (Barreto *et al.*, 2013), conforme supracitado.

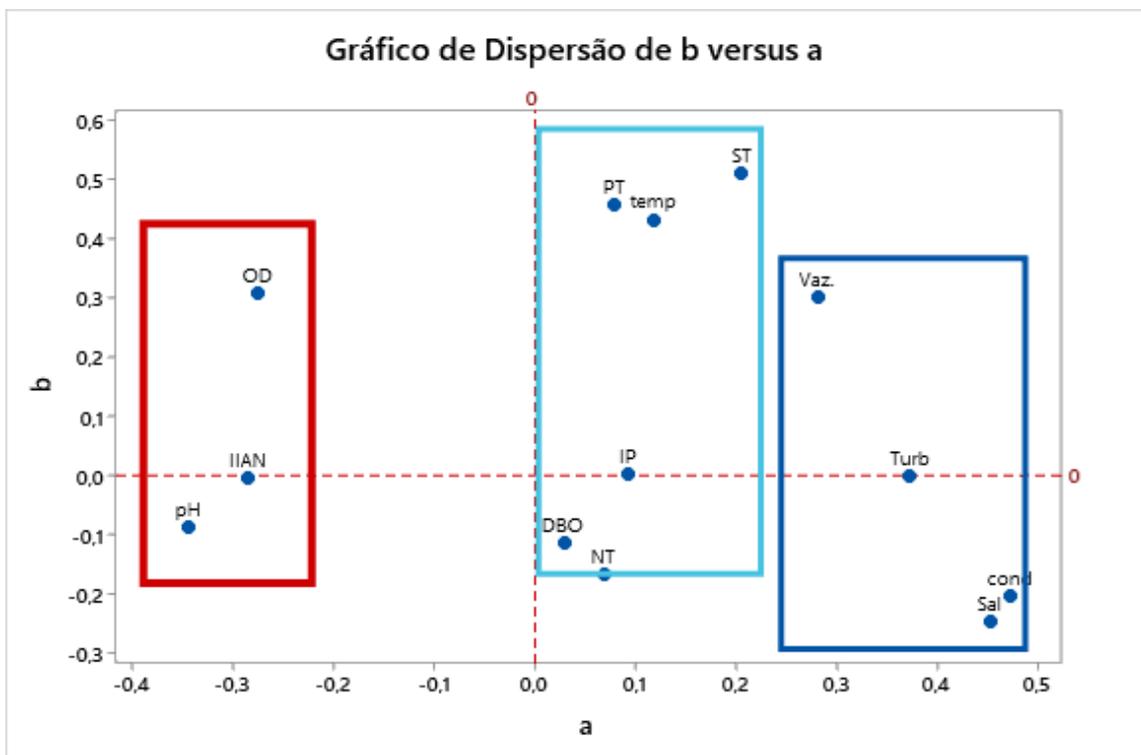
O IIAN, apesar de não considerar parâmetros físico-químicos e microbiológicos, figurou-se próximo ao pH. Ou seja, num modelo de monitoramento ambiental, alterações no pH poderiam ser indicativas de alterações no IIAN. Salati, Lemos e Salati (2002) apresentaram o pH como um parâmetro passível de variações naturais devido as próprias condições do clima, da constante interação entre litosfera, biosfera e atmosfera, das características físicas e biológicas dos ecossistemas. O índice relacionado, em suas variáveis constituintes, também considera a observação de condições naturais para composição de seu resultado final, à exemplo da gradação do estado da vegetação no entorno das nascentes.

Leal *et al.* (2017) prognosticaram que vários impactos ambientais se dão nas regiões próximas às nascentes, nomeadamente a poluição sanitária, as próprias alterações na qualidade da água, a impermeabilização e/ou compactação do solo, redução da capacidade de infiltração da água no solo, além da ausência de proteção ao redor das nascentes, facilitando o acesso de

peças e animais, que realizam pisoteio e podem promover alterações na disponibilidade hídrica das nascentes. Diante disso, consome-se a interligação entre todos os parâmetros relacionados e institui-se a necessidade de criação de um modelo de monitoramento simplificado e eficaz.

No que concerne a Análise de Componentes Principais (PCA), buscou-se a correlação dos parâmetros (figura 3) para definição das variáveis mais significativas para retratar o diagnóstico ambiental dos pontos de estudo.

Figura 3 – Gráfico de Dispersão por parâmetro



Fonte: Autora (2024) por meio do software estatístico.

Neste gráfico, a ACP reduziu o número de dados brutos em um espaço bidimensional (a e b), para determinação das tendências mais evidentes dos parâmetros se agruparem sob as campanhas e as nascentes em estudo, no qual se espera encontrar algum tipo de padrão abrangendo ao máximo as informações originais. A dispersão de a versus b propõe que os parâmetros estão agrupados em três grupos em função do eixo.

O primeiro grupo sugere que pH, IIAN e OD relacionam-se, tal comportamento pode influenciar numa facilitação da aplicação do índice, por meio da adoção de práticas simples de monitoramento de campo como a leitura do pH e do OD, com sonda multiparamétrica, que podem servir de reflexo em alterações nas faixas do IIAN.

O segundo grupo concentra o Índice Pluviométrico (IP) de maneira que é plausível inferir que os demais parâmetros associados estão mais vulneráveis a alterações quando em estações chuvosas. Boldrin *et al.* (2021) confirma esta correlação por meio da avaliação da qualidade hídrica, mostrando que em períodos de chuva os corpos d'água recebem cargas poluidoras que afetam suas condições físico-químicas e microbiológicas.

O último grupo associa vazão, turbidez, condutividade e salinidade, estes dois últimos ainda mais congruente. A turbidez é o parâmetro mais próximo do eixo x, entretanto não é uma variável que deve ser interpretada isoladamente, visto que autores já constataram que este não é um parâmetro confiável para reflexo de efeitos de contaminação (Barreto *et al.*, 2014). Medeiros, Segundo e Magalhães (2015), ao discutirem aumentos de vazão, verificaram a intensificação da velocidade do escoamento fluvial, alteração da capacidade de transporte do rio e da lavagem das margens, o que incrementa o material particulado e dissolvido transportado, indicando correlação entre os parâmetros citados.

A matriz de correlação (figura 4) foi construída de modo a definir as associações de pares de parâmetros associados aos IQA, bem como os valores de IQA e IIAN. Foram marcadas aquelas com coeficiente igual ou superior a 0,8 como correlações fortes. Já as correlações negativas marcadas em amarelo são as inversamente proporcionais observadas.

Figura 4 – Matriz de correlação entre os parâmetros

	Vaz.	OD	pH	cond	temp	DBO	NT	PT	ST	Turb	Sal	IIAN	IP	IQA	coliTT	coloTO
Vaz.	1,0															
OD	-0,6	1,0														
pH	0,9	-0,3	1,0													
cond	0,8	-0,9	0,4	1,0												
temp	0,7	-0,8	0,3	1,0	1,0											
DBO	0,1	0,6	0,5	-0,6	-0,6	1,0										
NT	0,9	-0,8	0,8	0,8	0,7	-0,1	1,0									
PT	-0,9	0,7	-0,9	-0,7	-0,6	-0,1	-1,0	1,0								
ST	0,2	-0,2	-0,3	0,6	0,7	-0,6	0,0	0,2	1,0							
Turb	0,9	-0,8	0,7	0,9	0,9	-0,2	0,9	-0,9	0,3	1,0						
Sal	0,6	-0,7	0,2	0,9	1,0	-0,6	0,6	-0,4	0,8	0,8	1,0					
IIAN	0,6	0,2	0,9	0,0	-0,1	0,8	0,4	-0,5	-0,4	0,3	-0,1	1,0				
IP	0,9	-0,9	0,6	1,0	0,9	-0,3	0,9	-0,8	0,3	1,0	0,8	0,2	1,0			
IQA	-0,7	0,9	-0,4	-1,0	-1,0	0,6	-0,8	0,7	-0,5	-0,9	-0,9	0,1	-1,0	1,0		
coliTT	0,8	-0,1	0,6	0,5	0,6	0,2	0,5	-0,4	0,5	0,6	0,7	0,6	0,6	-0,5	1,0	
coloTO	0,8	0,0	0,8	0,4	0,4	0,5	0,5	-0,5	0,2	0,6	0,4	0,8	0,5	-0,3	0,9	1,0

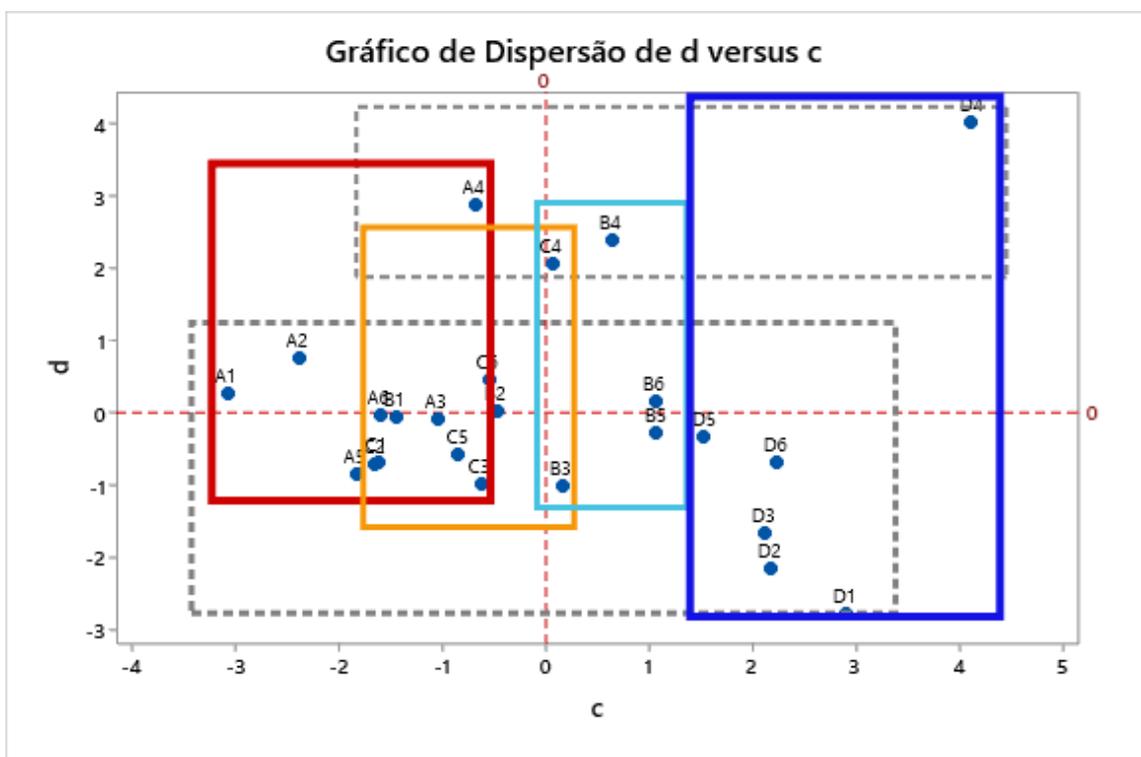
Fonte: Autora (2024) por meio do software Microsoft Excel v. Office16.

Para análise do IIAN, como outrora já discutido, o pH e a DBO foram significativamente correlacionados. Já o IQA correlaciona-se de forma diretamente proporcional com o OD e inversamente proporcional com a condutividade, a temperatura, o

Nitrogênio Total, a turbidez, a salinidade e o índice pluviométrico. Estas correlações permitem selecionar parâmetros-base para um monitoramento ambiental mais simples e eficiente com emprego dos índices em questão.

Outrossim, buscou-se a correlação por campanha e nascente (figura 5) para identificação de pontos com características similares ou particulares, de modo que fosse possível estabelecer uma distribuição espacial na área de interesse ou um modelo para definição de nascentes estratégicas para ampliação do acompanhamento e controle ambiental.

Figura 5 – Gráfico de Dispersão por campanha e nascente



Fonte: Autora (2024) por meio do software estatístico.

Neste modelo de dispersão, é notório que os pontos possuem características particulares, tanto entre nascentes quanto entre campanhas. Apesar disso, foi possível diferenciar as campanhas por nascentes e, desta forma, visualizar a similaridade entre as nascentes A e C e as nascentes B e D, o que é consoante às classificações de IQA e IAN definidas pelos cálculos feitos.

Todavia, todas as amostras da campanha 4 (A4, B4, C4 e D4), que estão na parte superior do gráfico, apresentaram-se distantes do restante do conjunto de dados. Este fato pode fundamentar-se devido a 4ª campanha ter sido realizada em um mês de chuvas atípicas, com significativas alterações no meio, registradas nas fichas de campo.

A identificação dos parâmetros determinantes da variabilidade da qualidade das águas das nascentes em estudo fundamentada pela aplicação do modelo de estatística multivariada permitiu que a criação de agrupamento por correlação defina que parâmetros-chave podem ser utilizados para monitoramento ambiental *in loco* pela própria equipe de Suape.

6.5. Conclusões

A avaliação utilizando os índices, IQA e IIAN, permitiu classificar os quatro pontos com características de degradação pela presença de coliformes termotolerantes em todas as amostras analisadas, enquadrados em faixas que não permitem a utilização para consumo humano sem prévio tratamento. Em ambas classificações, foram observadas características de similaridade entre os pontos A e C (mais preservadas) e entre os pontos B e D (mais degradadas).

O tratamento dos dados por meio da estatística multivariada permitiu a dedução de diversas correlações de variáveis ambientais e, ao final, a sugestão de um modelo de gestão e monitoramento ambiental de nascentes, utilizando de menos parâmetros e escolhendo pontos mais estratégicos para medidas de controle e manutenção tanto da qualidade, quanto da disponibilidade, com vistas à utilização racional destes recursos hídricos.

Para melhor desenvolvimento deste e de demais estudos relacionados ao tema, propõe-se a criação de uma metodologia em que seja possível unir variáveis qualitativas e quantitativas, considerando as alterações de uso e ocupação do solo, permitindo se antecipar aos impactos ambientais, bem como acompanhar periodicamente a preservação ambiental da microbacia do riacho Algodois.

Além disso, ações de conscientização são primordiais para manutenção da função ecológica das nascentes, perpetuando a importância destas no ciclo hidrológico e na disponibilidade hídrica, tanto em escala local, quanto no contexto geral do meio ambiente global, dadas as intensas interrelações ecossistêmicas dos recursos naturais.

6.6. Referências

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Água No Mundo**. Brasília, DF, 2018. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/textos-das-paginas-do-portal/agua-no-mundo/agua-no-mundo>. Acesso em 25 jul. 2024.

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**. Brasília, DF, 2013. Disponível em:

<https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos>. Acesso em 01 ago. 2024.

ARAUZO, M.; MARTÍNEZ-BASTIDA, J. J. Environmental factors affecting diffuse nitrate pollution in the major aquifers of central Spain: groundwater vulnerability vs. groundwater pollution. **Environmental Earth Sciences**, v. 73, n. 12, p. 8271–8286, 15 jan. 2015.

BARRETO, L. V.; BARROS, F. M.; BONOMO, P.; ROCHA, F. A.; AMORIM, J. S. Eutrofização em rios brasileiros. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, v. 9, n. 16, p. 2165-2179, 01 jul. 2013.

BARRETO, L. V.; FRAGA, M. S.; BARROS, F. M.; ROCHA, F. A.; AMORIM, J. S.; CARVALHO, S. R.; BONOMO, P.; SILVA, D. P. Relação entre vazão e qualidade da água em uma seção de rio. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, v. 9, n. 1, p. 118-129, 26 mar. 2014. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrograficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1278>.

BARROS, A. M. L. **Aplicação do modelo Moneris à bacia hidrográfica do rio Ipojuca, Pernambuco**. 2008. 193 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

BARROS, F. M.; ROCHA, F. A.; FRAGA, M. S.; GENEROSO, T. N.; MELO, A. R. B. Variação da turbidez em pontos distintos de um perfil transversal do rio Catolé-BA sob diferentes níveis de vazão. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, v. 7, n.12, p. 1-6, 31 maio 2011.

BOLDRIN, A. C. D.; RODRIGUES, C. F. C.; MARTINS, H. L.; MILLAN, R. N. Monitoramento dos recursos hídricos e qualidade de água em período de chuva dentro da cidade de Frutal – MG. In: 18º Congresso Nacional de Meio Ambiente, 2021, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas, 2021.

BRASIL. Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o art. 1º da Lei 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 1997.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 07 maio 2021, Seção 1, p. 267.

CARVALHO, A. T. F.; CABRAL, J. J. S. P. Metodologia para avaliação de sustentabilidade hidroambiental para projetos de intervenções em rios perenes (MASRIOS): Aplicação e considerações a partir de estudos de caso. **Geociências**, São Paulo, UNESP, v. 41, n. 2, p. 465-478, 2022.

CARVALHO, B. M. F. **Qualidade hídrica e perfil de resistência de bactérias heterotróficas em águas de nascentes sobre diferentes usos do solo, na microbacia do**

ribeirão José Pereira (Itajubá – MG). 2015. 92 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2015.

CIPS - Complexo Industrial Portuário de SUAPE. **Estudo Ambiental Complementar (EAC) ao Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental (EIA- RIMA) do Projeto de Ampliação e Modernização do Porto de Suape**. Cabo de Santo Agostinho, 2011.

CIPS - Complexo Industrial Portuário de SUAPE. **Programa Nascentes de Suape: conhecimento, conservação e educação ambiental**. Ipojuca, 2014. 50 p.

CIPS - Complexo Industrial Portuário de SUAPE. **Relatório do diagnóstico ambiental das nascentes da microbacia do riacho algadoais inseridas na Zona de Preservação Ecológica (ZPEc) de Suape identificadas em 2016, 2017 e 2018**, Parte III. Ipojuca, 2018. 50 p.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Nº 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 18 mar. 2005.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Nº 396 de 03 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 07 abr. 2008.

CONCEIÇÃO, K. Z. **Controle estatístico e previsão do monitoramento do índice de qualidade da água**. 2017. 61 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2017.

CORREA, E. S.; MONTE, C. N. NASCIMENTO, T. R. S. Avaliação de impacto ambiental causado por efluentes da estação de piscicultura Santa Rosa, Santarém/Pará. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 1, p. 260-273, 12 fev. 2020. Companhia Brasileira de Produção Científica. <http://dx.doi.org/10.6008/cbpc2179-6858.2020.001.0024>.

CPRH – Agência Estadual de Meio Ambiente do Estado de Pernambuco. **Programa Nacional do Meio Ambiente – PNMA II. Índices e Indicadores de Qualidade da Água – Seleção Preliminar e Material de Apoio para Aplicação**. 33 p. Acesso em 02 de set. de 2024. Disponível em: <http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/indice-agua-volume2.pdf>.

FELIPPE, M. F. **Caracterização e tipologia de nascentes em unidades de conservação de Belo Horizonte – MG com base em variáveis geomorfológicas, hidrológicas e ambientais**. 2009. 277 f. Dissertação (Mestrado em Geografia e Análise Ambiental) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

FELIPPE, M. F; MAGALHÃES JR., A.P. Impactos ambientais macroscópicos e qualidade das águas em nascentes de parques municipais em Belo Horizonte- MG. **Revista Geografias**, v. 8, n.2, p. 8-23, 21 dez. 2012. Universidade Federal de Minas Gerais - Pro-Reitoria de Pesquisa. <https://doi.org/10.35699/2237-549X..13336>.

FERNANDÉZ, Z. H. **Análise de metais pesados em solos de Pernambuco com diferentes atividades antrópicas**. 2017. 93 f. Tese (Doutorado em Tecnologias Energéticas e Nucleares) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

FIA, R.; TADEU, H. C.; MENEZES, J. P. C.; FIA, F. R. L.; OLIVEIRA, L. F. C. Qualidade da água de um ecossistema lótico urbano. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 20, n. 1, p. 267-275, 30 set. 2014.

FONSECA, A. R.; COSTA, F. A. F.; GONTIJO, R. A. N.; FONSECA, T. L. Macroscopic analyses and evaluation of environmental quality in urban springs of Divinópolis - MG. **Scientific Electronic Archives**, Sinop – MT, v. 12, n. 4, p. 68-74, ago. 2019. <https://doi.org/10.36560/1242019720>

FRANÇA, F. M. C. **Nascentes hídricas do Ceará: importância, proteção e uso sustentável**. 1. ed. Fortaleza: SECITECE/Instituto CENTEC, 2019. 118 p.

GARCIA, J. M.; MANTOVANI, P.; GOMES, R. C.; LONGO, R. M.; DEMANBORO, A. C.; BETTINE, S. C. Degradação ambiental e qualidade da água em nascentes de rios urbanos. **Sociedade & Natureza**, v. 30, n. 1, p. 228-254, jan-abr. 2018. <https://doi.org/10.14393/SN-v30n1-2018-10>.

GOMES, P. M.; MELO, C.; VALE, V. S. Avaliação dos impactos ambientais em nascentes na cidade de Uberlândia-MG: análise macroscópica. **Sociedade & Natureza**, v. 17, n. 32, p. 103-120, jun. 2005. 10.14393/SN-v17-2005-9169.

GU, B.; GE, Y.; CHANG, S. X.; LUO, W.; CHANG, J.. Nitrate in groundwater of China: sources and driving forces. **Global Environmental Change**, v. 23, n. 5, p. 1112-1121, out. 7 jun. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.05.004>.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2000**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em 22 ago. 2024.

LEAL, M. S.; TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; MINGOTI, R. Caracterização hidroambiental de nascentes. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, v. 12, n. 1, p. 146-155, 1 jan. 2017. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrograficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1909>.

LINS, E. A. M.; ACIOLY, M. G.; MOTA, A. M. V.; CALSA, M. C. P.; BARROS, A. C. B. Estudo de caso da viabilidade de implantação de projetos de crédito de Carbono no Complexo Industrial Portuário de Suape. In: XII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 2021, Salvador/BA. **Anais...** IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais, Salvador, 2021.

MEDEIROS, P. R. P.; SEGUNDO, G. H. C.; MAGALHÃES, E. M. M. Comportamento da turbidez material em suspensão, em um rio com vazão regularizada por sistema de barragens em cascata: Rio São Francisco (NE, Brasil). **Geochimica Brasiliensis**, v. 29, n. 1, p. 35-44, 09 set. 2015. 10.5327/Z0102-980020150001000.

PARRON, L. M.; MUNIZ, H. F.; PEREIRA, C. M. Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água. Colombo: Embrapa Florestas, 2011.

PIASENTIN, A. M. **Índice de Qualidade da Água - IQA da bacia contribuinte do reservatório Tanque Grande, município de Guarulhos, SP**. 2009. 165 f. Dissertação (Mestrado em Análise Geoambiental) – Universidade Guarulhos, Guarulhos, 2009

PINTO, L. V. A.; ROMA, T. N.; BALIEIRO, K. R. C. Avaliação qualitativa da água de nascentes com diferentes usos do solo em seu entorno. **Cerne**, v. 18, n. 3, p. 495-505, set. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0104-77602012000300018>.

OLIVEIRA, F. M.; ARAÚJO, G. M.; LIMA NETO, O. C.; SANTOS, Y. T. C.; LANDIM, R. B. T. V.; MORAIS, D. P.; MORAES, A. S. Qualitative and Quantitative Study of Water Springs of Cities in The Cariri Cearense in Brazil. **International Journal of Science and Research Methodology**, v. 23, n.1, p. 1-26, nov. 2022

SALATI, E.; LEMOS, H. M.; SALATI, E. Água e desenvolvimento sustentável. In: REBOUÇAS, A.C; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 2.ed. São Paulo: Escrituras, 2002. p. 39-63

SANTOS, I. D.; FILL, H. D.; SUGAI, M. R.V. B.; BUBA, H.; KISHI, R. T.; MARONE, E.; LAUTERT, L. F. **Hidrometria Aplicada**. 1. ed. Curitiba: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (ITD), 2001. 372 p.

SECTMA - Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente do Estado de Pernambuco. **Atlas de bacias hidrográficas de Pernambuco**. 1ª ed. Recife: Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente, 2002, 104 p.

SILVA, A. R. **Avaliação do processo de eutrofização das águas superficiais, do cenário nacional ao local: estudo de caso nas bacias hidrográficas costeiras dos rios Ratonés, Itacorubi e Tavares (Ilha de Santa Catarina, Brasil)**. 2019. 309 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

SILVA, R. O. B., MONTENEGRO, S. M. G. L., SOUZA, W. M., 2017. Tendências de mudanças climáticas na precipitação pluviométrica nas bacias hidrográficas do estado de Pernambuco. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 22, n. 33, p. 579-589, maio 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522017142481>.

TEIXEIRA, E. C., SENHORELO, A. P. Avaliação de correlação entre turbidez e concentração de sólidos suspensos em bacias hidrográficas com uso e ocupação diferenciada. In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 27, Porto Alegre. **Anais...** São Paulo: AIDIS - Associação Interamericana de Engenharia Sanitária, 2000. p. 1 – 5.

VASCONCELOS, R. S.; CAETANO, T. O.; CIRILO, J. A.; FERREIRA, T. S. G.; SOUZA Jr., E. Q. Escassez hídrica e disponibilidade de aluviões para a construção de barragens subterrâneas em Pernambuco. In: XV Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2020, Caruaru/PE. **Anais...** Caruaru, 2020.

VON SPERLING, M. **Estudo e modelagem da qualidade da água de rios**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG (DESA): Belo Horizonte, 2007. 452 p.

7. CONCLUSÕES GERAIS

Primariamente, observou-se o potencial de inovação no que tange às pesquisas de utilização de índices para determinação de situação atual das nascentes. Principalmente no Brasil, são identificados diversos corpos hídricos que não possuem um adequado monitoramento ambiental. Com o desenvolvimento deste trabalho, foi plausível alcançar uma ideia inicial para uniformização de metodologia integrada para verificação da qualidade ambiental das nascentes.

No sentido do estado de conservação do solo e vegetação ripária das APPs no entorno das nascentes, o geoprocessamento e sensoriamento remoto se mostraram eficientes tecnologias para avaliação do uso e ocupação do solo, com o acompanhamento das variáveis espaço-temporais que podem provocar alterações na dinâmica ambiental. No caso da área de estudo, observou-se positivamente o aumento da classe de Formação Florestal, no entanto, também houve um alarmante aumento da classe de Áreas Urbanizadas e uma redução da classe que compõem os recursos hídricos. O uso contínuo desse acompanhamento por processamento digital de imagens de satélite permite identificar explorações indevidas do solo e até mesmo a fiscalização remota do cumprimento da proteção das áreas no entorno de nascentes.

No sentido quantitativo e qualitativo, com os estudos realizados e com o devido tratamento estatístico, foi possível traçar algumas compreensões a respeito da complexidade das relações das atividades naturais e antrópicas com os parâmetros que compõem a dinâmica das nascentes da microbacia do riacho Algodoais, inseridas na área de influência de Suape. Dos quatro pontos de interesse analisados, nenhum possui qualidade suficiente para abastecimento humano sem algum tipo de tratamento prévio, visto que todos indicaram presença de coliformes termotolerantes. Com as devidas discussões, conclui-se que os índices apontados na literatura científica são ferramentas essenciais para esta classificação das nascentes, no entanto, devem ser empregados de maneira composta e com um seguro tratamento de dados para interpretações mais claras e proposição de medidas mitigadoras eficazes.

Uma das principais considerações a respeito do diagnóstico realizado é a proposição de medidas simplificadas para o monitoramento ambiental permanente, de modo a antecipar possíveis impactos negativos e gerir os recursos hídricos de maneira sustentável e equilibrada. Os resultados finais se mostraram satisfatórios em promover uma revisão e consolidação dos métodos de análise quantitativa, qualitativa e espacial das nascentes, gerando um fundamental acervo de dados para o gerenciamento destes recursos hídricos e para uma consciente tomada de decisões.

REFERÊNCIAS

- ABDO, N.; ALHAMID, A.; ABU-DALO, M.; GRABOSKI-BAUER, A.; AL HARAHSEH, M. Potential health risk assessment of mixtures of heavy metals in drinking water. **Groundwater for Sustainable Development**, v. 25, p. 101-147, maio 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gsd.2024.101147>.
- ALVARENGA, L. A.; MARTINS, M. P. P.; CUARTAS, L. A.; PENTEADO, V. A.; ANDRADE, A. Estudo da qualidade e quantidade da água em microbacia, afluente do rio Paraíba do Sul – São Paulo, após ações de preservação ambiental. **Rev. Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, v. 7, n. 3, p. 228-240, 31 dez. 2012. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrograficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/ambiente.987>.
- ALVES, M. J. C. F.; ALVES, S. G.; CAVALCANTI, A. M. C.; SANTOS, C. P. S.; OBANDO, G. N.; GURGEL, I. G. D.; SANTOS, M. O. S. Mapeamento de conflitos socioambientais no território de Suape, Pernambuco/Brasil. **Revista Mutirão. Folhetim de Geografias Agrárias do Sul**, v. 2, n. 2, p. 176, 30 dez. 2021. Universidade Federal de Pernambuco. <http://dx.doi.org/10.51359/2675-3472.2021.252448>.
- ALVES, S. G. **Injustiças Socioambientais e Interferências na Saúde de Populações Localizadas na Área do Complexo Industrial Portuário de Suape**. 2016. 138 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, 2016.
- AMEEN, H. A. Spring water quality assessment using water quality index in villages of Barwari Bala, Duhok, Kurdistan Region, Iraq. **Applied Water Science**, v. 9, n. 8, p. 1-12, 14 out. 2019. Springer Science and Business Media LLC. <https://doi.org/10.1007/s13201-019-1080-z>.
- AMIN, M. G. M.; VEITH, T. L.; COLLICK, A. S.; KARSTEN, H. D.; BUDA, A. R. Simulating hydrological and nonpoint source pollution processes in a karst watershed: A variable source area hydrology model evaluation. **Agricultural Water Management**, v. 180, p. 212–223, jan. 2017. Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.07.011>.
- AMORIM, E. S.; SAMPAIO, G. M.; LAFAYETTE, K. P. V.; SILVA, S. R. Aplicação do sistema Betonbloc, como alternativa de contenção da erosão costeira no município de Ipojuca/PE. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 9, n. 1, p. 44-58, 19 maio 2023. Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN. <http://dx.doi.org/10.21680/2447-3359.2023v9n1id31283>.
- ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Água No Mundo**. Brasília, DF, 2018. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/textos-das-paginas-do-portal/agua-no-mundo/agua-no-mundo>. Acesso em 25 jul. 2024.
- ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**. Brasília, DF, 2013. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos>. Acesso em 01 ago. 2024.

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil**. Brasília, DF, 2019. Disponível em: <http://snirh.gov.br/usos-da-agua/>. Acesso em: 25 jul. 2024.

APHA - American Public Health Association; AWWA - American Water Works Association; WEF - Water Environment Federation. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 23th ed. Washington, D.C, 2017. 1543 p.

AQUINO, C. M. S.; VALLADARES, G. S. Geografia, Geotecnologias e planejamento ambiental. **Geografia**, Londrina, v. 22, n. 1, p. 117-138, 26 maio 2014. <https://doi.org/10.5433/2447-1747.2013v22n1p117>.

ARAUZO, M.; MARTÍNEZ-BASTIDA, J. J. Environmental factors affecting diffuse nitrate pollution in the major aquifers of central Spain: groundwater vulnerability vs. groundwater pollution. **Environmental Earth Sciences**, v. 73, n. 12, p. 8271–8286, 15 jan. 2015.

BARAKAT, A.; MEDDAH, R.; AFDALI, M.; TOUHAMI, F. Physicochemical and microbial assessment of spring water quality for drinking supply in Piedmont of Béni-Mellal Atlas (Morocco). **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 104, p. 39–46, abr. 2018. Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2018.01.006>.

BARRETO, L. V.; BARROS, F. M.; BONOMO, P.; ROCHA, F. A.; AMORIM, J. S. Eutrofização em rios brasileiros. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, v. 9, n. 16, p. 2165-2179, 01 jul. 2013.

BARRETO, L. V.; FRAGA, M. S.; BARROS, F. M.; ROCHA, F. A.; AMORIM, J. S.; CARVALHO, S. R.; BONOMO, P.; SILVA, D. P. Relação entre vazão e qualidade da água em uma seção de rio. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, v. 9, n. 1, p. 118-129, 26 mar. 2014. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrográficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1278>.

BARROS, A. M. L. **Aplicação do modelo Moneris à bacia hidrográfica do rio Ipojuca, Pernambuco**. 2008. 193 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

BARROS, A. P.; SILVEIRA, K. A. A produção do espaço rural-urbano e seus rebatimentos nos conflitos socioambientais na área de Suape, Pernambuco - Brasil. **Cadernos CERU** [online], série 2, v. 21, n.1, p. 163-179, 2010.

BARROS, F. M.; ROCHA, F. A.; FRAGA, M. S.; GENEROSO, T. N.; MELO, A. R. B. Variação da turbidez em pontos distintos de um perfil transversal do rio Catolé-BA sob diferentes níveis de vazão. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, v. 7, n.12, p. 1-6, 31 maio 2011.

BERNARDI, J. V. E.; LACERDA, L. D.; DÓREA, J. G.; LANDIM, P. M. B.; GOMES, J. P. O.; ALMEIDA, R.; MANZATTO, A. G.; BASTOS, W. R. Aplicação da Análise das Componentes Principais na ordenação dos parâmetros físico-químicos no Alto Rio Madeira e afluentes, Amazônia Ocidental. **Geochimica Brasiliensis**, v. 23, n. 1, p. 79-90, 07 ago. 2009.

BEZERRA, A. A.; SILVA, A. P. L. Monitoramento de vazão nas nascentes da Serra da Caiçara, Maravilha do Semiárido alagoano. In: Congresso Internacional da Diversidade do Semiárido, 1, 2016, Campina Grande. **Anais...**, Campina Grande, 2016.

BHAT, S. U.; MUSHTAQ, S.; QAYOOM, U.; SABHA, I. Water Quality Scenario of Kashmir Himalayan Springs—a Case Study of Baramulla District, Kashmir Valley. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 231, n. 9, 22 ago. 2020. Springer Science and Business Media LLC. <https://doi.org/10.1007/s11270-020-04796-4>.

BOLDRIN, A. C. D.; RODRIGUES, C. F. C.; MARTINS, H. L.; MILLAN, R. N. Monitoramento dos recursos hídricos e qualidade de água em período de chuva dentro da cidade de Frutal – MG. In: 18º Congresso Nacional de Meio Ambiente, 2021, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas, 2021.

BOMFIM, E. O.; GADELHA, C. L. M.; FILGUEIRA, H. J. A.; AMORIM, J. F.; AMORIM, D. S. Sustentabilidade Hidroambiental de nascentes na bacia hidrográfica do rio Gramame no estado da Paraíba, Brasil. **Sociedade & Natureza**, v. 27, n. 3, p. 453-468, dez. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1982-451320150307>.

BRAGA, A. P.; UCHOA, T. M. de M.; DUARTE, M. T. M. B. Impactos ambientais sobre o manguezal de Suape – PE. **Acta Botanica Brasilica**. Brasília, DF, v. 3, n. 21, p. 09-27, 1989. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-33061989000300003>.

BRANCO, O. E. B. **Avaliação da disponibilidade hídrica**: Conceitos e aplicabilidade. UFJF, 2006. 20 p. Disponível em: <https://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2012/04/Disponibilidade-H%C3%ADrica.pdf>. Acesso em 01 set. 2024.

BRASIL. Decreto Federal Nº 97.632, de 10 de abril de 1989. Dispõe sobre a regulamentação do Artigo 2º, inciso VIII, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 12 abril 1989.

BRASIL. Lei Federal nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o Código Florestal. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 16 set. 1965.

BRASIL. Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o art. 1º da Lei 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 1997.

BRASIL. Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 28 maio 2012.

BRASIL. Lei Nº 14.653, de 23 de agosto de 2023. Altera as Leis nºs 12.651, de 25 de maio de 2012, e 14.119, de 13 de janeiro de 2021, para disciplinar a intervenção e a implantação de

instalações necessárias à recuperação e à proteção de nascentes. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 24 ago 2023. Seção 1, p.7.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 07 maio 2021, Seção 1, p. 267.

CARMO, L. G.; FELIPPE, M. F.; MAGALHÃES JUNIOR, A. P. Áreas de Preservação Permanente no entorno de nascentes: Conflitos, lacunas e alternativas da legislação ambiental brasileira. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiás, v. 34, n. 2, p. 275-293, maio/ago.2014.

CARVALHO, A. T. F.; CABRAL, J. J. S. P. Metodologia para avaliação de sustentabilidade hidroambiental para projetos de intervenções em rios perenes (MASRIOS): Aplicação e considerações a partir de estudos de caso. **Geociências**, São Paulo, UNESP, v. 41, n. 2, p. 465-478, 2022.

CARVALHO, B. M. F. **Qualidade hídrica e perfil de resistência de bactérias heterotróficas em águas de nascentes sobre diferentes usos do solo, na microbacia do ribeirão José Pereira (Itajubá – MG)**. 2015. 92 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2015.

CASTRO, M. N.; CASTRO, R. M.; SOUZA, P. C. A importância da mata ciliar no contexto da conservação do solo. **Revista Eletrônica de Educação da Faculdade Araguaia**, v. 4, n. 4, p. 230-541, 01 ago. 2013.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Água: rios e reservatórios**. São Paulo, SP, 2007. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/rios/indice.asp>. Acesso em: 22 jul. 2023.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Apêndice D – Índices de Qualidade das Águas**. São Paulo, SP, 2018. 32 f. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/12/2018/03/Apendice-D-Indices-de-Qualidade-das-Aguas-1.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2023.

CHAUHAN, J. S.; BADWAL, T.; BADOLA, N. Assessment of potability of spring water and its health implication in a hilly village of Uttarakhand, India. **Applied Water Science**, v. 10, n. 2, p. 1-10, 11 fev. 2010. Springer Science and Business Media LLC. <https://doi.org/10.1007/s13201-020-1159-6>.

CINTI, D.; VASELLI, O.; PONCIA, P. P.; BRUSCA, L.; GRASSA, F.; PROCESI, M.; TASSI, F. Anomalous concentrations of arsenic, fluoride and radon in volcanic-sedimentary aquifers from central Italy: Quality indexes for management of the water resource. **Environmental Pollution**, v. 253, p. 525–537, out. 2019. Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.07.063>

CIPS - Complexo Industrial Portuário de SUAPE. **Estudo Ambiental Complementar (EAC) ao Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental (EIA- RIMA) do Projeto de Ampliação e Modernização do Porto de Suape**. Cabo de Santo Agostinho, 2011.

CIPS - Complexo Industrial Portuário de SUAPE. **Programa Nascentes de Suape:** conhecimento, conservação e educação ambiental. Ipojuca, 2014. 50 p.

CIPS - Complexo Industrial Portuário de SUAPE. **Relatório de diagnóstico ambiental das nascentes da microbacia do riacho algodoads inseridas na Zona de Preservação Ecológica (ZPEc) de Suape identificadas em 2016.** Ipojuca, 2017. 273 p.

CIPS - Complexo Industrial Portuário de SUAPE. **Relatório do diagnóstico ambiental das nascentes da microbacia do riacho algodoads inseridas na Zona de Preservação Ecológica (ZPEc) de Suape identificadas em 2016, 2017 e 2018,** Parte III. Ipojuca, 2018. 50 p.

CIPS - Complexo Industrial Portuário de SUAPE. **Relatório de diagnóstico ambiental das nascentes da microbacia do riacho algodoads inseridas na Zona de Preservação Ecológica (ZPEc) de Suape identificadas em 2017.** Ipojuca, 2018. 121 p.

CLUBB, F. J.; MUDD, S. M.; MILODOWSKI, D. T.; HURST, M. D.; SLATER, L. J.. Objective extraction of channel heads from high-resolution topographic data. **Water Resources Research**, v. 50, n. 5, p. 4283-4304, 28 abr. 2014. American Geophysical Union (AGU). <http://dx.doi.org/10.1002/2013wr015167>.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Nº 303 de 20 de março de 2002. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 13 maio 2002.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Nº 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 18 mar. 2005.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Nº 396 de 03 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 07 abr. 2008.

CONCEIÇÃO, K. Z. **Controle estatístico e previsão do monitoramento do índice de qualidade da água.** 2017. 61 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2017.

CORDEIRO, S. A.; GODOY, T. M.; GONTIJO, R. N.; GUERRA, C. A. (org.). **Pre-servação de nascentes.** Diamantina, 2021. 30 p.

CORREA, E. S.; MONTE, C. N. NASCIMENTO, T. R. S. Avaliação de impacto ambiental causado por efluentes da estação de piscicultura Santa Rosa, Santarém/Pará. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 1, p. 260-273, 12 fev. 2020. Companhia Brasileira de Produção Científica. <http://dx.doi.org/10.6008/cbpc2179-6858.2020.001.0024>.

CORTINES, E. **Funcionamento hidrológico de nascentes em microbacias instáveis, Barra de Guaratiba - RJ**. 2008. 87 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008.

COSTA, H. F. **Monitoramento da qualidade da água e do uso e cobertura da terra na bacia de contribuição da represa de São Pedro, Juiz de Fora (MG) no período de 2005 a 2015**. 2016. 72 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016.

CPRH – Agência Estadual de Meio Ambiente do Estado de Pernambuco. **Programa Nacional do Meio Ambiente – PNMA II**. Índices e Indicadores de Qualidade da Água – Seleção Preliminar e Material de Apoio para Aplicação. 33 p. Acesso em 02 de set. de 2024. Disponível em: <http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/indice-agua-volume2.pdf>.

DAOU, C.; NABBOUT, R.; KASSOUF, A. Spatial and temporal assessment of surface water quality in the Arka River, Akkar, Lebanon. **Environmental Monitoring and Assessment**, Zurique, v. 188, n. 12, p. 1–10, 22 nov. 2016. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-016-5686-4>.

DIAS, H. C. T.; SILVA, A. P. S.; TONELLO, K. C. **Proteção de nascentes**. 3 ed. Brasília: SENAR, 2011. 110 p.

DUTTA, N.; THAKUR, B. K.; NURUJAMAN, M.; DEBNATH, K.; BAL, D. P. An assessment of the water quality index (WQI) of drinking water in the Eastern Himalayas of South Sikkim, India. **Groundwater for Sustainable Development**, v. 17, 100735, maio 2022. Elsevier BV <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2022.100735>.

EBRAHEEM, A. A.; SHERIF, M.; AL MULLA, M.; ALGHAFI, K.; SEFELNASR, A. Assessment of Groundwater Resources in Water Spring Areas Using Geophysical Methods, Northern UAE. **Natural Disaster Science And Mitigation Engineering**: DPRI reports, p. 493-508, 12 out. 2021. Springer Singapore. http://dx.doi.org/10.1007/978-981-16-2904-4_20.

EZEA, V. C.; IHEDIOHA, J. N.; ABUGU, H. O.; EKERE, N. R. A multi-criteria approach to drinking and irrigation water assessment of spring water in Igbo-Etiti, Nigeria. **Applied Water Science**, v. 12, n. 9, p. 1-20, 06 ago. 2022. <https://doi.org/10.1007/s13201-022-01747-8>.

FELIPPE, M. F. **Caracterização e tipologia de nascentes em unidades de conservação de Belo Horizonte – MG com base em variáveis geomorfológicas, hidrológicas e ambientais**. 2009. 277 f. Dissertação (Mestrado em Geografia e Análise Ambiental) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

FELIPPE, M. F.; MAGALHÃES JR., A.P. Impactos ambientais macroscópicos e qualidade das águas em nascentes de parques municipais em Belo Horizonte- MG. **Revista Geografias**, v. 8, n.2, p. 8-23, 21 dez. 2012. Universidade Federal de Minas Gerais - Pro-Reitoria de Pesquisa. <https://doi.org/10.35699/2237-549X.13336>.

FERNANDÉZ, Z. H. **Análise de metais pesados em solos de Pernambuco com diferentes atividades antrópicas**. 2017. 93 f. Tese (Doutorado em Tecnologias Energéticas e Nucleares) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

FIA, R.; TADEU, H. C.; MENEZES, J. P. C.; FIA, F. R. L.; OLIVEIRA, L. F. C. Qualidade da água de um ecossistema lótico urbano. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 20, n. 1, p. 267-275, 30 set. 2014.

FONSECA, A. R.; COSTA, F. A. F.; GONTIJO, R. A. N.; FONSECA, T. L. Macroscopic analyses and evaluation of environmental quality in urban springs of Divinópolis - MG. **Scientific Electronic Archives**, Sinop – MT, v. 12, n. 4, p. 68-74, ago. 2019. <https://doi.org/10.36560/1242019720>

FRANÇA, F. M. C. **Nascentes hídricas do Ceará: importância, proteção e uso sustentável**. 1. ed. Fortaleza: SECITECE/Instituto CENTEC, 2019. 118 p.

FRANCISCO, C. N.; RUIZ, P. R. S.; ALMEIDA, C. M.; GRUBER, N. C.; ANJOS, C. S. Análise do impacto da correção atmosférica no cálculo do Índice de Vegetação Por Diferença Normalizada a partir de Imagem Landsat 8/OLI. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 1, p. 076-086, 29 fev. 2020. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v13.1.p076-086>.

FREIRE, G. S.; FERREIRA, R. A.; OLIVEIRA, E. V. S.; OLIVEIRA, M. I. U. Caracterização Florística de Áreas de Nascentes na Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Piauitinga, Sergipe, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 1, p. 123-139, 23 mar. 2022. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v15.1.p125-141>.

GARCIA, J. M.; MANTOVANI, P.; GOMES, R. C.; LONGO, R. M.; DEMANBORO, A. C.; BETTINE, S. C. Degradação ambiental e qualidade da água em nascentes de rios urbanos. **Sociedade & Natureza**, v. 30, n. 1, p. 228-254, jan-abr. 2018. <https://doi.org/10.14393/SN-v30n1-2018-10>.

GOMES, C. S.; FERREIRA, L. L. B.; HENRIQUES, R. J.; BARROS, J. S.; CARVALHO, R. P. B.; MAGALHÃES JR., A. P. Nascentes naturais em áreas urbanas: usos e funções socioambientais em Belo Horizonte, MG. **Geo UERJ**, n. 39, p. 1 - 20, 26 dez. 2021. Universidade de Estado do Rio de Janeiro. <http://dx.doi.org/10.12957/geouerj.2021.41059>.

GOMES, P. M.; MELO, C.; VALE, V. S. Avaliação dos impactos ambientais em nascentes na cidade de Uberlândia-MG: análise macroscópica. **Sociedade & Natureza**, v. 17, n. 32, p. 103-120, jun. 2005. [10.14393/SN-v17-2005-9169](https://doi.org/10.14393/SN-v17-2005-9169).

GOUVEIA, E. L. **Governança das águas em Suape: Por entre território, crescimento e poder local**. 2017. 215 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.

GU, B.; GE, Y.; CHANG, S. X.; LUO, W.; CHANG, J.. Nitrate in groundwater of China: sources and driving forces. **Global Environmental Change**, v. 23, n. 5, p. 1112-1121, out. 7 jun. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.05.004>.

HAN, H.; GUI, J.; XU, S. Revealing research themes and their evolutionary trends using bibliometric data based on strategic diagrams. **2013 International Conference on**

Information Science and Cloud Computing Companion, v. 28, p. 653-659, dez. 2013. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/iscc-c.2013.121>.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2000**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em 22 ago. 2024.

JABBO, J. N.; ISA, N. M.; ARIS, A. Z.; RAMLI, M. F.; ABUBAKAR, M. B. Geochemometric approach to groundwater quality and health risk assessment of heavy metals of Yankari Game Reserve and its environs, Northeast Nigeria. **Journal of Cleaner Production**, v. 330, n. 129916, 1 jan. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129916>.

JONES, K. R.; VENTER, O.; FULLER, R. A.; ALLAN, J. R.; MAXWELL, S. L.; NEGRET, P. J.; WATSON, J. E. One-third of global protected land is under intense human pressure. **Science**, v. 360, n. 6390, p. 788-791, 18 maio 2018. American Association for the Advancement of Science (AAAS). <http://dx.doi.org/10.1126/science.aap9565>.

LEAL, M. S.; TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; MINGOTI, R. Caracterização hidroambiental de nascentes. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, v. 12, n. 1, p. 146-155, 1 jan. 2017. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrograficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1909>.

LETA, M. K.; DEMISSIE, T. A.; TRÄNCKNER, J. Hydrological Responses of Watershed to Historical and Future Land Use Land Cover Change Dynamics of Nashe Watershed, Ethiopia. **Water**, v. 13, n. 17, p. 2372, 29 ago. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/w13172372>.

LINS, E. A. M.; ACIOLY, M. G.; MOTA, A. M. V.; CALSA, M. C. P.; BARROS, A. C. B. Estudo de caso da viabilidade de implantação de projetos de crédito de Carbono no Complexo Industrial Portuário de Suape. In: XII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 2021, Salvador/BA. **Anais... IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais**, Salvador, 2021.

LINSLEY, R.; FRANZINI, J. **Engenharia de recursos hídricos**. 1. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1978. 798 p.

MAPBIOMAS – Projeto MapBiomass. **Coleção 2022 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil 2021**. Disponível em: <https://mapbiomas.org/visao-geral-da-metodologia>. Acesso em: 27 de junho de 2024.

MARTINS, A. M.; FILGUEIRA, H. J. A.; AZEVEDO FILHO, A. C.; SILVA, T. C.; SILVA JÚNIOR, M. H. Análise de não homogeneidades de séries de vazão de captações de nascentes na bacia hidrográfica do rio Gramame, PB, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 6, p. 2896-2907, 14 dez. 2020. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v13.6.p2896-2907>.

MEDEIROS, A. D. **Fatores intervenientes na competitividade dos portos brasileiros: Um estudo de caso no Nordeste**. 2005. 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2005.

MEDEIROS, P. R. P.; SEGUNDO, G. H. C.; MAGALHÃES, E. M. M. Comportamento da turbidez material em suspensão, em um rio com vazão regularizada por sistema de barragens

em cascata:Rio São Francisco (NE, Brasil). **Geochimica Brasiliensis**, v. 29, n. 1, p. 35-44, 09 set. 2015. 10.5327/Z0102-980020150001000.

MENEZES, M. D. **Levantamento de solos em bacias hidrográficas como apoio para avaliação do uso da terra e da potencialidade de recarga dos aquíferos**. 2007. 107 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

MIQUILINI, L. C.; BASTOS, J. M.; MACHADO, E. M.; COELHO, J. V. S. O Complexo Industrial e Portuário de Suape e o desenvolvimento nordestino. In: XIV Encontro Nacional de Pós Graduação e Pesquisa em Geografia, 2021, São Paulo. **Anais...** Campina Grande: Editora Realize, 2021. p. 1-20.

MOHAMED, A. M. O.; PALEOLOGOS, E.K. Chapter 5: Groundwater. In: **Fundamentals of Geoenvironmental Engineering**-Understanding Soil, Water, and Pollutant Interaction and Transport. p.129–159. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1ª ed., 2018. 708 p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804830-6.00005-3>.

MOLDOVAN, A.; HOAGHIA, M.A.; KOVACS, E.; MIREA, I. C.; KENESZ, M.; ARGHIR, R. A.; PETCULESCU, A.; LEVEI, E. A.; MOLDOVAN, O. T. Quality and health risk assessment associated with water consumption—a case study on karstic springs. **Water**, v. 12, n. 12, p. 3510, 14 dez. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/w12123510>.

MONGIN, R. M. **Análise estatística multivariada do monitoramento da qualidade da água**: O caso da Estação Ecológica Águas Emendadas. 2020. 121 f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) - Universidade de Brasília, Brasília, 2020.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 4 ed. Viçosa: UFV, 2012. 422 p.

MOREIRA, P. S. C.; GUIMARÃES, A. J. R.; TSUNODA, D. F. Qual ferramenta bibliométrica escolher? Um estudo comparativo entre softwares. **P2P e Inovação**, v. 6, p. 140-158, 31 mar. 2020. Logeion Filosofia da Informacao. <http://dx.doi.org/10.21721/p2p.2020v6n2.p140-158>.

MUKANYANDWI, V.; KURBAN, A.; HAKORIMANA, E.; NAHAYO, L.; HABİYAREMYE, G.; GASIRABO, A.; SINDIKUBWABO, T. Seasonal assessment of drinking water sources in Rwanda using GIS, contamination degree (Cd), and metal index (MI). **Environmental Monitoring And Assessment**, v. 191, n. 12, p. 1-13, 9 nov. 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-019-7757-9>.

NAGHIBI, S. A.; HASHEMI, H.; BERNDTSSON, R.; LEE, S. Application of extreme gradient boosting and parallel random forest algorithms for assessing groundwater spring potential using DEM-derived factors. **Journal of Hydrology**, v. 589, n. 125197, out. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125197>.

NGUYEN, T. H.; HELM, B.; HETTIARACHCHI, H.; CAUCCI, S.; KREBS, P. The selection of design methods for river water quality monitoring networks: a review. **Environmental Earth Science**, v. 78, n. 96, p. 1–17, 01 fev. 2019. <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-019-8110-x>.

OLIVEIRA, A. S.; SILVA, A. M.; MELLO, C. R. Dinâmica da água em área de recarga de nascentes em dois ambientes na região Alto Rio Grande, Minas Gerais. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 25, n. 1, p. 59-67, jan. 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522020148177>.

OLIVEIRA, A. S.; SILVA, A. M.; MELLO, C. R.; ALVES, G. J. Stream flow regime of springs in the Mantiqueira Mountain Range region, Minas Gerais State. **Cerne**, v. 20, n. 3, p. 343-349, set. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/01047760201420031268>.

OLIVEIRA, F. M.; ARAÚJO, G. M.; LIMA NETO, O. C.; SANTOS, Y. T. C.; LANDIM, R. B. T. V.; MORAIS, D. P.; MORAES, A. S. Qualitative and Quantitative Study of Water Springs of Cities in The Cariri Cearense in Brazil. **International Journal of Science and Research Methodology**, v. 23, n.1, p. 1-26, nov. 2022

OLIVEIRA, J. F. D.; COELHO, G.; LIMA DOMINGOS, A. L.; SILVA AMORIM, J. Water quality in microbasins and springs of the mineral water region of Minas Gerais State, Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 194, n. 3, 24 fev. 2022. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-09885-x>.

PARRON, L. M.; MUNIZ, H. F.; PEREIRA, C. M. Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água. Colombo: Embrapa Florestas, 2011.

PEREIRA, L. C. **Uso e conservação de nascentes em assentamentos rurais**. 2012. 181 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.

PERNAMBUCO. Decreto Nº 54.185, de 20 de dezembro de 2022. Institui o Plano Diretor – SUAPE 2035 e dispõe sobre o ordenamento do uso e ocupação do solo do Complexo Industrial Portuário de Suape – CIPS. **Diário Oficial do Estado**, Recife, PE, 21 dez. 2022.

PERNAMBUCO. Lei Estadual Nº 9.860, de 12 de agosto de 1986. Delimita as áreas de proteção dos mananciais de interesse da Região Metropolitana do Recife, e estabelece condições para a preservação dos recursos hídricos. **Diário Oficial do Estado**, Recife, 1986.

PERNAMBUCO. Lei nº 11.206, de 31 de março de 1995. Dispõe sobre o Código Estadual de Meio Ambiente e Equilíbrio Ecológico. **Diário Oficial do Estado**, Recife, PE, 1 abr. 1995.

PERNAMBUCO. Lei Nº 17.947, de 9 de novembro de 2022. Dispõe sobre a Política Florestal do Estado de Pernambuco e dá outras providências, a fim de incentivar a implantação de Programas de Preservação de Nascentes e Conservação de Matas Ciliares nas margens de riachos e rios pelos municípios pernambucanos. **Diário Oficial do Estado**, Recife, PE, 10 nov. 2022.

PIASENTIN, A. M. **Índice de Qualidade da Água - IQA da bacia contribuinte do reservatório Tanque Grande, município de Guarulhos, SP**. 2009. 165 f. Dissertação (Mestrado em Análise Geoambiental) – Universidade Guarulhos, Guarulhos, 2009

PINTO, A. C.; ANDRADE, J. B. Fator de impacto de revistas científicas: qual o significado deste parâmetro?. **Química Nova**, v. 22, n. 3, p. 448–453, jun. 1999. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40421999000300026>.

PINTO, C. C. **Monitoramento de qualidade de água baseado em análise por componentes principais**: uma abordagem local. 2021. 170 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021

PINTO, L. V. A.; ROMA, T. N.; BALIEIRO, K. R. C. Avaliação qualitativa da água de nascentes com diferentes usos do solo em seu entorno. **Cerne**, v. 18, n. 3, p. 495-505, set. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0104-77602012000300018>.

PINTO, N. L. S.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A.; GOMIDE, F. L. S. **Hidrologia Básica**. 13ª reimpressão da 1ª. ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda., 2011. 304 p.

RAMOS, S. T. B.; MAFRA, M. S. H.; RECH, T. D.; SIEGLOCH, A. E.; RECH, A. F. Water quality of springs in areas under different land uses in the southern highlands of Santa Catarina. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, v. 13, n. 4, p. 1, 5 jul. 2018. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrograficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.2201>.

REZENDE, E.N.; COELHO, H.A. Impactos Ambientais Decorrentes da Construção de Estradas e suas Consequências na Responsabilidade Civil. **Revista do Mestrado em Direito da Universidade Católica de Brasília**: Escola de Direito, v. 9, n. 2, p. 155-180, 30 dez. 2015. Universidade Católica de Brasília. <http://dx.doi.org/10.18840/1980-8860/rvmd.v9n2p155-180>.

SIMÕES, R. F.; RIBEIRO, L. C. S.; LOPES, T. H. C. R.; MOREIRA, T. M. SUAPE: novo polo de crescimento. **Novos Cadernos Naea**, v. 16, n. 1, p. 1-12, 18 set. 2013. Universidade Federal do Para. <http://dx.doi.org/10.5801/ncn.v16i1.1198>.

SALATI, E.; LEMOS, H. M.; SALATI, E. Água e desenvolvimento sustentável. In: REBOUÇAS, A.C; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. **Águas doces no Brasil**: capital ecológico, uso e conservação. 2.ed. São Paulo: Escrituras, 2002. p. 39-63

SANTO, C. L.; SILVA, C. C. P.; ALMEIDA, J.; LIMA, M. J. A.; MOURÃO, F. V. Avaliação ambiental da área de preservação permanente das nascentes e corpo hídrico impactados pela atividade pecuária rotativa. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 25385-25390, 07 maio 2020. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv6n5-116>.

SANTOS, C.; FONTENELE, O. Elaboração de um sistema de informação geográfica para o monitoramento ambiental das áreas de nascentes do IFPE - Campus Barreiros - PE. **Cadernos de Agroecologia**, v. 15, n. 2, 19 jun. 2020.

SANTOS, G. R.; CAVALCANTI, L. C. S. O uso e cobertura da terra em áreas de nascentes e rios, município de Correntes, Pernambuco. **Geografia**, v. 47, n. 1, p. 1-19, 18 dez. 2022. UNESP - Universidade Estadual Paulista. <http://dx.doi.org/10.5016/geografia.v47i1.16736>.

SANTOS, I. D.; FILL, H. D.; SUGAI, M. R. V. B.; BUBA, H.; KISHI, R. T.; MARONE, E.; LAUTERT, L. F. **Hidrometria Aplicada**. 1. ed. Curitiba: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (ITD), 2001. 372 p.

SECTMA - Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente do Estado de Pernambuco. **Atlas de bacias hidrográficas de Pernambuco**. 1ª ed. Recife: Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente, 2002, 104 p.

SHAH, M.; SIRCAR, A.; VARSADA, R.; VAISHNANI, S.; SAVALIYA, U.; FALDU, M.; VAIDYA, D.; BHATTACHARYA, P. Assessment of geothermal water quality for industrial and irrigation purposes in the Unai geothermal field, Gujarat, India. **Groundwater for Sustainable Development**, v. 8, p. 59–68, abr. 2019. Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2018.08.006>

SILVA, A. R. **Avaliação do processo de eutrofização das águas superficiais, do cenário nacional ao local**: estudo de caso nas bacias hidrográficas costeiras dos rios Ratonés, Itacorubi e Tavares (Ilha de Santa Catarina, Brasil). 2019. 309 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

SILVA, E. P.; SANTOS, R. L.; AMARAL, A. K. N.; RAMOS, H. F.; SANTOS, L. P. S.; SOUZA, P. C. Uso do solo e caracterização morfométrica como subsídios para análise das áreas de alagamento e da qualidade da água nas microbacias do Macambira e Cascavel, Goiânia-GO. **Ciência E Natura**, v. 41, e59, 14 nov. 2019. <https://doi.org/10.5902/2179460X38425>.

SILVA, N. B. D.; BORGES, I.; VASCONCELOS, V. V. Análise do impacto potencial de áreas com contaminação de solos sobre cursos d'água e poços no município de São Paulo. **Águas Subterrâneas**, v. 34, n. 3, p. 250-263, 8 set. 2020. Lepidus Tecnologia. <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v34i3.29753>.

SILVA, P. V. S. **Avaliação do Avanço da Urbanização de Maceió-AL e os Efeitos na Hidrologia Urbana de Bairros que Margeiam a Laguna Mundaú**. 2023. 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2023.

SILVA, R. A.; PIRES, E. V. R.; IZIPPATO, F. J.; MIRANDOLA, P. H. Geoprocessamento aplicado a análise do uso e ocupação da terra e APPs de nascentes no Rio Indáia Grande – Chapadão do Sul/Cassilândia/Inocência (MS). **Revista Geonorte**, Edição Especial, v. 2, n. 4, p. 1497-1508, 12 nov. 2012.

SILVA, R. O. B., MONTENEGRO, S. M. G. L., SOUZA, W. M., 2017. Tendências de mudanças climáticas na precipitação pluviométrica nas bacias hidrográficas do estado de Pernambuco. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 22, n. 33, p. 579-589, maio 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522017142481>.

SIMEONOV, V.; STRATIS, J. A.; SAMARA, C.; ZACHARIADIS, G.; VOUSTA, D.; ANTHEMIDIS, A.; SOFONIOU, M.; KOUIMTZIS, T. Assessment of the surface water quality in Northern Grece. **Water Research**, v. 37, n. 17, p. 4119–4124, out. 2003. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0043-1354\(03\)00398-1](http://dx.doi.org/10.1016/s0043-1354(03)00398-1).

SOUZA, C. M.; SHIMBO, J. Z.; ROSA, M. R.; PARENTE, L. L.; ALENCAR, A. A.; RUDORFF, B. F. T.; HASENACK, H.; MATSUMOTO, M.; FERREIRA, L. G.; SOUZA-FILHO, P. W. M. Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. **Remote Sensing**, v. 12, n. 17, p. 2735, p. 1-27, 25 ago. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs12172735>.

SOUZA, D. P.; SILVA, A. M. R. B.; SILVA, J. C.; SALES, R. V. L.; BENACHOUR, M.; SILVA, V. L. Identificação por CG-EM e análise comportamental, via ACP, de HPA e suas fontes no riacho Algodoads - Suape/PE. In: XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2015, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 2015.

SOUZA, K. I. S.; CHAFFE, P. L. B.; PINTO, C. R. S. C.; NOGUEIRA, T. M. P. Proteção ambiental de nascentes e afloramentos de água subterrânea no Brasil: histórico e lacunas técnicas atuais. **Águas Subterrâneas**, v. 33, n. 1, p. 76–86, 6 mar. 2019. Lepidus Tecnologia. <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v33i1.29254>.

SOUZA, N. N.; AMARAL, L. G.; CHIARELOTTO, M.; FUENTES, T. G.; SANTOS, M. A. Análise hidroambiental de nascentes utilizadas para abastecimento humano na zona rural do município de Baianópolis (Bahia). **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 10, n. 3, p. 202-224, 14 dez. 2022. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7519091>.

TAYE, T.; MOGES, A. Implication of long-term watershed development on land use/land cover change and sediment loss in Maybar Sub-Watershed, South Wello Zone, Ethiopia. **Cogent Food & Agriculture**, v. 7, n. 1, p. 1-17, 22 dez. 2020. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/23311932.2020.1863596>.

TEIXEIRA, E. C., SENHORELO, A. P. Avaliação de correlação entre turbidez e concentração de sólidos suspensos em bacias hidrográficas com uso e ocupação diferenciada. In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 27, Porto Alegre. **Anais...** São Paulo: AIDIS - Associação Interamericana de Engenharia Sanitária, 2000. p. 1 – 5.

TRINDADE, A. L. C. A. **Aplicação de técnicas estatísticas para avaliação de dados de monitoramento de qualidade das águas superficiais na porção mineira da bacia do rio São Francisco**. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Ed Universidade, 2012. 944 p.

VALCARCEL, R. “Meio ambiente”. In: **Plano diretor de desenvolvimento sustentável, Armação dos Búzios – RJ, Perfil do município – texto para discussão**. Armação dos Búzios: Prefeitura Municipal de Armação dos Búzios, Secretaria de PI Urbanismo, 2003.

VALE, J. R. B.; COSTA, L. S.; PIMENTEL, M. L. S. Análise da morfometria e do uso e cobertura da terra da bacia hidrográficado rio Mocajuba, zona costeira Amazônica. **Geosul**, v. 36, n. 78, p. 537-557, 8 abr. 2021. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). <http://dx.doi.org/10.5007/2177-5230.2021.e72705>.

VALENTE, O. F.; GOMES, M. A. **Conservação de nascentes** – Produção de água em pequenas bacias hidrográficas. 2 ed. Viçosa, MG: Aprenda Fácil Editora, 2011. 267 p.

VASCONCELOS, B. R.; LIMA, M. T. V.; PARANHOS FILHO, A. C. Detecção de mudanças no uso e ocupação do solo no estado do Amazonas baseada nas classificações do Projeto Mapbiomas. **Geofronter**, v. 10, e7773, p.1-21, 23 jan. 2024. Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul. <http://dx.doi.org/10.61389/geofronter.v10.7773>.

VASCONCELOS, R. S.; CAETANO, T. O.; CIRILO, J. A.; FERREIRA, T. S. G.; SOUZA Jr., E. Q. Escassez hídrica e disponibilidade de aluviões para a construção de barragens subterrâneas em Pernambuco. In: XV Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2020, Caruaru/PE. **Anais...** Caruaru, 2020.

VON SPERLING, M. **Estudo e modelagem da qualidade da água de rios**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG (DESA): Belo Horizonte, 2007. 452 p.

WIEGAND, M. C.; PIEDRA, J. I. G.; ARAÚJO, J. C. Vulnerabilidade à eutrofização de dois lagos tropicais de climas úmido (Cuba) e semiárido (Brasil). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 2, p. 415-424, jun. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522016139527>.