

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

DANIEL PEREIRA DE MORAIS

**MONITORAMENTO AMBIENTAL DE SOLOS, ÁGUA E
SEDIMENTOS PARA PROMOÇÃO DA PROTEÇÃO E
CONSERVAÇÃO DE NASCENTES NO MUNICÍPIO DE JUREMA,
PERNAMBUCO**

**RECIFE - PERNAMBUCO
2024**

DANIEL PEREIRA DE MORAIS

**MONITORAMENTO AMBIENTAL DE SOLOS, ÁGUA E
SEDIMENTOS PARA PROMOÇÃO DA PROTEÇÃO E
CONSERVAÇÃO DE NASCENTES NO MUNICÍPIO DE JUREMA,
PERNAMBUCO**

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 *Mestre em Engenharia Ambiental*.

Orientador: Alex Souza Moraes

Coorientador: Victor Casimiro Piscoya

**RECIFE - PERNAMBUCO
2024**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M827mm Morais, Daniel Pereira de
 MONITORAMENTO AMBIENTAL DE SOLOS, ÁGUA E SEDIMENTOS PARA PROMOÇÃO DA PROTEÇÃO E
 CONSERVAÇÃO DE NASCENTES NO MUNICÍPIO DE JUREMA, PERNAMBUCO / Daniel Pereira de Morais. -
 2024.
 65 f. : il.

 Orientador: Alex Souza Moraes.
 Coorientador: Victor Casimiro Piscoya.
 Inclui referências.

 Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, , Recife, 2024.

 1. Diagnóstico ambiental. 2. assinatura geoquímica. 3. investigação geoestatística. 4. abastecimento hídrico. 5. políticas
 ambientais. I. Moraes, Alex Souza, orient. II. Piscoya, Victor Casimiro, coorient. III. Título

CDD

DANIEL PEREIRA DE MORAIS

**MONITORAMENTO AMBIENTAL DE SOLOS, ÁGUA E SEDIMENTOS PARA
PROMOÇÃO DA PROTEÇÃO E CONSERVAÇÃO DE NASCENTES NO
MUNICÍPIO DE JUREMA, PERNAMBUCO**

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 Mestre em Engenharia Ambiental.

APROVADA: 25 de agosto de 2024.

Alex Souza Moraes
Presidente da Banca e Orientador

BANCA EXAMINADORA:

Alberto Antônio da Silva
Membro Externo - IFPE

Júlio da Silva Corrêa de Oliveira Andrade
Membro Interno - UFRPE

*Dedico este trabalho aos dois sertanejos
cearenses que muitas vezes renunciaram às
suas refeições para que meu irmão e eu
pudéssemos ir à escola alimentados.*

AGRADECIMENTOS

Ao Deus, que é Pai, Filho e Espírito Santo, pelo dom da vida e por estar comigo em todos os momentos. Agradeço por ser meu melhor amigo e não permitir que eu desista nos momentos de angústia e por ter permanecido ao meu lado, fazendo-me suportar todas as crises de ansiedade e medo.

Aos meus pais, Antonizete Pereira de Moraes e Francisco Lima de Moraes (Chico de Nair), que desde sempre alinharam os seus conhecimentos em prol de uma educação digna para seus filhos. O amor incalculável entregue por vocês me ensinou sobre cidadania, respeito e dignidade. Eu vos amo!

Ao meu amor, Fabrynne Mendes, minha adorável esposa, pelo companheirismo, carisma, preocupação e palavras de afeto que sempre acalentaram os instantes de dúvida. Obrigado pelos momentos de alegria que tens compartilhado comigo.

A minha admirável Vovó Inez, pessoa íntegra, humilde e guerreira que sempre acreditou no potencial de seus netos e sempre esteve rogando para que tudo ocorresse como sendo da vontade do Criador. Obrigado por me ensinar as orações que carrego até hoje e sinto que quando as proclamo, estou pertinho de Deus.

Aos meus sogros, Fábio (Cícero Mendes) e Beta (Antônia Martins), por todo apoio no início da realização desse sonho, vocês são muito importantes para mim.

Ao meu irmão João Marcos, “Marks”, por acreditar em mim frente às dificuldades, usando a expressão ‘vai dar certo’ independente das circunstâncias. Obrigado por ter me ensinado a gostar do Flamengo, passei muita raiva (inclusive estou na mágoa hoje), mas fomos recompensados, valeu a pena.

Ao meu orientador e amigo Professor Dr. Alex Souza Moraes pela responsabilidade, paciência, dedicação e cuidado. A sua trajetória é inspiradora e reflete em motivação. Quando “crescer” quero ter sua habilidade visionária e científica para transformar coisas invisíveis em ciência.

Aos meus grandes amigos, Renatael Santos e Pedro Ancelmo, por terem compartilhado as melhores gargalhadas da minha vida nas últimas décadas.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação, em especial aos queridos Romildo Morant e Victor Piscoya pelas experiências compartilhadas.

Aos colegas que compartilhei momentos no decorrer da pós-graduação: Gabriel, Gean, Victor, Maria Eduarda, Rafaela, Djayana e aos vizinhos Anderson e Valéria. Vocês nos receberam em Pernambuco de maneira extraordinária. Gratidão a todos.

A Maria das Dores e Elton Florentino por abrir os caminhos de Jurema e ter nos auxiliado neste trabalho.

À FACEPE pelo apoio financeiro durante os 24 meses de pós-graduação.

À UFRPE pelo espaço físico para estudos e alimentação de qualidade. Também a Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental por todo o suporte no decorrer do curso.

*“Terra!
És o mais bonito dos planetas
Tão te maltratando por dinheiro
Tu que és a nave, nossa irmã”*

(Canção Sal da Terra, Beto Guedes)

RESUMO

MORAIS, Daniel Pereira, M.Sc., Universidade Federal Rural de Pernambuco, julho de 2024. **Monitoramento ambiental de solos, água e sedimentos para promoção da proteção e conservação de nascentes no município de Jurema, Pernambuco.** Orientador: Alex Souza Moraes. Coorientador: Victor Casimiro Piscoya.

O monitoramento ambiental que envolve fatores bióticos, climatológicos ou pedogenéticos é uma etapa fundamental no processo de proteção e conservação dos recursos hídricos. Desenvolver um diagnóstico ambiental contínuo em uma determinada região geográfica significa compreender seu estado atual e prever a qualidade futura dos recursos naturais. Com base nisso, é possível produzir a assinatura geoquímica e estimar práticas sustentáveis de restauração ecológica, melhoramento ambiental, oportunidades socioeconômicas e fortalecimento de relações políticas e sociais. No agreste de Pernambuco, região com considerável vulnerabilidade ambiental, encontram-se municípios com condições potenciais para suporte de abastecimento hídrico, como a cidade de Jurema. Sob essa hipótese, o presente estudo buscou propor um diagnóstico capaz de associar aspectos geoquímicos e ambientais das águas superficiais, subterrâneas, solos e sedimentos com estratégias para gestão, conservação e recuperação de corpos hídricos, não somente do município citado, mas de toda a região geográfica na qual está inserido. A pesquisa foi inicialmente desenvolvida com informações sobre solos e sedimentos contidos em bases de dados de acesso público e na literatura. Posteriormente, foram realizadas coletas de amostras em campo dos mesmos materiais, incluindo água, seguindo uma sequência de planejamento pré-estabelecida e georreferenciada dos pontos. A integração das bases de dados ocorreu por meio de suítes de aplicativos de estatística multivariada, cujo método foi capaz de analisar a relação entre dois ou mais conjuntos de dados, além de estabelecer a interdependência entre variáveis ocultas. Os mapas digitais foram confeccionados utilizando ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto em aplicativos que empregam metodologias como a krigagem na interpolação de pontos amostrais para compor as curvas de isotores. Os primeiros resultados mostram um aspecto macro abrangente, tomando a bacia hidrográfica do Rio Una como referência, onde sua assinatura química revelou características positivas quanto ao estado de conservação ambiental do solo, indicando regiões pontuais com possíveis fontes de contribuição antrópica. Os mapas digitais permitiram estabelecer uma relação geoquímica entre os elementos Háfênio e Alumínio (Hf/Al). Isso possibilitou atestar que o comportamento da área é diretamente influenciado pelas condições climatológicas da região. Para os resultados das águas superficiais e subterrâneas,

que tiveram como objetivo avaliar seu potencial de abastecimento em áreas com escassez hídrica, utilizando os parâmetros físico-químicos como pH e condutividade elétrica (CE), indicaram elevados níveis (10.110 $\mu\text{S}/\text{cm}$) em poços artesianos, possivelmente devido a contribuições naturais de origem geológica e/ou pedogenética. Em contrapartida, as nascentes apresentaram baixos valores na CE (82,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$) e pH dentro dos parâmetros estabelecidos pelas legislações vigentes. Finalmente, os resultados das análises químicas dos sedimentos das nascentes mostraram pontos com anomalias em metais pesados (As, Cu, Pb e Zn) acima das referências de qualidade, indicando ambientes com risco para a saúde humana. O estudo comprovou que as metodologias propostas para o monitoramento ambiental, utilizando interpolação geoestatística e quimiométrica, possibilitam a obtenção de resultados satisfatórios e permitem inferências confiáveis sobre os parâmetros investigados.

Palavras-chave: Diagnóstico ambiental; assinatura geoquímica; investigação geoestatística; abastecimento hídrico; políticas ambientais.

ABSTRACT

MORAIS, Daniel Pereira, M.Sc., Federal Rural University of Pernambuco, July 2024. **Environmental monitoring of soils, water and sediments to promote the protection and conservation of springs in the municipality of Jurema, Pernambuco.** Supervisor: Alex Souza Moraes. Co-supervisor: Victor Casimiro Piscoya.

Environmental monitoring that involves biotic, climatological, or pedogenetic factors is a fundamental step in the process of protecting and conserving water resources. Developing a continuous environmental diagnosis in a given geographic region means understanding its current state and predicting the future quality of natural resources. Based on this, it is possible to produce a geochemical signature and estimate sustainable practices for ecological restoration, environmental improvement, socioeconomic opportunities, and the strengthening of political and social relations. In the agreste of Pernambuco, a region with considerable environmental vulnerability, there are municipalities with potential conditions for water supply support, such as the city of Jurema. Under this hypothesis, the present study aimed to propose a diagnosis capable of associating geochemical and environmental aspects of surface water, groundwater, soils, and sediments with strategies for the management, conservation, and recovery of water bodies, not only in the mentioned municipality but in the entire geographic region in which it is located. The research was initially developed with information on soils and sediments contained in publicly accessible databases and the literature. Subsequently, field samples of the same materials, including water, were collected, following a pre-established and georeferenced planning sequence of points. The integration of the databases occurred through suites of multivariate statistical applications, whose method was capable of analyzing the relationship between two or more data sets, in addition to establishing the interdependence between hidden variables. Digital maps were produced using geoprocessing and remote sensing tools in applications that employ methodologies such as kriging in the interpolation of sampling points to compose isoconcentration curves. The initial results show a broad macro aspect, taking the Rio Una watershed as a reference, where its chemical signature revealed positive characteristics regarding the environmental conservation state of the soil, indicating specific regions with possible sources of anthropogenic contribution. The digital maps allowed for the establishment of a geochemical relationship between the elements Hafnium and Aluminum (Hf/Al). This made it possible to attest that the area's behavior is directly influenced by the region's climatological conditions. For the results of surface and groundwater, which aimed to evaluate their potential for supply in areas with water scarcity, using physical-chemical

parameters such as pH and electrical conductivity (CE), they indicated high levels (10,110 $\mu\text{S}/\text{cm}$) in artesian wells, possibly due to natural contributions of geological and/or pedogenetic origin. In contrast, the springs showed low CE values (82.2 $\mu\text{S}/\text{cm}$) and pH within the parameters established by current legislation. Finally, the results of the chemical analyses of the spring sediments showed points with anomalies in heavy metals (As, Cu, Pb, and Zn) above quality reference levels, indicating environments with a risk to human health. The study demonstrated that the proposed methodologies for environmental monitoring, using geostatistical and chemometric interpolation, enable the achievement of satisfactory results and allow reliable inferences about the investigated parameters.

Keywords: Environmental diagnosis; geochemical signature; geostatistical investigation; water supply; environmental policies.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO 1 – CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA E AMBIENTAL ATRAVÉS DE FERRAMENTAS MULTIVARIADAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO UNA – PE

Figura 1 – Mapa de localização da BHRU com os pontos de análises considerados.....	32
Figura 2 – Mapas de isoteores para o Arsênio(A), Cromo (B) e Cobre (C).....	30
Figura 3 – Distribuição Geográfica do Ni (A), Pb (B) e Zn (C)	32
Figura 4 – Gráfico de agrupamento entre os químicos analisados	34
Figura 5 – Gráfico da relação geoquímica Hf/Al.....	35
Figura 6 – Precipitação anual ao longo da BHRU.....	36

CAPÍTULO 2 – PERSPECTIVAS DE QUALIDADE E AVALIAÇÃO DO POTENCIAL PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO DAS ÁGUAS DE NASCENTES DE JUREMA, PE

Figura 7 – Mapa de localização de Jurema – PE.....	44
Figura 8 – Mapa de isoteores da condutividade elétrica na área de estudo.....	46
Figura 9 – Mapa da classificação geológica do município de Jurema.....	48
Figura 10 – Mapa da classificação pedológica do município de Jurema.....	49
Figura 11 – Gráfico de transição dos pontos de amostragem avaliados.....	50
Figura 12 – Mapa de isoteores da distribuição do pH no município de Jurema.....	51

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AAH	Análise de Agrupamentos Hierárquicos
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas.
ADI	Ação Direta de Inconstitucionalidade
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
APP	Área de Preservação Permanente
BHRU	Bacia Hidrográfica do Rio Una
CE	Condutividade Elétrica
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
FACEPE	Fundação de Amparo a Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas.
OMS	Organização Mundial da Saúde
SIAGAS	Sistema de Informações de Águas Subterrâneas
STD	Sólidos Totais Dissolvidos
STF	Supremo Tribunal Federal
UFRPE	Universidade Federal Rural de Pernambuco
VRQ	Valor de Referência de Qualidade

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL.....	16
2	OBJETIVOS	17
2.1.	Objetivo geral	17
2.2.	Objetivos específicos	17
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	18
3.1.	A legislação ambiental brasileira aplicada à proteção de nascentes	18
3.1.1.	Código Florestal Brasileiro	18
3.1.2.	Resolução CONAMA nº 303 de 2002	20
3.2.	A importância da vegetação na conservação das nascentes.....	20
3.3.	O uso da geoquímica no estudo de solos e sedimentos	21
3.4.	A Bacia hidrográfica: Conceito	22
3.4.1.	Gestão dos Recursos Hídricos.....	22
4	CAPÍTULO 1 – CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA E AMBIENTAL ATRAVÉS DE FERRAMENTAS MULTIVARIADAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO UNA – PE.....	28
4.1.	Resumo	28
4.2.	Introdução	28
4.3.	Material e Métodos	30
4.3.1.	Área de estudo.....	30
4.3.2.	Tratamento dos dados	31
4.4.	Resultados e Discussão	32
4.5.	Conclusões	39
4.6.	Referências.....	40
5	CAPÍTULO 2 - PERSPECTIVAS DE QUALIDADE E AVALIAÇÃO DO POTENCIAL PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO DAS ÁGUAS DE NASCENTES DE JUREMA, PE	44
5.1.	Resumo	44
5.2.	Introdução	44
5.3.	Material e Métodos	46
5.3.1.	Área de Estudo	46
5.3.2.	Aspectos Geológicos, Pedológicos e Geoambientais.....	47
5.3.3.	Amostragem dos Poços e Nascentes	48
5.4.	Resultados e Discussão	48
5.5.	Conclusões	55
5.6.	Referências.....	56
6	CONCLUSÕES GERAIS.....	58
	REFERÊNCIAS	59

1 INTRODUÇÃO GERAL

Devido a intensidade do desmatamento no Nordeste brasileiro, torna-se frequente a ocorrência da fragmentação de habitats, levando ao declínio da população de fauna e flora. Essa desestabilização nos ecossistemas traz prejuízos para o solo, ar e água, prejudicando as condições socioeconômicas e ambientais (Silva, 2018). Essa problemática é observada continuamente no estado de Pernambuco, diante disso, faz-se necessário o planejamento de ações públicas, tais como, desenvolvimento de projetos de conservação, restauração e recuperação de áreas degradadas, proteção de nascentes, matas ciliares e áreas de recargas hídricas.

Uma das atividades de apoio a proteção e conservação de recursos hídricos pode ser iniciada com o monitoramento ambiental dos corpos d'águas em área de entorno para o conhecimento da qualidade das águas, solos e sedimentos e posterior estimativa do uso para abastecimento das comunidades próximas. Tais informações promovem um melhor entendimento para elaboração de práticas sustentáveis de restauração ecológica, oportunidades socioeconômicas, segurança alimentar e fortalecimento de relações sociais.

Entre os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS traçados até 2030, existe o acesso a água potável que visa assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável da água e saneamento para todos (ONU BR, 2015). Por isso, deve ser colocado em prática o princípio da equidade, com o propósito de garantir maior segurança em relação à água para todos. Em regiões que já sofrem com escassez hídrica, esse problema tende a ser intensificado à medida que as atividades antrópicas vão sendo desenvolvidas sem controle ambiental, portanto, estratégias de monitoramento com propósito de determinar possíveis alternativas de abastecimento podem solucionar ou mitigar essa situação adversa.

Uma das áreas com déficit hídrico inseridas neste contexto de vulnerabilidade social e principalmente, com potencial para recuperação de áreas, é a mesorregião do Agreste de Pernambuco. Nesta região destaca-se o município de Jurema, que possui clima Tropical Chuvoso, com verão seco e encontra-se inserido nos domínios da Bacia Hidrográfica do Rio Una. A pesquisa desenvolvida nesta dissertação apresenta um diagnóstico ambiental realizado através de um monitoramento de solos e recursos hídricos da região hidrográfica (abrangência macro), seguido pelo município de Jurema (abrangência micro), com a finalidade de obter subsídios aos planos de gestão ambiental garantindo a segurança para o abastecimento público da região.

2 OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Realizar o diagnóstico dos aspectos geoquímicos e ambientais da água, dos solos e sedimentos como subsídios para gestão dos planos de conservação e recuperação de corpos hídricos no município de Jurema – PE.

2.2. Objetivos específicos

1. Desenvolver a caracterização geoquímica e ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Una.
2. Estudar as interações, transporte e associações geoquímicas dos solos e sedimentos das nascentes da região hidrográfica de interesse.
3. Realizar monitoramento da qualidade das águas de poços artesianos e nascentes em Jurema.
4. Propor relatórios temáticos sobre a qualidade ambiental dos corpos hídricos, gerando mapas digitais e gráficos interativos.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1. A legislação ambiental brasileira aplicada à proteção de nascentes

No Brasil, do ponto de vista legal, as imposições aplicadas à proteção das nascentes possuem efeito dúbio e escasso (Maciel, 2019). As informações sobre esse conteúdo são apresentadas de forma direta nos textos da lei, sobretudo demonstrando o interesse ambiental de prevenção, no entanto, os órgãos ou entidades científicas que estudam sobre a temática, percebem a dificuldade de incluir propostas capazes de efetivarem um progresso dinâmico e eficaz que propicie benefícios contínuos para preservação das nascentes.

A Lei federal 12.651 de 2012 e a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 303/2002, são os únicos instrumentos legais do país que apresentam requisitos sobre a proteção das áreas em que as nascentes estão inseridas. Porém, em ambas, ocorre apenas uma proposta de definição de áreas a serem conservadas, o que não garante uma segurança ambiental plena (Brasil, 2012; Brasil 2002).

As referidas leis, buscam propor de maneira geral a proteção da vegetação, alinhada ao desenvolvimento econômico. Assim, surgem os conceitos de Reserva Legal e Área de Preservação Permanente (APP), (Brasil, 2012).

A Reserva legal é definida como “área localizada no interior de uma propriedade ou posse rural com a função de assegurar o uso econômico de modo sustentável, auxiliar a conservação e a reabilitação dos processos ecológicos e promover a conservação da biodiversidade, bem como o abrigo e a proteção de fauna silvestre e da flora nativa” (Brasil, 2012).

Já a APP é conceituada por “área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas” (Brasil, 2012).

Ambas possuem objetivo principal à proteção ambiental, ganhando destaque para a conservação da água, o que significa garantia de qualidade e abundância do recurso hídrico suficiente para os usos prioritários. Nesse cenário, a proteção das nascentes e dos cursos d’água delas advindos merecem atenção e cuidado (Carmo, 2014).

3.1.1. O Código Florestal Brasileiro

A primeira legislação brasileira que trouxe propostas orientadoras sobre a conservação das nascentes trata-se da lei nº 4.771, de 1965. Mais tarde, após 47 anos, surgiram modificações legais, originando o Novo Código Florestal Brasileiro sob lei nº 12.651 de 2012 (Brasil, 2012).

Segundo o Código Florestal, sob lei nº 12.651 de 2012, são consideradas Áreas de Preservação Permanente (APP) “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” (Brasil, 2012; Art. 4º, IV). Para a legislação, a manutenção dessa área vegetada significa a garantia de uma proteção duradoura.

O mesmo instrumento legal, define nascente pelo artigo 3º, XVII como um “afloramento natural do lençol freático que apresenta perenidade e dá início a um curso d’água”, na mesma proposta em que o inciso XVIII destaca o olho d’água como “afloramento natural do lençol freático, mesmo que intermitente”. Em termos conceituais, a única diferença apresentada se dá em relação a perenidade do afloramento hídrico, enquanto nascente ocorre de modo constante, independente das condições climáticas e pluviométricas, o olho d’água mantém seu regime intermitente, aflorando principalmente em épocas chuvosas ou imediatamente após esses períodos (Brasil, 2012).

O texto da lei dá uma ideia de não considerar o afloramento de fluxo intermitente como uma área necessária de proteção pelas mesmas diretrizes estabelecidas para nascentes com afloramento perene. Isto pode até parecer redundante, pois pela interpretação da definição contida no texto, não existe nascente intermitente ou não existe olho d’água perene, caso isso ocorra, as definições precisariam ser invertidas (Brasil, 2012).

Essa situação controversa provocou questionamentos de pesquisadores envolvidos no tema. Carmo (2014), entende que a ideia visa dificultar o processo de manutenção ambiental, colocando o afloramento de fluxo intermitente em segundo plano, já que a lei não previa qualquer proteção para esse sistema, desconsiderando os cursos d’água formados pelo mesmo.

Devido a repercussão, o artigo da lei foi julgado pelo Supremo Tribunal Federal (STF) por meio de Ação Direta de Inconstitucionalidade (ADI) nº 4.903 de 2018 (Brasil, 2018). Neste caso a suprema corte decidiu por interpretar de que os entornos das nascentes e dos olhos d’água intermitentes configuram área de preservação permanente, isso fortalece o princípio da prevenção e assegura que todos os tipos de afloramento hídrico natural tenham áreas legalmente protegidas, e que o descumprimento desse item enseja em crime ambiental constante na Lei de Crimes 9.605 de 1998, sob pena de detenção, de um a três anos, ou multa, ou ambas as penas cumulativamente.

O entendimento de Miranda (2011), é que as mudanças que ocorreram no Código Florestal de 1965 para o Novo Código Florestal de 2012 não estão associadas a avanços positivos quanto à preservação do meio ambiente, na verdade essas atualizações apenas “emergem no contexto da busca pela ampliação da capacidade produtiva da economia brasileira, principalmente no tocante à produção agrícola”. Tudo isso fica claro quando é observado que para uma norma, em relação a outra, não há propostas mitigadoras para os problemas de degradação, mas sim, afrouxamento no processo de atividades econômicas.

3.1.2. A Resolução CONAMA nº 303 de 2002

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), surgiu com a criação da Política Nacional do Meio Ambiente lei 6.938 de 1981 e se trata de um órgão colegiado vinculado ao Ministério do Meio Ambiente. Uma de suas principais competências é a deliberação sobre normas e padrões compatíveis com um meio ambiente ecologicamente equilibrado e essencial à sadia qualidade de vida (BRASIL, 1981).

Antes da reformulação do novo código florestal de 2012, foi regulamentada a resolução CONAMA n. 303/2002, que ampliou a definição jurídica para nascentes, para esta resolução, tanto a nascente quanto o olho d’água se tratam de um “local onde aflora naturalmente, mesmo que de forma intermitente, a água subterrânea” (Brasil, 2002, Art. 2º).

Esta resolução do CONAMA trouxe orientações inéditas quanto a delimitação de áreas de APP, essa abordagem não havia sido realizada na lei 4.771/1965, mas passou a ser considerado no novo código florestal na década seguinte.

O art. 3º impõe as orientações de distância que deverão ser preservadas, constituindo-se APP. A área situada próximo a nascentes, foi incluída no inciso II, o qual destaca: “ao redor de nascente ou olho d’água, ainda que intermitente, com raio mínimo de cinquenta metros de tal forma que proteja, em cada caso, a bacia hidrográfica contribuinte (Brasil, 2002).

O fato de considerar não apenas cinquenta metros de raio, mas também toda a bacia hidrográfica contribuinte ocasiona uma série de discussões sobre a temática, pois tanto a lei 4.771/1965 quanto a 12.651/2012 não fazem considerações sobre incluir a bacia no ato de mapear uma APP de nascente, isso pode ser visto como prejudicial do ponto de vista conservacionista.

3.2. A importância da vegetação na conservação das nascentes

A vegetação contida às margens dos cursos d’água e nascentes recebem a denominação de matas ciliares e apresentam essencialidade para a biodiversidade e os recursos hídricos

(Martins, 2007). São muitas as funções ecológicas e hidrológicas desenvolvidas pelas matas ciliares. Sorrini (2015), compara a importância delas com a necessidade dos rios para os olhos humanos. Uma das principais funções dessa vegetação no contexto da proteção de nascentes está o controle natural da poluição por atividades antrópicas dos solos e recursos hídricos (Barbosa, 2009).

Além de servir como uma barreira natural que impede a entrada de solos erodidos no sistema hídrico, a mata ciliar também é capaz de modificar, através de processos bioquímicos, a composição dos elementos potencialmente poluidores que acessam os corpos aquáticos (Marmontel e Rodrigues 2015). Um exemplo recorrente acontece com os resíduos de pesticidas, corriqueiramente presentes nos sistemas agrícolas, carregados até os corpos aquáticos situados à jusante do terreno. Os contaminantes tóxicos associados a eles, são decompostos por microrganismos, oxidados, reduzidos ou hidrolisados por ação direta de elementos contidos no piso florestal da mata ciliar (Naiman; Décamps, 1997).

Os estudos realizados por Emmett et. al. (1994), estimaram que a vegetação ciliar presente em uma bacia hidrográfica é capaz de reduzir 38% a concentração de nitrogênio; 94%, o fosfato; 42%, o fósforo dissolvido; 21% alumínio e 54% o ferro que atingiria o corpo aquático.

Portanto, quando ocorre alteração na vegetação ciliar desses mananciais, em especial as nascentes, objeto desta dissertação, há uma diminuição na qualidade e quantidade de água disponível para os usos múltiplos a elas delegadas. A quantidade diminui devido a influência negativa das áreas de recarga dos aquíferos, na medida em que a qualidade reduz por não haver um sistema filtrante capaz de barrar os poluentes antrópicos. Nesse cenário, quando ocorre diminuição na disponibilidade hídrica, todo o sistema de abastecimento fica comprometido (Rodrigues, 2006).

3.3. O uso da geoquímica no estudo de solos e sedimentos

Nos solos e sedimentos encontram-se a maioria dos elementos químicos potencialmente causadores de contaminação hídrica (Gerrits & Edelenbos 2004). A partir disso, surgiu a necessidade de pesquisar sobre as contaminações de origem antrópica, instante em que a disciplina de geoquímica de solos e sedimentos ficou em alta.

Leão (2014), afirma que os estudos relacionados ao diagnóstico de sedimentos tiveram início em 1973, pela Federal Water Quality Administration e logo em seguida, pela United States Environmental Protection Agency (USEPA), com o propósito de garantir uma disposição ambientalmente adequada dos resíduos oriundos da dragagem. Duas décadas depois, em 1993, a Ontário Ministry of the Environment and Energy (OMME, 1993), definiram, através de

modelos analíticos, unidades de referência para os níveis limites de efeito permitidos, para isso atribuíram a expressão “Valores Guia para a Qualidade de Sedimentos” (VGQS) e tabelaram as informações que seriam posteriormente usadas como referência aos valores obtidos por pesquisadores para atestar o nível de contaminação dos sedimentos.

No Brasil, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2014) foi pioneira na padronização de valores de referência para qualidade dos sedimentos, baseando-se nas informações já estabelecidas pela OMEE (1993). A resolução nacional, surgiu apenas em 2004 quando a CONAMA 344 de 2004 foi proposta pelo Ministério do Meio Ambiente, também baseada em normas internacionais, tais como a OMEE (1993) e outras variações como a holandesa e canadense, adaptando no contexto das condições ambientais do país.

No entanto, a análise geoquímica vai além de diagnósticos que atestem um ambiente poluído ou não contaminado. Ela também compreende uma perspectiva robusta na distribuição dos elementos químicos, mineralógicos e geológicos. A sua proposta, quando bem desenvolvida, garante a obtenção de informações que indiquem as características ambientais do estado químico, climático, intempérico e tectônico (Rohde, 2013).

3.4. A Bacia hidrográfica

Como definição, a bacia hidrográfica é uma região com divisores topográficos ajustados naturalmente capazes de captar a água pluvial fazendo-a escoar em direção a uma única saída. Na bacia hidrográfica as superfícies do terreno orientam o curso da drenagem através de pequenos cursos de água tributários que convergem até o seu exultório (Tucci, 1997).

Ao definir qualquer ponto aleatoriamente em um mapa cartesiano, ele estará contido em alguma bacia hidrográfica. Portanto, as áreas residenciais, rurais, industriais, preservadas ou degradadas são pertencentes a alguma bacia. Sendo assim, no exultório há uma representatividade que caracteriza os processos decorrentes de seu uso. Caso exista um diagnóstico negativo do recurso hídrico que ali percorre, então significa dizer que é consequência de atividades divergentes com o controle ambiental (Porto e Porto 2008).

Existem fatores que integram o conjunto para formar a região. Yassuda (1993), afirma que “a bacia hidrográfica é o palco unitário de interação das águas com o meio físico, o meio biótico e o meio social, econômico e cultural”. Tudo isso contribuiu para que haja um equilíbrio no sistema.

3.4.1. Gestão dos Recursos Hídricos

Na Constituição Federal de 1988 há alguns artigos que versam sobre os cuidados com os recursos hídricos. No art. 26, inciso I, a carta magna reconhece os recursos hídricos como bens dos Estados e do Distrito Federal. Na mesma proposta, estabelece a necessidade de orientar a gestão da água no país, quando cita em seu art. 21, inciso XIX, “instituir sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos e definir critérios de outorga de direitos de uso”.

Esta imposição proposta pela Constituição Federal deu início a Lei n. 9.433 de 1997, a qual instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Porto e Porto (2008) afirmaram que com a aprovação dessa lei, o país dispõe de uma legislação que se propõe a assegurar água disponível às futuras gerações. Os mesmos autores ainda complementam que “a modernização do setor e a Lei n. 9.433 coloca o Brasil entre os países de legislação mais avançada do mundo no setor de recursos hídricos”.

Diante do exposto, a Política Nacional de Recursos Hídricos é fundamentada nos seguintes aspectos:

- I - a água é um bem de domínio público;
- II - a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;
- III - em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;
- IV - a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;
- V - a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;
- VI - a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades. (Brasil, 1997)

O inciso V da legislação estabeleceu que a bacia hidrográfica seria a unidade territorial de implementação da mencionada política e que as tomadas de decisões quanto ao processo de gestão deveriam partir delas. Isso é tido como um dos pontos positivo da norma, pois incentiva a gestão das águas às particularidades de cada bacia. Atualmente, todas as discussões pautadas sobre os recursos hídricos precisam passar pelos gestores das bacias, os quais recebem a denominação de comitês de bacia, e estão subdivididos em todas regiões do país, tanto em corpos hídricos de titularidade da União quanto dos Estados.

Os Comitês de Bacias Hidrográficas são grupos responsáveis pela gestão dos recursos hídricos de modo que atenda o bem-estar social e econômico e protejam o meio ambiente. Nos processos decisórios, são considerados primeira instância com atuação em nível local. Os integrantes dos comitês apresentam diferentes níveis de conhecimento, o qual é formado por

membros do poder executivo, dos usuários de água e da sociedade civil em geral. (Branchi, 2022)

O artigo nº 38 da Lei n. 9.433/97 estabelece as competências dos Comitês de Bacia Hidrográfica, focadas em suas áreas de atuação, são eles:

- I - promover o debate das questões relacionadas a recursos hídricos e articular a atuação das entidades intervenientes;
 - II - arbitrar, em primeira instância administrativa, os conflitos relacionados aos recursos hídricos;
 - III - aprovar o Plano de Recursos Hídricos da bacia;
 - IV - acompanhar a execução do Plano de Recursos Hídricos da bacia e sugerir as providências necessárias ao cumprimento de suas metas;
 - V - propor ao Conselho Nacional e aos Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos as acumulações, derivações, captações e lançamentos de pouca expressão, para efeito de isenção da obrigatoriedade de outorga de direitos de uso de recursos hídricos, de acordo com os domínios destes;
 - VI - estabelecer os mecanismos de cobrança pelo uso de recursos hídricos e sugerir os valores a serem cobrados;
 - VII e VIII - VETADOS
 - IX - estabelecer critérios e promover o rateio de custo das obras de uso múltiplo, de interesse comum ou coletivo.
- Parágrafo único. Das decisões dos Comitês de Bacia Hidrográfica caberá recurso ao Conselho Nacional ou aos Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos, de acordo com sua esfera de competência.

Visivelmente essas atividades desempenhadas pelos comitês de bacias possuem essencialidade para uma efetiva articulação e construção de consensos, sobretudo para os recursos hídricos disponíveis. Um tópico a ser destacado como competência para o mesmo grupo gestor, poderia ser o controle e monitoramento da qualidade de água e solos na região hidrográfica gerida. Esse acompanhamento pode ser visto como uma atividade de fundamental importância ao fornecer diagnósticos ambientais que garantam qualidade suficiente para as próximas gerações.

Ratificando a afirmativa anterior, Queiroz; Gomes e Vilas Boas (2010) defende a ideia de que o acompanhamento da qualidade da água é uma ação pioneira para uma gestão eficiente dos recursos hídricos. O processo de monitoramento funciona como caracterização dos aspectos físico-químicos que permitem informar sobre o comportamento ambiental em diferentes períodos, provenientes de ações naturais ou antrópicas, no uso e na ocupação do solo.

Porto e Porto (2008), destacam o desafio contido no processo de gestão de uma região geográfica como no caso descrito nesta pesquisa. Isso porque os recursos hídricos necessitam de uma gestão compartilhada que envolva diferentes grupos administrativos. Esse envolvimento ocorre entre a administração pública, companhias de saneamento, setor agrícola,

entre outros, onde cada um deles possuem suas particularidades e objetivos que podem diferir do propósito principal, a sustentabilidade ambiental.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, L. M. Considerações Gerais e Modelos de Recuperação de Formações Ciliares. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO-FILHO, H. F. (Ed.). **Matas Ciliares: conservação e recuperação**. 2ª ed. São Paulo: Edusp/Fapesp, 2009. 320p.

BRANCHI, Bruna Angela. Sustentabilidade de bacias hidrograficas e índices compostos: Aplicação e desafios. **Sociedade & Natureza**, v. 34, p. e63868, 2022.

BRASIL. Lei n. 4.771, de 15 de setembro de 1965: Institui o novo Código Florestal. **DOU de 16.9.1965**. Brasília, DF. 1965.

BRASIL. **LEI 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. Presidência da República. Casa Civil. Sub chefia para Assuntos Jurídicos. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2012.

BRASIL. **Lei nº 6.938 de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília, 1981. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm Acesso em 14/06/2024.

BRASIL. **Lei nº 9433, 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 nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 1997.

BRASIL. Supremo Tribunal Federal. **Ação Direta de Inconstitucionalidade (ADI) nº 4.903 de 2018**. Relatora: Ministra Cármen Lúcia. Brasília, DF. Diário Oficial da União de 06/03/2018 (p. 3, col. 2).

CARMO, Laila Gonçalves; FELIPPE, Miguel Fernandes; JUNIOR, Antônio Pereira Magalhães. Áreas de preservação permanente no entorno de nascentes: conflitos, lacunas e alternativas da legislação ambiental brasileira. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 34, n. 2, p. 275-293, 2014.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Decisão de Diretoria 045/2014/E/C/I, de 20-02-2014**. Dispõe sobre a aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo. São Paulo, 2014.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 303, de 2002. **Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente**. Brasília, 2002.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 344, de 20 de março de 25 de março de 2004. **Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos mínimos para a avaliação do material a ser dragado em águas jurisdicionais brasileiras, e dá outras providências.** Brasília, 2004.

Emmett BA, Hudson JA, Cowar DPA, Reynolds B. The impact of a riparian wetland on streamwater quality in a recently afforested upland catchment. **Journal of Hydrology** 1994; 162(3-4): 337-353. [http://dx.doi.org/10.1016/0022-1694\(94\)90235-6](http://dx.doi.org/10.1016/0022-1694(94)90235-6).

Gerrits L. & Edelenbos J. 2004: Management of sediments through stakeholder involvement - The risks and value of engaging stakeholders when looking for solutions for sediment related problems. *Journal of Soils and Sediments*, 4(4):239-246

Leão L. P. 2014. *Caracterização Geoquímica de Sedimentos da Bacia do Rio Maynard, MG.* Trabalho Final de Graduação, UFOP, Ouro Preto 93p

MACIEL, Jéssica Garcia Silva; SOUZA, Leonardo da Rocha. Proteção ambiental e futuras gerações: uma análise da posição do superior tribunal de justiça. **Revista de Direito Brasileira**, v. 22, n. 9, p. 340-371, 2019.

MARMONTEL, Caio Vinicius Ferreira; RODRIGUES, Valdemir Antonio. Parâmetros indicativos para qualidade da água em nascentes com diferentes coberturas de terra e conservação da vegetação ciliar. **Floresta e ambiente**, v. 22, p. 171-181, 2015.

MIRANDA, L. C. O “novo” Código Florestal: tensões e estratégias de interpelações discursivas. **Revista Geografias**, Belo Horizonte, v. 7, n. 2, p. 98-105, jul./dez. 2011.

Naiman, R. J., & Decamps, H. (1997). The Ecology of Interfaces: Riparian Zones. **Annual Review Ecological System**, 28, 621-658. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.28.1.621>

OMEE - Ontário Ministry of the Environment and Energy. 1993. *Guidelines for the protection and management of aquatic sediment quality in Ontário*. Ministry of the Environment and Energy, Toronto, 39 p

PORTO, Monica FA; PORTO, Rubem La Laina. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos avançados**, v. 22, p. 43-60, 2008.

QUEIROZ MMF, Iost C, GOMES SD, VILAS BOAS MA. Influência do uso do solo na qualidade da água de uma microbacia hidrográfica rural. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável** 2010; 5(4): 200-210.

Rodrigues VA. **Recuperação de nascentes em microbacias da cuesta de Botucatu**. In: Rodrigues VA, Bucci LA, organizadores. Manejo de microbacias hidrográficas: experiências nacionais e internacionais. Botucatu: FEPAF; 2006.

ROHDE, Geraldo. **Geoquímica ambiental e estudos de impacto-4ª ed.** Oficina de Textos, 2013.

SILVA, JLC; Barros, LM; Freitas, FRV. Aspectos da degradação ambiental no Nordeste do Brasil. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 180-191, 2018.

SORRINI, Edvaldo. **Atividades agrícolas e proteção ciliar na porção leste do reservatório de Biritiba Mirim (SP) e sua implicação na qualidade da água e sedimentos de fundo.** 2015. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

TUCCI, C. E. M. 1997. Hidrologia: ciência e aplicação. 2.ed. Porto Alegre: ABRH/ **Editora da UFRGS**, 1997. (Col. ABRH de Recursos Hídricos, v.4).

YASSUDA, E. R. Gestão de recursos hídricos: fundamentos e aspectos institucionais. **Rev. Adm. Púb.**, v.27, n.2, p.5-18, 1993.

4 CAPÍTULO 1 – CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA E AMBIENTAL ATRAVÉS DE FERRAMENTAS MULTIVARIADAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO UNA – PE

4.1. Resumo

Conhecer a dinâmica dos componentes químicos no sistema do solo é imprescindível para promover uma eficiente gestão ambiental e evitar a evolução de contaminantes. A Bacia Hidrográfica do Rio Una, localizada na porção sul do estado de Pernambuco, apresenta algumas características quanto ao uso e ocupação do solo capazes de contribuir negativamente com a sustentabilidade ecológica. Com isso observou-se a necessidade de estudar o comportamento geoquímico dos solos da bacia hidrográfica como estratégia geoambiental para estimar sua vulnerabilidade, perspectivas de uso e ocupação e assegurar a gestão das áreas de escassez hídrica. Foram analisadas 20 amostras extraídas do Atlas Geoquímico de Pernambuco, no interior da bacia, as quais serviram como base para o desenvolvimento da pesquisa. Os elementos químicos: Al, Ca, K, Mg, P, S, As, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Ba, Ce, Co, Cs, Ga, Hf, Mn, Mo, Nb, Sc, Se, Sn, Sr, Th, U, V, W, Y e Zr, foram colocados em evidência, assim, seguiram para o estudo da estatística descritiva, multivariada e construção de mapas de isotores dos metais pesados, pela técnica de krigagem. Ficaram demonstradas possíveis contribuições antrópicas. Observou-se a formação de agrupamentos específicos entre os componentes do solo que serviram de base para o estabelecimento da relação háfnio/alumínio a qual exprime validade para as técnicas quimiométricas utilizadas.

Palavras-chave: Assinatura geoquímica; Análise multivariada; Rio Una

4.2. Introdução

Observados os desafios existentes na garantia da disponibilidade e qualidade de água, recurso essencial da vida, o bom uso e conservação dos solos apresenta-se como alternativa imprescindível para manutenção da qualidade ambiental. O uso do solo por humanos e animais, quando mal administrado, é capaz de interferir negativamente sobre a qualidade dos recursos ambientais (Pieroni, et al 2019).

A avaliação e caracterização dos solos contaminados possui caráter desafiador devido a intensidade e variabilidade de químicos lançados sobre o meio ambiente (Fernández, 2017). A mobilidade destes elementos pode ser influenciada pela área superficial específica, textura e densidade do solo, quantidade de matéria orgânica, composição mineralógica, natureza físico-química e teor de elementos-traço presentes no solo (Oliveira; Costa; Cruz, 1998).

A respeito disso, surge a necessidade de conhecer a dinâmica dos contaminantes no sistema do solo e consequentemente desenvolver o monitoramento com vista à mitigação de impactos ambientais. Tal dinâmica é influenciada pela presença dos metais pesados, que traduzem indicação da qualidade ambiental (Barros, 2010).

No começo do século XX, os métodos utilizados nesse tipo de estudo eram fundamentados na estatística clássica, onde parâmetros como a média e o desvio padrão eram empregados para representar um fenômeno, pressupondo a premissa central de que as variações entre diferentes locais eram aleatórias. (Vieira, 2000). Entretanto, Krige (1951), concluiu que a informação apresentada apenas pela variância não é suficiente para explicar o fenômeno em estudo. Para isso é necessário outro parâmetro, como por exemplo, a distância. Dessa forma surge o conceito da Geoestatística, que leva em consideração a localização geográfica e a dependência espacial.

Nessa premissa, a análise geoquímica propõe o estabelecimento de relações entre os solos e possíveis contaminantes (naturais ou antrópicos), através da determinação da concentração de elementos químicos, tornando possível monitorar de forma quantitativa e qualitativa, estimando o fluxo de elementos durante o intemperismo, processo de lixiviação e/ou atividades sujeitas a passivos ambientais (Chadwick et al., 1990).

A geoestatística, assim como a quimiometria, tem como objetivo encontrar e separar objetos em um grupo de dados similares, e também fornece a possibilidade de agrupamento multidimensional através de procedimentos científicos. Em muitas situações, torna-se necessário conhecer algumas características, principalmente quando se obtém mensuração de diferentes naturezas, pode-se assim aplicar o método de Análise de Agrupamentos quando há similaridades no conjunto de dados (Vicini, 2005).

A aplicação de ferramentas quimiométricas tornou-se nos últimos anos uma atividade essencial. Esse fato se dá principalmente diante da grande quantidade e natureza dos dados gerados, a partir da necessidade de extrair informações objetivas (Pereira, 2022). O processamento estatístico dos resultados consegue atuar diretamente na resolução de problemas em aplicações ambientais (Fernandéz, 2017).

O presente estudo tem como objetivo a colaboração com a interpretação multivariada de resultados geoquímicos, em tentar elucidar com detalhes químicos a vulnerabilidade, perspectivas de uso e ocupação do solo e também melhorar a gestão das áreas de escassez hídrica da Bacia Hidrográfica do Rio Una - BHRU. Com base nisso, a caracterização da Bacia

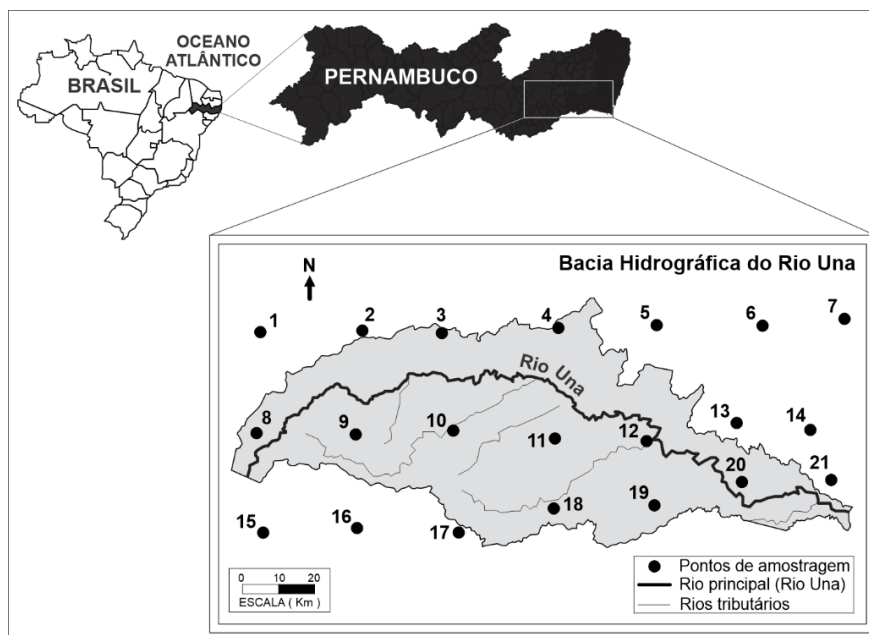
Hidrográfica tem como fundamental importância a gestão integrada dos recursos naturais, uma vez que os aspectos socioeconômicos, observados conjuntamente com as propriedades climáticas, pedológicas, geológicas e de uso e ocupação do solo, visam a melhoria das condições das atividades agrícolas, urbanas e industriais (Martins, 2004).

4.3. Material e Métodos

4.3.1. Área de estudo

A anotação química elaborada nesta pesquisa ocorreu na região geográfica da BHRU, a qual está situada entre 8°17'14" e 8°55'28" de latitude sul, e 35°07'48" e 36°42'10" de longitude a oeste de Greenwich. No espaço territorial das mesorregiões Agreste e Zona da Mata, estado de Pernambuco, Brasil. O curso do rio Una nasce a uma altitude de 900m, e tem de uma maneira geral a direção oeste-leste. Percorre aproximadamente 255km até o seu encontro com o Oceano Atlântico (Figura 1).

Figura 1 - Mapa de localização da BHRU com os pontos de análises considerados



Fonte: Moraes, *et al.* (2024)

A BHRU é representada, majoritariamente, por rochas cristalinas, com participação aproximadamente igualitária entre os migmatitos e os granitos. Eventuais falhas transcorrentes ocorrem nesses migmatitos. A área sedimentar é representada por depósitos areno-argilosos de aluviões recentes, (Santos, 2013). Os solos na bacia hidrográfica do rio Una são do tipo planossolos, vertissolos, neossolo e latossolos distróficos. Destacando-se que na porção

semiárida, os solos têm no geral potencial de aproveitamento econômico com pastagem e com agricultura. Também se destacam solos rasos de baixa permeabilidade, e que apresentam excesso de água no período chuvoso e extremo ressecamento no período seco.

Alguns estudos sobre parâmetros morfométricos a partir de imagens de radar, dados de geologia de superfície mostraram que o Rio Una está implantado sobre três superfícies criadas por eventos sucessivos de soerguimento e erosão, as quais controlaram a compartimentação de sua bacia hidrográfica (Filho, 2019).

A bacia do rio Una possui claramente dois comportamentos climáticos, apresenta-se quente e úmido, com totais anuais de precipitação elevados, superiores a 1.000 mm, (Araújo, 2022).

Quanto ao uso do solo na Mesorregião Agreste predomina propriedades rurais onde se desenvolvem a policultura, pecuária leiteira e produção de cana-de-açúcar. Enquanto na Zona da Mata Sul, destacam-se a ocupação urbana e industrial de aços especiais, produtos eletrônicos, equipamentos para irrigação, barcos, navios, cascos para plataformas de petróleo, chips, softwares, automóveis, baterias e produtos petroquímicos (Fernandéz, 2017).

4.3.2. Tratamento dos dados

Foram analisados os dados de 21 amostras dispostas na região geográfica da BHRU extraídas do Atlas Geoquímico de Pernambuco, (LIMA et. al, 2017). Em seguida, destacou-se os elementos químicos (Al, Ca, K, Mg, P, S, As, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Ba, Ce, Co, Cs, Ga, Hf, Mn, Mo, Nb, Sc, Se, Sn, Sr, Th, U, V, W, Y e Zr).

Foram desenvolvidas análises estatísticas descritivas das amostras (média, mediana, desvio padrão e coeficiente de variação) a fim de avaliar os teores de metais.

Para avaliação da relação entre os elementos estudados, utilizou-se a Análise de Agrupamentos Hierárquicos (AAH) como forma de avaliar as relações entre as concentrações elementares do conjunto de amostras de modo a buscar possibilidades de agrupamentos por características similares.

Para a construção dos mapas de isoteores dos metais pesados foi utilizada a técnica de Krigagem ordinária pontual com interpolador a partir de semivariogramas, que estima o valor de uma variável, em uma posição $Z(x_i)$ não amostrada, a partir de uma pré-análise espacial do conjunto de amostras utilizando-se semivariogramas experimentais (Soares, 2016). E com o

objetivo de garantir a precisão das estimativas e a verificação das hipóteses necessárias, foi considerado amostras no interior e no entorno da Bacia Hidrográfica do Rio Una.

4.4. Resultados e Discussão

Os resultados são apresentados inicialmente focando nos elementos químicos com efeito tóxico, também conhecidos como os metais pesados (As, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn). Assim, comparando-se com os valores de referência mais utilizados no Brasil pela (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) - CETESB (2014), que estabelece critérios de qualidade evidenciados na tabela 01, juntamente com os valores médios obtidos a partir das análises estatísticas descritivas.

Os metais Cr e Ni mantiveram-se acima da média percentual proposta pelos VRQ da CETESB. Em todos os pontos estudados identificou-se amostras pontuais de elementos acima dos valores de referência de qualidade, entretanto, apenas Cr e Ni possuem pontos indicadores sobrepostos aos valores de prevenção. Isso se deve ao fato de que dependendo do universo amostral, o seu valor médio pode ser deslocado para valores menores que a referência, resultando em uma coincidência estatística equivocada.

Tabela 1 - Valores de referência e valores médios dos metais pesados (mg. Kg⁻¹).

Parâmetros	As	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Nº de Observações	21	21	21	21	21	21
Média	1,10	46,50	7,47	15,21	12,98	23,15
Mínimo	0,50	8,00	1,10	2,50	4,40	3,00
Máximo	5,00	95,00	25,00	41,20	28,60	85,00
Desvio Padrão	1,30	27,18	6,78	10,59	7,85	20,55
CV%	1,7	738,58	45,91	112,08	61,64	422,45
VQR CETESB	3,5	40	35	13	17	60
Valor de Prevenção	15	75	60	30	72	86

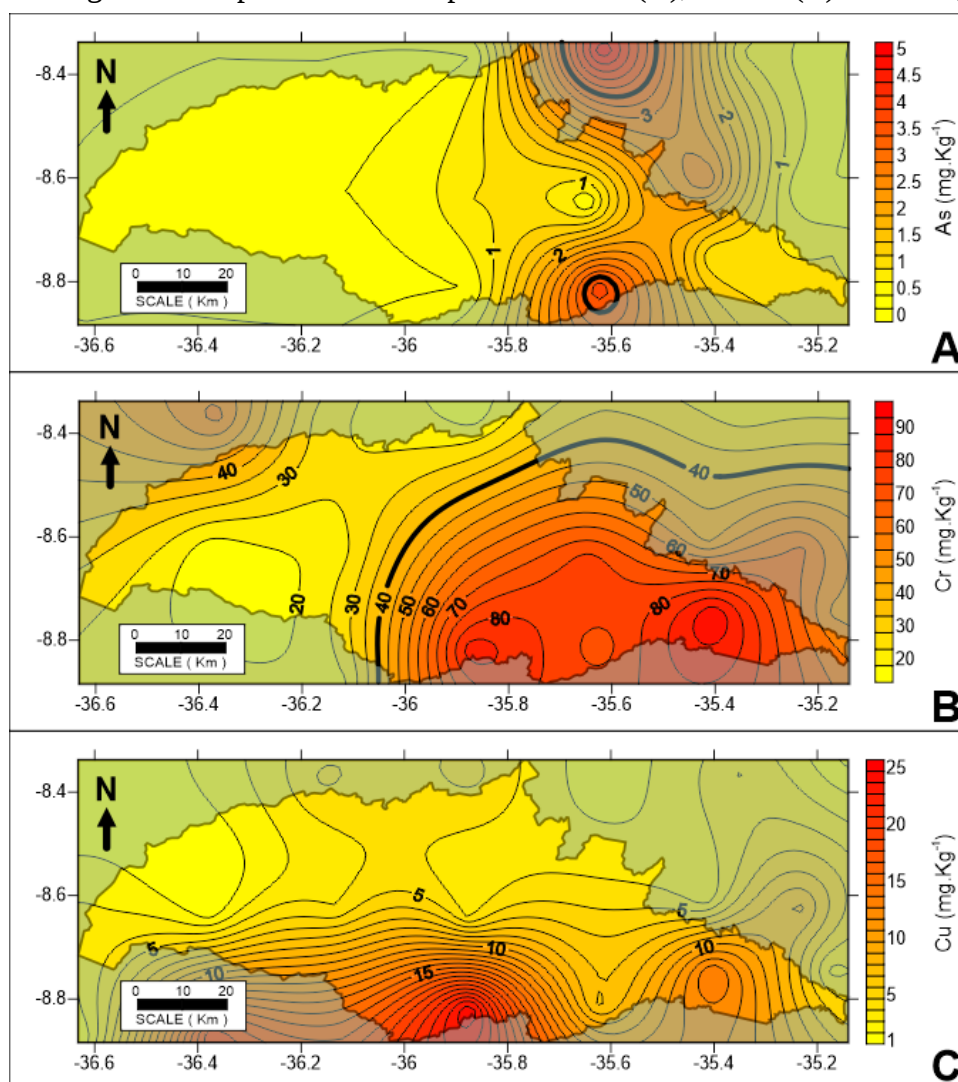
Fonte: Adaptado CETESB (2014).

Elementos-traço formam um grupo de elementos com particularidades específicas e de ocorrência natural no ambiente, compondo minerais acessórios de rochas. Esses elementos, apesar de associados à toxicidade, exigem tratamentos diferenciados quanto à sua função nos sistemas biológicos, uma vez que, diversos deles possuam essencialidade comprovada para as plantas (Ni, Cu, Fe, Mn, Zn) e animais (Ni, Cu, Fe, Mn, Zn, Cr III) e outros não apresentam funções biológicas (Pb, Cd e Cr IV). Os elementos-traço comumente estão associados a episódios de contaminação que afetam organismos vivos e o ecossistema como um todo, em muitos casos estes efeitos estão associados a contaminações antropogênicas (Biondi et al., 2011)

A distribuição dos metais no solo, depende da capacidade de adsorção durante o intemperismo; da geomorfologia; da hidrologia; e das barreiras geoquímicas, que impedem a maior dispersão de metais (Miller, 1997). Os metais podem ser transportados livres em solução, na forma de complexos ou associados aos minerais de argila e compostos orgânicos (Quantin et al., 2002; Sommer et al., 2000).

Para ressaltar os valores reais obtidos neste trabalho para a região geográfica em questão, foi confeccionado mapas de isotores com os metais pesados descritos. Assim, os teores de As, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn são exibidos em forma de mapas de dispersão por krigagem no retângulo respectivo a área da Bacia Hidrográfica de estudo (Figuras 2 e 3).

Figura 2 - Mapas de isotores para o Arsênio(A), Cromo (B) e Cobre (C)



Fonte: Moraes, *et al.* (2024)

O Arsênio é um elemento químico semimetálico acinzentado, quebradiço e com brilho metálico em seu estado elementar, que se apresenta naturalmente no ambiente formando

complexos orgânicos e inorgânicos com diferentes estados de valência, -3, +3, 0 e +5, destacando toxicidade mais elevada nos compostos inorgânicos comparativamente aos compostos orgânicos (ATSDR, 2007).

Para o Arsênio, figura 2A, observa-se uma pequena região anômala, com teores acima da referência de 3,5 mg/kg na porção mais a sul da Bacia Hidrográfica com predominância de regiões agrícolas e aumento da densidade populacional. São consideradas fontes naturais para o As, o intemperismo do material de origem, por meio de processos físicos, químicos e biológicos e emissões vulcânicas (Alonso et al., 2014). Por fontes antrópicas, o As pode ser detectado em atividades com o uso de herbicidas, fertilizantes fosfatados, mineração, resíduos industriais e trabalhos relacionadas à preservação da madeira (Chirenje et al., 2003; Alonso et al., 2014; Roy et al., 2015).

O Cromo é frequentemente encontrado no solo de forma combinada com outros elementos, como o O, Fe, Pb, em forma de óxidos. O Cr pode existir em nove estados diferentes de oxidação, entretanto, as formas Cr^{3+} e Cr^{6+} são as mais comuns. O Cr trivalente, Cr (III), é a forma de Cr mais estável e existe naturalmente no ambiente, o Cr hexavalente, Cr (VI), provém essencialmente de fontes de poluição antrópicas. (CCME, 1999a).

Toda a região leste da bacia hidrográfica estudada possui forte interação com o Cromo, sugerindo, portanto, a grande disponibilidade de material argiloso, justificando a afirmativa de Ribeiro (2013), em que o Cr é fortemente adsorvido pelas partículas de argila, matéria orgânica e por outras partículas de carga eletronegativa.

No estudo sobre fitorremediação de Costa et al., (2021) avaliaram a capacidade de bioacumulação de Cromo na espécie vegetal do girassol, constataram uma boa eficiência no potencial fitoextrator desta espécie quando cultivada em solo contaminado. Entretanto, o óleo extraído das sementes cultivadas nestas condições não é adequado para consumo humano, em virtude do alto teor de metal. Desse modo, a importância apresentada nesse contexto é de que o girassol pode ser cultivado na região hidrográfica do rio como uma alternativa para recuperação da área, jamais como alternativa econômica.

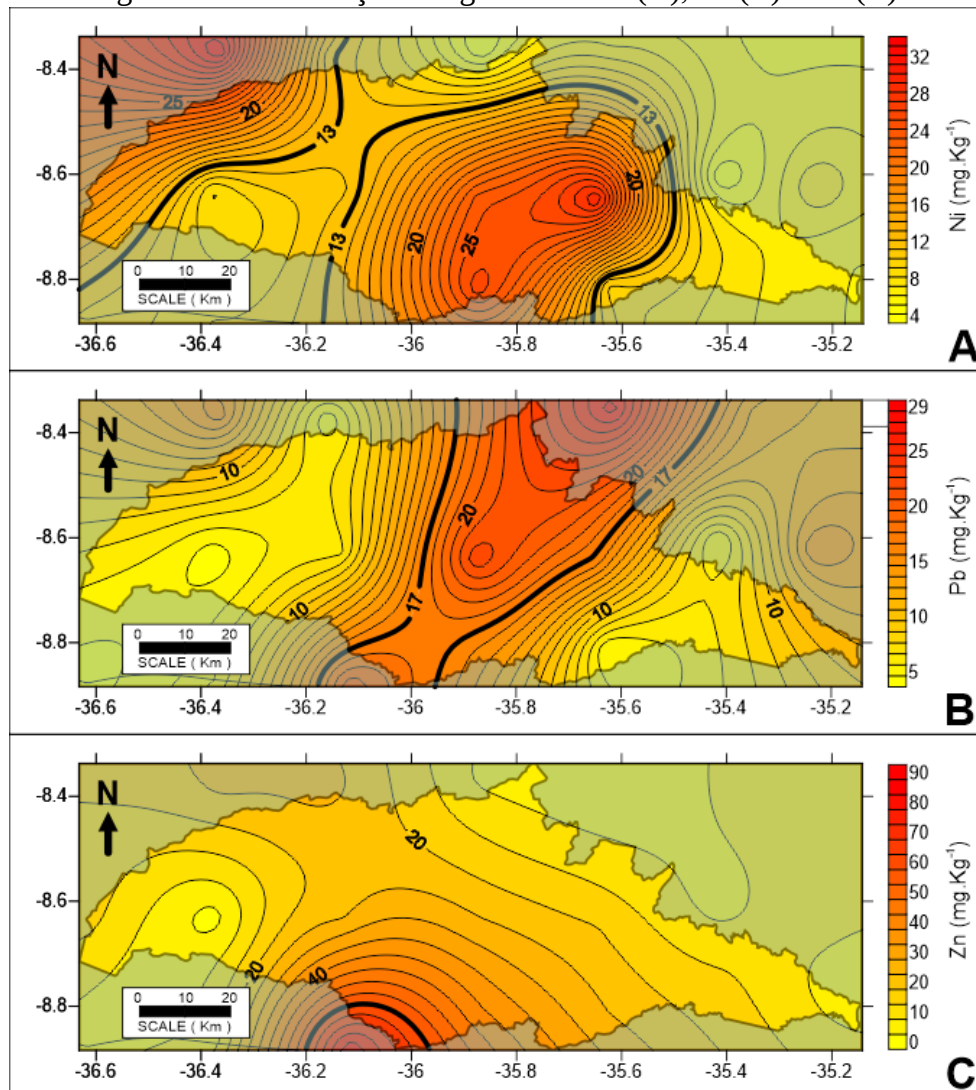
Assim como o As, o Cr (VI) deriva de atividades potencialmente prejudiciais ao meio ambiente como a indústria metalúrgica (CCME, 1999), reafirmando a possível associação entre as fontes de poluição. Ribeiro (2013), afirma que os compostos sólidos de Cr (VI) são solúveis no solo e são extremamente móveis podendo sofrer processos de lixiviação para as águas subterrâneas.

O cobre, quando bivalente possui a capacidade de se combinar com vários ânions, além disso, migra sob forma de soluções de Cu e outros metais como Fe, Al e Mn, diminuindo,

portanto, a mobilidade no solo (Goldschmidt, 1958); (Ribeiro, 2013), isso justifica o Cu reduzido em resíduos sedimentares de algumas áreas da bacia apresentado na figura 2C.

O Cu possui uma considerada essencialidade para a nutrição básica de plantas, já que se configura com um dos sete micronutrientes mais importantes, porém grandes quantidades de Cu produzem um efeito tóxico capaz de ocasionar sérios problemas como anemia e distúrbios no sistema nervoso central e cardiovascular. Entretanto, a ausência de Cu em animais e humanos pode provocar desordens neurológicas, e por isto, também se caracteriza como essencial na nutrição humana e animal, se apresentando como componente importante e necessário em certas enzimas. (Sillanpaa, 1972). A concentração normal do cobre no solo é de 20mg/kg, com variações na faixa de 6 a 80 mg/kg (McBride, 1994).

Figura 03 - Distribuição Geográfica do Ni (A), Pb (B) e Zn (C).



Fonte: Moraes, *et al.* (2024)

O níquel ocorre naturalmente no meio ambiente, entretanto, é rara sua presença na forma elementar (McGrath, S.P., 1995). O Ni apresenta uma forte afinidade com o Fe e o S formando compostos de sulfeto de Fe como a pentlandita [(Ni,Fe)₉S₈] em rochas ígneas, a millerita (NiS) e a ulmanita (NiSbS) em áreas mineralizadas. Também existem minerais ricos em Fe e Ni, que se podem ser encontrados de forma natural nos solos devido ao intemperismo da rocha (McGrath, S.P., 1995).

O Ni apresenta afinidade pela matéria orgânica devido à presença de agentes ligantes, substâncias húmicas ou grupos que formam complexos ou quelatos específicos com o Ni²⁺ (Kabata-Pendias, 2011).

As principais utilizações do Ni são a produção de ligas, incluindo o aço inoxidável de Ni, fabricação de baterias, eletrodos de soldadura e a produção químicos como sulfato de níquel, cloreto de níquel e alguns catalisadores (DEPA, 2005). Estes compostos podem contribuir de forma negativa para a contaminação do solo da BHRU, sendo descartados de forma ambientalmente incorreta por meio de efluentes líquidos ou através das emissões gasosas pelas indústrias que o utilizam.

A figura 3A demonstra a presença efetiva de Ni na região Oeste e central da região geográfica estudada. Assume, portanto, menor interação geoquímica com a argila e maior afinidade com minerais arenosos. McGrath (1995) propõe que o Ni associado a geologia do solo contém caráter mais efetivo em argilas, isso justifica a ideia de que o Ni presente na área da Bacia Hidrográfica do Rio Una é potencialmente proveniente de atividades antrópicas.

No meio ambiente, o Chumbo é raramente encontrado na sua forma elementar, sendo o íon 2+ o elemento predominante na natureza. Este é capaz de formar facilmente ligas metálicas com outros metais como o Cu e Zn.

Existem concentrações de Chumbo em áreas com alta densidade de plantação (Agreste), da região norte a sul na zona central do mapa de isoietas apresentado na figura 3B. Para os valores de referência de qualidade (17mg/kg) estabelecidos pela CETESB (2014), são ultrapassados pelos índices obtidos nas análises, (até 28,60mg/kg). Estas zonas de contaminação, ocasionadas provavelmente pela aplicação de produtos químicos nas plantações de batata doce, mandioca e banana, podem possibilitar a incorporação de metais aos cursos d'água, isto implica prejuízos ambientais para toda comunidade ecossistêmica aquática e terrestre ao longo da bacia hidrográfica, (Montgomery, 2008).

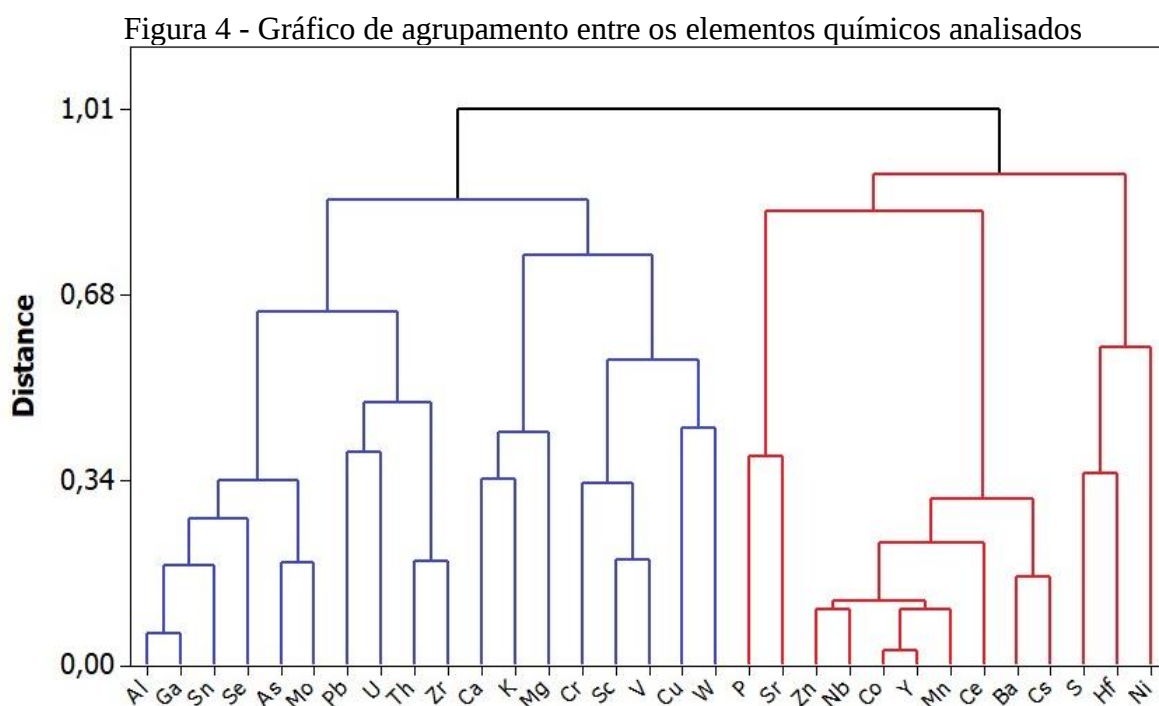
Além da hipótese de contaminação proposta, há diversas fontes de emissões de Pb para a atmosfera, como incêndios florestais, queima de combustíveis fósseis e resíduos de produção

animal. Nesse sentido, o Chumbo é depositado no solo através da precipitação quando o ambiente atmosférico está contaminado (Ribeiro, 2013).

O Zinco possui elevada abundância na crosta terrestre. Entretanto, não se encontra na sua forma elementar no meio ambiente, sendo extraído do mineral esfalerita [(ZnFe)S]. (CCME, 1999b). Assim como o Cu, Zn é um elemento essencial na nutrição humana por estar efetivamente relacionado com as enzimas (Peakall e Burger, 2003).

A figura 3C estabelece a distribuição do Zn no entorno da bacia hidrográfica, anota-se a sua distribuição uniforme no decorrer de toda área geográfica, considerando valores de referência inferiores aqueles estabelecidos pela legislação vigente, isto infere a ausência de contaminação por Zn. Esta ideia, baseia-se na afirmação proposta pela (CCME, 1999a) em que o Zn é um dos metais mais móveis no solo devido à sua elevada solubilidade na presença de soluções de solo com pH neutro ou ácido. Além disso, ao se apresentar no meio ambiente, o Zn permanece no solo, formando compostos insolúveis, tal fato, promove significativa preocupação ambiental.

Todos os elementos químicos analisados foram estruturados por meio do dendrograma abaixo (figura 04). Este diagrama visa representar graficamente a relação entre objetos ou grupos de objetos em uma análise de agrupamentos. Neste modelo, é respeitado uma hierarquia a partir da medida da distância entre eles. Quanto mais próximos os objetos estiverem uns dos outros, menor será sua distância de correlação.



Fonte: Morais, *et al.* (2024)

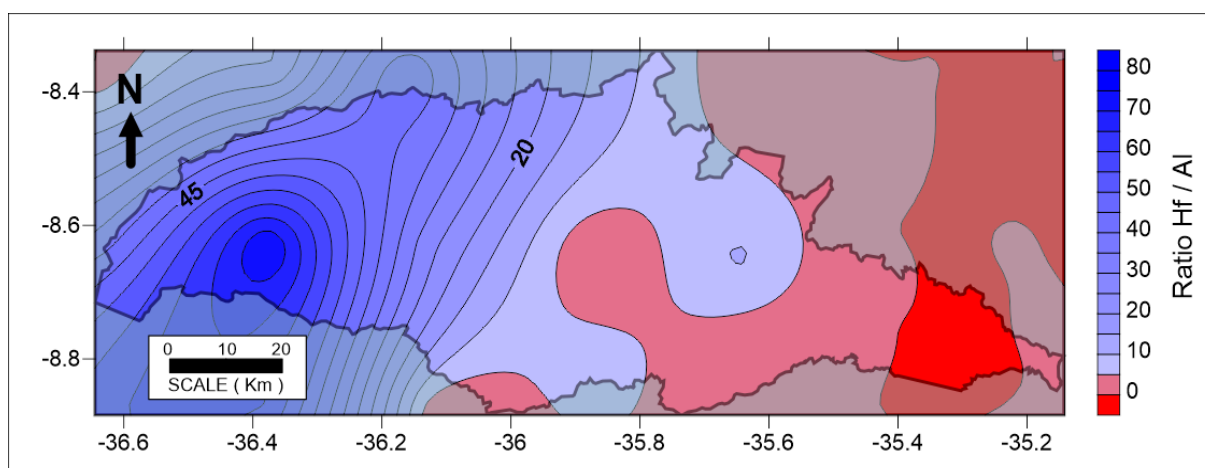
O dendrograma compara a distribuição dos elementos químicos analisados distribuídos ao longo da BHRU, formando dois grupos distintos, sendo que à esquerda no grupo 1, encontram-se os elementos com maior associação às partículas de argila (Al, Ga, Sn, Se, As, Mo, Pb, U, Th, Zr, Ca, K, Mg, Cr, Sc, V, Cu, W).

E para o grupo 2, à direita do gráfico, estão os demais elementos, e que, por analogia à distribuição, considerando que o regime hídrico é bastante decrescente em direção à oeste, pode-se sugerir que este grupo está relacionado à fração areia (P, Sr, Zn, Nb, Co, Y, Mn, Ce, Ba, Cs, S, Hf e Ni), corroborando com as informações propostas por (Lima et al, 2017).

Para reduzir a dimensionalidade deste sistema com os diversos elementos químicos apresentados, foi utilizada a razão entre o Háfênio e o Alumínio, uma vez que esses elementos são pertencentes a cada um dos grupos observados no dendrograma.

Assim, segundo Zaaboub (2016), que constatou que o aumento da relação Hf/Al pode estar relacionado a áreas com baixas condições hidrodinâmicas, e que, na área de estudo, essa assinatura geoquímica mostra que quanto mais próximo ao litoral menores valores da razão Hf/Al são verificados, e em contrapartida, quanto mais em direção oeste, maiores são os valores da razão evidenciados, figura 5.

Figura 05 - Gráfico da relação geoquímica Hf/Al

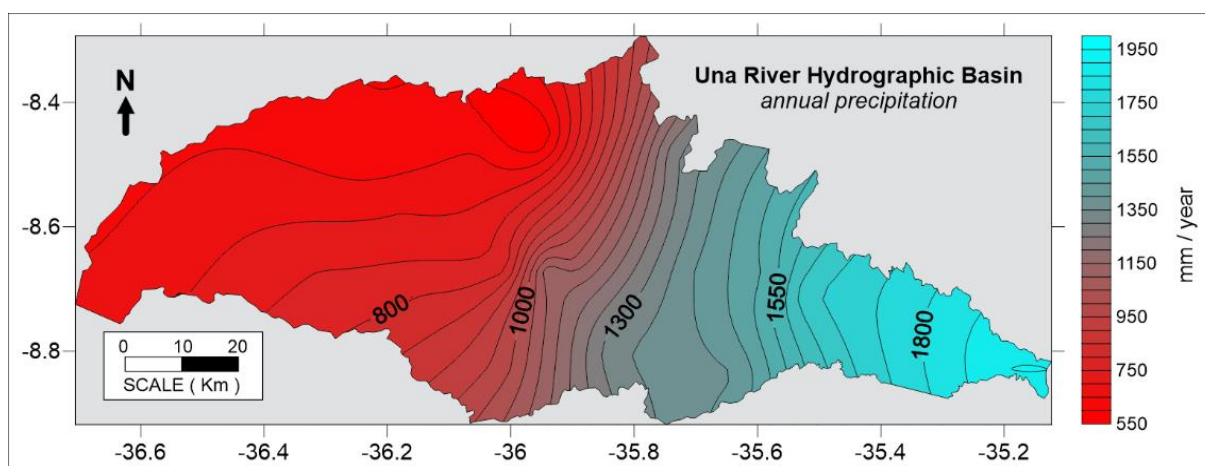


Fonte: Moraes, *et al.* (2024)

De forma geral, os agrupamentos observados pelo método estatístico multivariado, podem ser representados apenas por esses dois elementos químicos, embora exista um gradiente de dependência à essa regra, isso pode significar quais elementos estão subordinados ao resultado do regime hídrico local e quais são de origem pontual (geogênica) ou transportados por outro sistema. Esse fato corrobora a intenção de testar a origem e proveniência de elementos químicos, uma vez que as características de solos, rochas e sedimentos no interior e no entorno

da BHRU podem ser indicativos da sua qualidade ambiental. Também é importante mostrar que Araújo et. al., (2022) evidenciou em seus resultados um crescimento nos índices de precipitação no decorrer da bacia hidrográfica no sentido oeste para leste, figura 6, e tal comportamento pode ser análogo à distribuição dos valores da assinatura geoquímica do Hf/Al mostrado neste trabalho.

Figura 06 - Precipitação anual ao longo da BHRU.



Fonte: Araújo, et al. 2022

Esta ideia reforça a hipótese de que a relação estabelecida entre os elementos é válida e estão associadas à climatologia da região de pesquisa. O háfnio associado a partícula de areia mantém-se presente em áreas com menor índice pluviométrico, enquanto o alumínio, encontrado facilmente na fração argila, possui maior mobilidade na superfície e é acompanhado pelo escoamento superficial ao longo da bacia hidrográfica.

Segundo Chaves (2008), a poluição do solo se relaciona ao acúmulo e transporte dos elementos nele contido, com a fração argila, principal precursor das interações nas fases sólida e líquida do solo. Portanto, considerando o desnível topográfico e a quantidade de chuva, é possível inferir predominância de alumínio e háfnio ou seus respectivos elementos associados. Quanto maior o índice pluviométrico e consequentemente o escoamento superficial, maior a concentração de alumínio no espaço.

4.5. Conclusões

A geoestatística permitiu realizar a análise espacial dos teores de Arsênio, Cromo, cobre, níquel, Chumbo e Zinco nas dependências da Bacia Hidrográfica do Rio Una - PE. As variáveis estudadas apresentaram condições anômalas quando confrontadas com a legislação ambiental

vigente, o que permitiu sugerir hipóteses de possíveis formas inapropriadas do uso sustentável do solo.

Foi possível observar que a interpolação pelo método geoestatístico de krigagem pode apresentar resultados satisfatórios, capaz de proporcionar inferência confiável dos níveis geoquímicos em áreas não amostradas. Portanto, a quimiometria apresenta-se como alternativa viável para obtenção de diagnóstico ambiental de áreas que possuem grandes áreas superficiais e características interligadas.

A razão obtida Hf/Al é útil para determinar com maior probabilidade, a presença de elementos químicos associados ao agrupamento o qual está relacionado. Concluiu-se que quanto maior a razão, menores condicionantes voltadas para o grupo ligado ao Al, pois estes encontram-se em maior correlação com o Hf. Na mesma proporção que quanto menor a razão, maior incidência de Al e dos elementos ligados ao grupamento Hf. Esta relação pode ser explicada pelas condições climatológicas da região.

A bacia hidrográfica do rio Una apresenta características geoquímicas favoráveis ao equilíbrio ambiental. Nas áreas com possíveis contribuições antrópicas, propostas de fitorremediação poderão ser estudadas e acrescidas à posteriori.

Por este ser um trabalho de baixa densidade amostral, as recomendações restringem-se a indicar as áreas onde devem ser efetuados trabalhos de maior detalhe, aumentando a quantidade de amostras e selecionando pontos estratégicos capazes de levantar pontos de contaminação antropogênicas ou ocorrências naturais.

4.6. Referências

Agency for Toxic Substances and Disease Registry [ATSDR]. (2005). *Toxicological profile for nickel*. Atlanta, GA: US Department of Health and Human Services. Acessado em 03 de dezembro, 2022 de ATSDR em <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp15.pdf>. 397p.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry [ATSDR]. (2007). *Toxicological profile for arsenic*. Atlanta: US Department of Health and Human Services. Acessado em 02 de dezembro de 2022 ATSDR em <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp2.pdf>. 559p

ALONSO, D. L.; LATORRE, S.; CASTILLO, E.; BRANDÃO, P. F. B.; Environmental occurrence of arsenic in Colombia: A review. **Environmental Pollution**, v. 186, p. 272-281, 2014.

ARAÚJO, M. das D. S.; MORAES, A. S.; TAVARES, A. da rocha; LIMA, R. P.; MORAIS, D. P.; MEDEIROS, R. M. Estratégias para áreas de escassez hídrica utilizando isoietas mensais e anuais na Bacia Hidrográfica do rio Una – Pernambuco, Brasil. **Conjecturas**, [S. l.], v. 22, n. 12, p. 1039–1053, 2022.

BARROS, Yara Jurema et al. Indicadores de qualidade de solos de área de mineração e metalurgia de Chumbo: II-Mesofauna e plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1413-1426, 2010.

BIONDI, C. M.; NASCIMENTO, C. W. A.; NETA, A. B. F.; RIBEIRO, M. R. Teores de Fe, Mn, Zn, Cu, Ni e Co em solos de referência de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1057-1066, 2011.

Canadian Council of Ministers of the Environment. [CCME] (1999a). Canadian soil quality guidelines for the protection of environmental and human health: Chromium. 11p

Canadian Council of Ministers of the Environment. [CCME] (1999b). Canadian soil quality guidelines for the protection of environmental and human health: Zinc. 6p.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Decisão de Diretoria 045/2014/E/C/I, de 20-02-2014**. Dispõe sobre a aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo. São Paulo, 2014.

CHADWICK, O.A.; BRIMHALL, G.H. & HENDRICKS, D.M. From a black to a gray box - a mass balance interpretation of pedogenesis. *Geomorphology*, 3:369-390, 1990.

CHAVES, E.V. **Absorção de metais pesados de solos contaminados do aterro sanitário e pólo industrial de Manaus pelas espécies de plantas Senna multijuga, Schizolobium amazonicum e Caesalpinia echinata**. Tese (Doutorado). Manaus: UFAM, 2008. 100 p

CHIRENJE, T.; MA, L. Q.; CHEN, M; ZILLIOUX, E. J. Comparison between background concentrations of arsenic In urban and non-urban areas of Florida. **Advances in Environmental Research**, v. 8, p. 137-146, 2003.

COSTA, Fabiane Hilário dos Santos; SOUZA FILHO, Carlos Roberto de; RISSO, Alfonso. Modelagem espaço-temporal da erosão e potencial contaminação de Arsênio e Chumbo na bacia hidrográfica do rio Ribeira de Iguape (SP). **Revista Brasileira de Geociências**. Vol. 39, n. 2 (jun. 2009), p. 338-349, 2009.

COSTA, S. et al. Avaliação do potencial de bioacumulação de Cromo em plantas de girassol. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 14, n. 2, p. 515-522, 2021.

FERNANDÉZ, Z. H. **Análise de metais pesados em solos de Pernambuco com diferentes atividades antrópicas**. 2017. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares.

GOLDSCHMIDT, V.M. *Geochemistry*. Oxford University Press. Oslo. 1958. 730 p.
HEILBRON, M., MACHADO, N. Timing of terrane accretion in the Neoproterozoic–Eopaleozoic Ribeira orogen (SE Brazil). *Precambrian Research*. v.125. p. 87–112. 2003.

KABATA-PENDIAS, A. **Trace elements in soils and plants**. 4. ed. Boca Raton: CRC Press, 2011. 315 p.

KRIGE, D.G. A statistical approach to some basic mine evaluation problems on the Witwatersrand. **Johannesburg Chemistry Metallurgy Mining Society South African**, 1951.

LIMA, Enjôlras de Albuquerque Medeiros; TORRES, Fernanda Soares de Miranda; FRANZEN, Melissa. **Atlas geoquímico do estado de Pernambuco**. Recife: CPRM, 2017. 2 v.

MARTINS, Patrick Thomaz de Aquino et al. Bacia do Rio Una (Valença): aspectos físicos, socioeconômicos e suas inter-relações. **SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA**, v. 5, 2004.

McBRIDE, M. B. **Environmental chemistry of soils**. New York: Oxford University Press, 1994. 406 p.

McGRATH, S. P., (1995). *Chromium and Nickel*. Alloway, B.J. Heavy Metals in Soils. (2ª ed., cap. 7, pp. 152-174). London: Blackie Academic & Professional.

MILLER, J. R.: JERRY R The role of fluvial geomorphic processes in the dispersal of heavy metals from mine sites. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 58, p. 101 – 118, 1997

MONTGOMERY, C.W. *Environmental Geology*. Columbus: Mc Graw-Hill. 8. ed. 2008. 556p.

MORITA, M.; EDMONDS, J. S. Determination of arsenic species in environmental and biological sample. **IUPAC, Pure and Applied Chemistry**, v. 64, n. 4, p. 575-590, 1992.

OLIVEIRA, T.S. de; COSTA, L.M. da; CRUZ, C.D. **Importância dos Metais pesados do solo na identificação e separação de materiais de origem**. Revista Ceres, N. 45, 260: 359-371, 1998

PEAKALL, D. & BURGER, J. (2003). Methodologies for assessing exposure to metals: speciation, bioavailability of metals, and ecological host factors. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 56, pp. 110-121

PEREIRA, Fabíola Manhas Verbi. *Quimiometria: aplicações e desafios analíticos*. Repositório Institucional UNESP - Araraquara/SP. 2022.

PIERONI, Juan Pedro et al. Avaliação do estado de conservação de nascentes em microbacias hidrográficas. **Geosciences= Geociências**, v. 38, n. 1, p. 185-193, 2019.

QUANTIN, C.; BECQUER, T.; BOUILLER, J. H.; BERTHELIN, J. Redistribution of metals in a New Caledonia Ferralsol after microbial weathering. *Soil Science Society of America Journal*, v.66, p.1797–1804, 2002

RIBEIRO, Marcos André do Côto et al. **Contaminação do solo por metais pesados**. 2013. Dissertação de Mestrado. Engenharia do Ambiente, Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias. Lisboa, 2013.

ROY, M.; GIRI, A. K.; DUTTA, S.; MUKHERJEE, P. Integrated phytobial remediation for sustainable management of arsenic in soil and water. **Environment International**, v. 75 p. 180-198, 2015.

OLIVEIRA, T.S. de; COSTA, L.M. da; CRUZ, C.D. **Importância dos Metais pesados do solo na identificação e separação de materiais de origem**. Revista Ceres, N. 45, 260: 359-371, 1998

SANTOS, E. A. **Dinâmica socioambiental do alto curso da bacia do Rio Una/PE**. 2013. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Sergipe, Sergipe, 2013.

Soares, A. **Geoestatística para as Ciências da Terra e do Ambiente**. Lisboa, 2, 2006.

SOMMER, M., HALM D., WELLER, U., ZAREI, M, & STAR, K. Lateral podzolization in a granitic landscape. Soil Science Society of America Journal, v.64, p. 1434–1442, 2000.

SOUZA, Ariadne Marra de. **Caracterização ambiental da bacia hidrográfica do Rio São Domingos a partir da análise geoquímica e isotópica Pb/Pb**. 2011. 123 f. Dissertação (Mestrado em Análise de Bacias;Tectônia, Petrologia e Recursos Minerais) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

VICINI, L. **Análise multivariada: da teoria à prática**. Santa Maria, RS – Brasil, 2005.

VIEIRA, S. R. **Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo**. In: NOVAIS, R. F., ALVARES, V. H.; SCHAEFER, G. R. (Ed.). Tópicos especiais em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 1, p. 1-54, 2000.

ZAABOUB, N., Martins, M. V. A., Terroso, D. L., Helali, M. A., Béjaoui, B., El Bour, M., Aleya, L. (2016). GEOCHEMICAL AND MINERALOGICAL FINGERPRINTS OF THE SEDIMENTS SUPPLY AND EARLY DIAGENETIC PROCESSES IN THE BIZERTE LAGOON (TUNISIA). Journal of Sedimentary Environments, 1(4).

5 **CAPÍTULO 2 - PERSPECTIVAS DE QUALIDADE E AVALIAÇÃO DO POTENCIAL PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO DAS ÁGUAS DE NASCENTES DE JUREMA, PE**

5.1. **Resumo**

A falta de acesso à água e as condições de qualidade limitadas são problemas que afetam o Brasil e o mundo. No estado de Pernambuco, em especial as microrregiões Agreste e Sertão, essa realidade é mantida, pois apresentam regimes pluviométricos baixos e espaçados, ocasionando adversidades relacionadas a escassez hídrica. Ao identificar uma região com pouca influência industrial e demanda hídrica baixa, cresce a especulação no seu potencial para suprir as necessidades de outros centros urbanos, isso ocorre com o município de Jurema – PE. O objetivo do estudo apoiado ao diagnóstico e monitoramento ambiental busca propor junto aos órgãos responsáveis uma melhor dinâmica de uso das águas como forma de compartilhamento. Utilizando dados públicos (CPRM – Serviço Geológico do Brasil) para poços artesianos e amostragem em campo para nascentes, obtiveram informações para estimar a qualidade e diagnosticar o sistema hídrico da área estudada. A condutividade elétrica (CE) e o potencial hidrogeniônico (pH), foram os parâmetros colocados em evidência. Os resultados dos mapas de geologia e pedologia, quando confrontados com os isotores de condutividade atestaram contribuições naturais a partir do material litológico indicando predominância de água com características salobras ou salinas em poços artesianos, impróprias para o consumo humano sem tratamento específico. Para as nascentes, observou um padrão de qualidade que permite o uso sem necessidade de alternativas complexas de tratamento, isso porque tanto o pH quanto a condutividade mantiveram valores dentro dos recomendados pela literatura para água doce. O uso da técnica de interpolação por krigagem se mostrou eficiente para apresentação dos resultados.

Palavras-chaves: Condutividade elétrica; Abastecimento hídrico; Escassez hídrica.

5.2. **Introdução**

Segundo uma estimativa da Organização Mundial da Saúde – OMS, realizada em 2022, mais de dois bilhões de pessoas sofrem com a falta de acesso à água potável, quantidade equivalente à $\frac{1}{4}$ da população mundial. Muitos fatores influenciam para o avanço desta problemática: As alterações climáticas que geram secas ou inundações; os poluentes que ameaçam a saúde humana e os ecossistemas; A urbanização e o crescimento populacional que

limitam a capacidade hídrica das cidades e a baixa qualidade dos serviços prestados nas zonas rurais (Jacobi, 2016).

No Brasil, de acordo com o relatório divulgado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA, entre os anos 2013 e 2016, aproximadamente 48 milhões de pessoas foram afetadas por secas ou estiagens. Em 2016, ano mais agravado pelo regime de chuvas, 18 milhões de habitantes foram incluídos nessa estatística, sendo 84% dos impactados residentes da região Nordeste (ANA, 2017).

No estado de Pernambuco, em especial as microrregiões Agreste e Sertão, essa realidade não é diferente, pois apresentam períodos prolongados de seca e escassez hídrica (Araújo, 2022). Essa situação não é ocasionada somente pelo déficit no regime pluviométrico anual, mas também pela má administração das companhias de abastecimento. Os estudos propostos por Figueredo (2023), destacam que nesta região, além da dificuldade com o estresse hídrico frequente, ainda há o enorme índice de perdas na distribuição, valores equivalentes a 50% do recurso, ou seja, metade da água tratada é perdida no abastecimento dessa região.

Entre as propostas contidas nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS traçados até 2030, está o acesso a água potável que visa assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável da água e saneamento para todos (ONU BR, 2015). Nesse viés, deve ser colocado em prática o princípio da equidade, com o propósito de garantir maior segurança em relação à água para todos. Em regiões que já sofrem com escassez hídrica, esse problema tende a ser intensificado, no entanto, estratégias alternativas de abastecimento podem vir a solucionar ou diminuir tal problemática.

Giampá & Gonçalves (2013) afirmam que a capacidade hídrica subterrânea no Brasil suporta o abastecimento de 80% das cidades do país, levando em consideração os usos prioritários estabelecidos pela Política Nacional de Recursos Hídricos sob lei nº 9.433 de 1997. As águas utilizadas nos processos industriais e irrigação podem possuir uma qualidade inferior àquelas oriundas da maior parte dos reservatórios subterrâneos, isso garante uma considerável economia de água potável.

Alguns pontos precisam ser ajustados para que se possa utilizar de maneira efetiva as águas subterrâneas no Brasil. A identificação de alternativas técnicas e econômicas dentro da jurisdição ou em áreas próximas à necessidade; A capacitação de gestores públicos e a intrusão de conhecimento sobre a forma de ocorrência dessas águas e suporte de profissionais especializados em hidrologia e sobre aspectos legais dos recursos hídricos.

O Código Florestal Brasileiro, lei nº 12.651 de 2012, apresenta as nascentes, as quais são definidas como: “afloramento natural do lençol freático que apresenta perenidade e dá início

a um curso d'água". A mesma legislação compreende a importância dessa fonte de recurso hídrico e assegura sua proteção, tornando-a área de preservação permanente, exigindo a manutenção de toda sua vegetação em um raio de até 50 metros do ponto de afloramento. A nascente é uma das alternativas associadas ao uso de águas subterrâneas, porém, sua utilização acontece sem a necessidade de escavação, pois o afloramento hídrico acontece de forma espontânea (Montes, 2020).

No agreste pernambucano, por volta dos anos 1887, já se utiliza água de nascentes para abastecimento da comunidade que se desenvolvia em torno da linha férrea (Soares, 2013). Em meio aos problemas ambientais que surgiam, nos anos de 1950 as nascentes supriam a demanda da segunda maior indústria extrativista de água mineral do Estado de Pernambuco, localizada em Garanhuns (IBGE, 1959).

Com o desafio de analisar todos os parâmetros físico-químicos e microbiológicos, assim como de obter uma grande variedade de informações públicas, surgiu a possibilidade, baseada em estudos geoestatísticos, de estimar a potencial qualidade das águas do município de Jurema – PE, relacionando-os com aspectos geológicos e pedogenéticos, utilizando dados de condutividade elétrica e pH em poços artesianos e nascentes. Com esta prerrogativa, o estudo pretende alinhar o diagnóstico da qualidade das águas subterrâneas e de nascentes com possíveis alternativas que criem perspectivas de mitigação da problemática da escassez hídrica na região do agreste pernambucano.

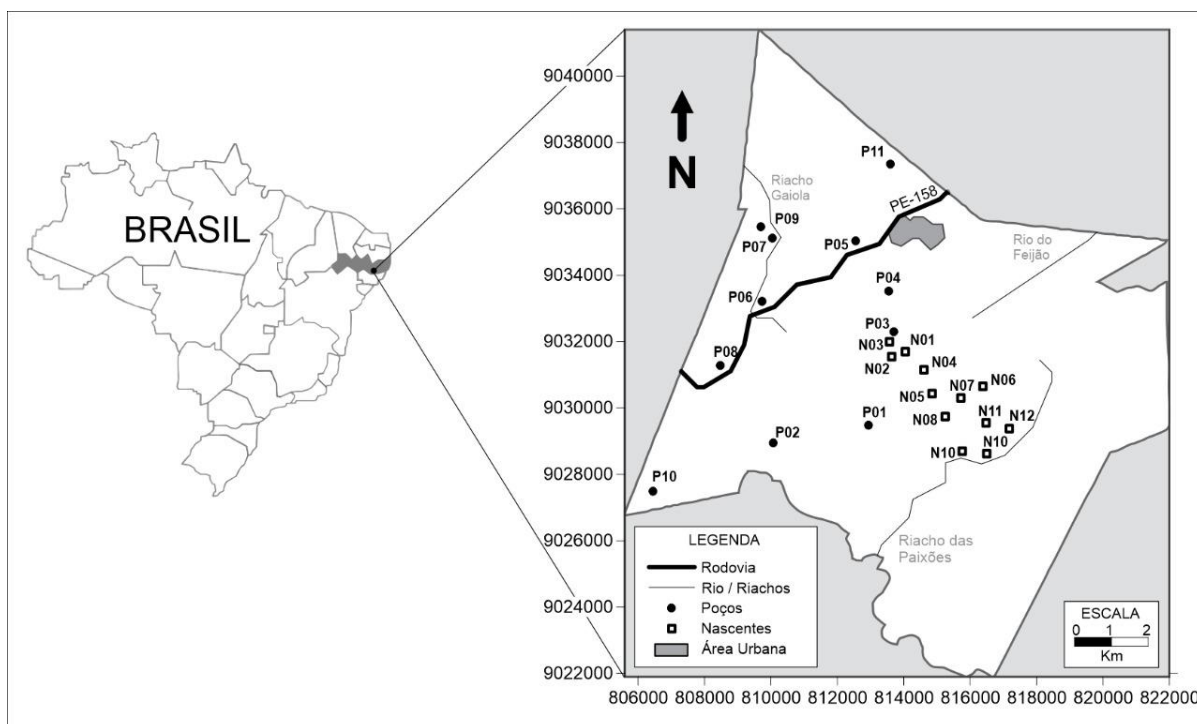
5.3. Material e Métodos

5.3.1. Área de Estudo

O município de Jurema (figura 7), está localizado na mesorregião Agreste e na Microrregião Garanhuns do estado de Pernambuco, limitando-se a norte com Panelas, a sul com Canhotinho, a leste com Quipapá, e a oeste com Ibirajuba. A área municipal ocupa 148,254 km² e representa 0.15% do estado, com uma população aproximada de 13.648 habitantes (IBGE, 2022).

A sede do município tem uma altitude aproximada de 723 metros e coordenadas geográficas Latitude: -8.72 e Longitude: -36.14, a uma distância de 204,1 km da capital Recife, cujo acesso é feito pela BR-232/104; PE-158.

Figura 7. Mapa de localização de Jurema - PE



Fonte: Autor, (2024)

5.3.2. Aspectos Geológicos, Pedológicos e Geoambientais

Geologicamente, o município de Jurema encontra-se inserido na Província Borborema, sendo constituído pelos litotipos da Suíte Intrusiva Leucocrática Peraluminosa, representada por leucogranitóide a duas micas com granada e cordierita (CPRM, 2008).

De uma maneira geral, são rochas cujas geoquímica e petrologia apresentam, na sua composição, uma baixa concentração de alumínio (Al) de tal forma que o somatório das concentrações de sódio (Na) e potássio (K) estejam em excesso em relação ao necessário para permitir a formação de feldspatos. A presença desse grupo de rochas sugere processos geológicos associados à vulcanismos (CPRM, 2005).

Quanto ao tipo de solo, existe uma variação de acordo com a altitude da área que se deseja conhecer. Segundo a classificação apresentada no diagnóstico do município de Jurema, CPRM (2005), em superfícies suaves onduladas, há ocorrência dos *planossolos*, medianamente profundos, fortemente drenados, ácidos a moderadamente ácidos e ainda os argissolos, que são profundos, textura argilosa, e fertilidade natural média a alta. Já nas elevações ocorrem os neossolos litólicos, rasos, textura argilosa e fertilidade natural média. Nos vales dos rios e riachos, ocorrem os planossolos, medianamente profundos, imperfeitamente drenados, textura média/argilosa, moderadamente ácidos, fertilidade natural alta e problemas de sais.

5.3.3. Amostragem dos Poços e Nascentes

O sistema de informações de águas subterrâneas - SIAGAS, desenvolvido pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM, informa sobre aspectos geológicos, hidrogeológicos, e análises químicas de diversos poços por todo o território nacional. Assim, destacaram-se os pontos na região de interesse, município de Jurema – PE, P01 ao P11 (figura 7).

Quanto às nascentes, foram coletados em campo doze pontos selecionadas ao longo da extensão territorial do município, (N01 ao N12) (figura 7), em uma única campanha, no período seco, no mês de março de 2024. Utilizaram o equipamento Medidor Multiparâmetro modelo AK88 que realiza medições de vários parâmetros da água simultaneamente como: pH, condutividade elétrica, salinidade, oxigênio dissolvido, Sólidos Dissolvidos Totais - STD e temperatura.

As características referentes à condutividade elétrica (CE) e pH dos dez poços (P01 ao P11) e doze nascentes (N01 a N12) foram tabuladas para verificações estatísticas e associações com mapas digitais.

Verificou-se, in loco, a condutividade elétrica da água, que se trata de um parâmetro capaz de atestar a capacidade da água conduzir corrente elétrica. Esta propriedade está relacionada a quantidade de sais presentes, ou seja, quando há uma condutividade elétrica elevada, evidentemente haverá maiores quantidades de sais (cátions e ânions) Vasconcelos, (2019).

Do mesmo modo, verificou-se os dados de pH para cada ponto estudado. O pH (potencial hidrogeniônico) indica a concentração de íons hidrogênio (H^+) no meio, sua classificação varia em neutro quando $pH = 7$, ácido < 7 ou alcalino $pH > 7$. Este parâmetro é indispensável na análise da qualidade da água, além de possuir função fundamental em diferentes processos vitais (Koch, 2017; Silva; Brito, 2020).

5.4. Resultados e Discussão

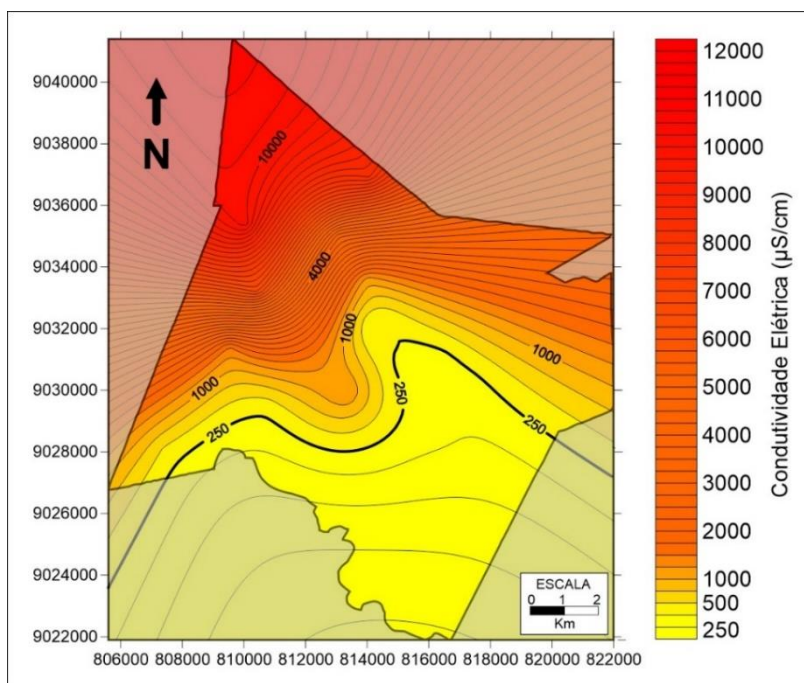
Com o propósito de atestar a qualidade de uma determinada água para abastecimento, é importante conhecer diferentes parâmetros físico-químicos e microbiológicos, como subsídios para julgá-la potável ou não. Tais indicadores são dispostos em legislação e devem ser seguidos criteriosamente, como a exemplo da Portaria 888 de 2021 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2021).

Sabendo que a condutividade elétrica observada de forma isolada não é capaz de garantir informações suficientes que ateste potabilidade da água, compreende-se que este parâmetro

possui significativa relevância pois vincula-se ao teor de salinidade, característica útil para muitos mananciais subterrâneos. Libânio, (2010) destaca a importância de estudar este parâmetro em regiões susceptíveis a elevadas taxas de evaporação e baixa intensidade pluviométrica, como o caso de Jurema, incluído na Região Nordeste do país.

O mapa de isoteores disposto na figura 8, apresenta o comportamento do índice de condutividade elétrica (CE) na região geográfica do município em estudo. A unidade de medida utilizada para CE trata-se do $\mu\text{S}/\text{cm}$ (microsiemens por centímetro), variando, nessas condições de 250 a 12.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Figura 8. Mapa de isoteores da condutividade elétrica na área de estudo



Fonte: Autor, (2024)

Citada anteriormente, a Portaria do Ministério da Saúde nº 888 é a principal legislação brasileira que normatiza sobre a vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Entretanto, a legislação não estabelece limites para a CE em águas para consumo humano, isso porque este parâmetro, por si só, não é diretamente relacionado à saúde humana, apenas apresenta indícios de sais, minerais e outros compostos dissolvidos.

Portanto, ao invés de estabelecer um limite específico para a CE, a legislação se concentra em limites para substâncias específicas, que apesar de influenciarem de maneira direta na CE, têm impactos comprovados na saúde, enquanto a CE se caracteriza como uma

característica de monitoramento auxiliar, sendo utilizada de forma técnica para tomada de decisões.

Entretanto, alguns autores apresentam perspectivas diferentes quanto a parametrização da condutividade elétrica, baseado não necessariamente apenas em saúde pública, mas em valores que podem ser refletidos em indicativos de qualidade a partir de uma análise temporal de outras fontes hídricas. São com essas propostas que serão discutidas as hipóteses desse estudo.

Para Libânio, (2010) águas naturais apresentam usualmente condutividade elétrica inferior a 100 uS/cm, podendo atingir 1000 uS/cm em corpos d'água receptores de elevadas cargas de efluentes domésticos e industriais (Libânio, 2010). Portanto, considera-se a contribuição de Sólidos Totais Dissolvidos – STDs, como um fator preponderante sob a condutividade elétrica da água.

O estudo desenvolvido por (Silva; Almeida e Fernandes, 2002) estima três classes de valores de condutividade, escolhidos para expressar água doce ($CE \leq 500 \mu S/cm$), salobra ($1.000 \mu S/cm < CE \leq 2.500 \mu S/cm$) e salgada ($CE > 2.500 \mu S/cm$). Nesse quesito, considera-se água própria para o consumo humano, aquela com CE até 500 $\mu S/cm$, característica no qual está apresentado a parcela sul do mapa da figura 7, região contida à montante da sede do município, evidentemente livre de contribuição antrópica urbana.

Seguido a estimativa de classes proposta no parágrafo acima, toda região norte do município de Jurema possui características de água salgada, quando ($CE > 2.500 \mu S/cm$). Existe nessa região a predominância apenas de poços artesianos, os quais são representados na figura 7 como: (P05, P06, P07, P08, P09 e P11). Libânio (2010), aponta a possibilidade do aumento da CE a partir da intrusão de matéria orgânica por efluentes sanitários. Assim, não se descarta essa possibilidade, pois há presença de atividades antrópicas no entorno dos pontos amostrados.

As amostras de nascentes constatarem um equilíbrio positivo quanto aos índices de condutividade elétrica. Observando os valores contidos no gráfico de isoteores, infere-se que na região central do mapa, a água se encontra na classe doce ($CE \leq 500 \mu S/cm$), isso pode ser considerado benéfico para a qualidade do recurso hídrico (Silva; Almeida e Fernandes, 2002). Entre as doze nascentes amostradas, cinco delas mantiveram próximas ao intervalo de 100 uS/cm, configurando águas naturais sob entendimento de Libânio (2010). Isso é muito importante, principalmente por estar localizado em uma área de fácil acesso para a comunidade usuária do recurso, tornando-se uma fonte alternativa de água para municípios vizinhos.

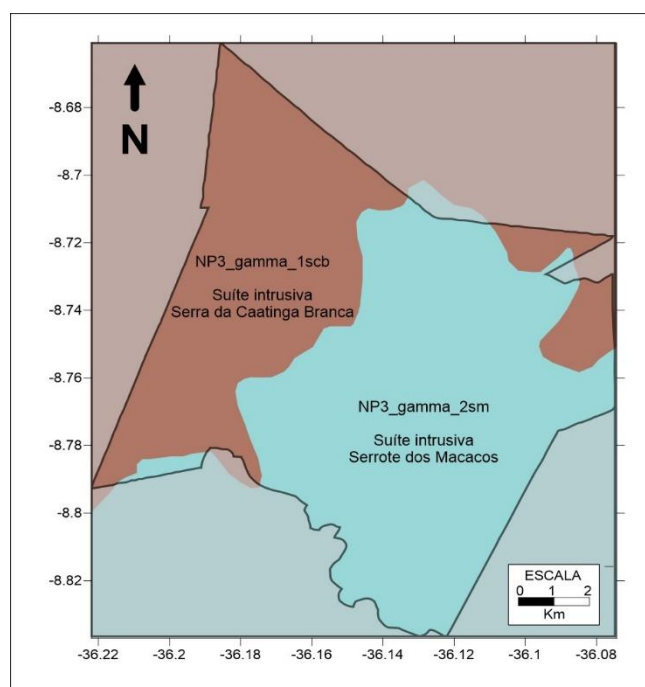
Considerando essa grande variação na CE entre poços e nascentes em um município com área territorial relativamente pequena, aproximadamente 148,254 km² (IBGE, 2022),

surgiu a hipótese de existir contribuição antrópica e/ou natural de sais na água dos poços da região.

A afirmação de uma possível influência antrópica pode ser dita como subjetiva, visto que não existem estudos complementares capazes de garantir tal proposição, mas não se deve descartar esta possibilidade, tendo em vista as acusações feitas pelos autores supramencionados.

Para fazer alegações sobre as contribuições naturais de sais no sistema hídrico subterrâneo, buscaram compreender a classificação geológica e pedogenética presente na área de influência do estudo. Para isso foram desenvolvidos os mapas de geologia e solos, descritos nas figuras 9 e 10.

Figura 9. Mapa da classificação geológica do município de Jurema



Fonte: Autor, (2024)

O mapa de classificação geológica apresenta dois grupos de rochas formados com material de origem distintos na mesma região geográfica. Essa diferença na litologia, pode ser responsável por alterar a composição ou a qualidade das águas presentes nos poços da área deste estudo.

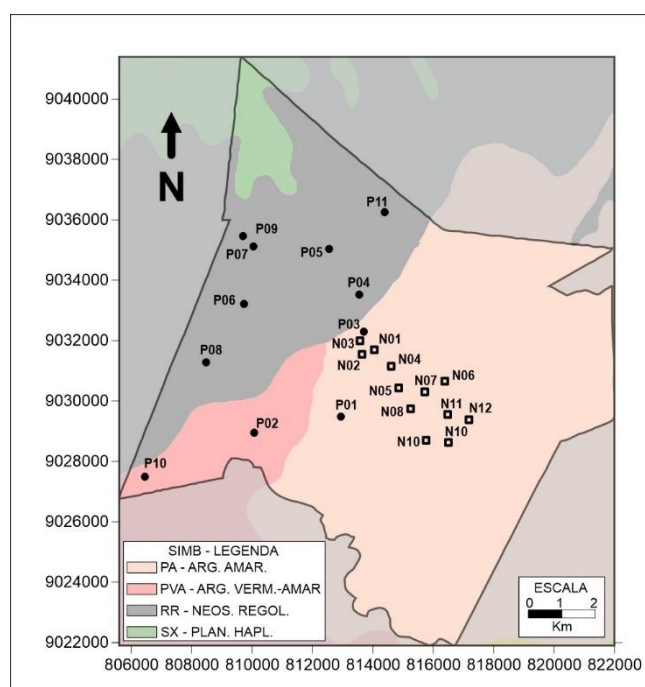
A variação hidroquímica das águas subterrâneas, em rochas cristalinas, que percorrem fraturas e fissuras é influenciada pelo aumento da temperatura e pressão, ocasionando valores diversos para as concentrações químicas (CPRM, 2008). Todos os pontos: P05, P06, P07, P08, P09 e P11 estão incluídos no domínio da suíte intrusiva serra da caatinga branca, suas rochas

apresentam granulação de média a grossa e equigranulares, coloração rosa e composição granada – sienogranito, altamente resistente ao intemperismo. Com as evidências, acredita-se que os ambientes com essa classificação litológica contribuem com o aumento da condutividade elétrica da água a partir da liberação de sais.

Entretanto, os estudos realizados por Arcova, Cesar e Cicco (1998) e Arcova & Cicco (1999), mostraram que a condutividade elétrica em águas de áreas florestadas foi baixa. Assim, os pesquisadores atribuíram influência a geologia do local, constituída por rochas resistentes ao intemperismo, como granitos e gnaisses. Para os pesquisadores, a condutividade elétrica não sofre aumento significativo em ambientes com esses materiais de origem, o que contradiz com a hipótese apresentada nesta pesquisa, pois o contraditório fica esclarecido a partir da análise comparativa entre o mapa geológico (figura 9) e o mapa de distribuição de isoteores (figura 8).

Ainda com o objetivo de compreender a relação da condutividade elétrica com o ambiente natural, foi desenvolvido o mapa pedológico do município, o qual apresentou uma variação entre quatro principais tipos de solos, predominando em ordem decrescente: Argissolo amarelo, argissolo vermelho-amarelo, neossolo regolítico e planossolo háplico.

Figura 10. Mapa da classificação pedológica do município de Jurema



Fonte: Autor, (2024)

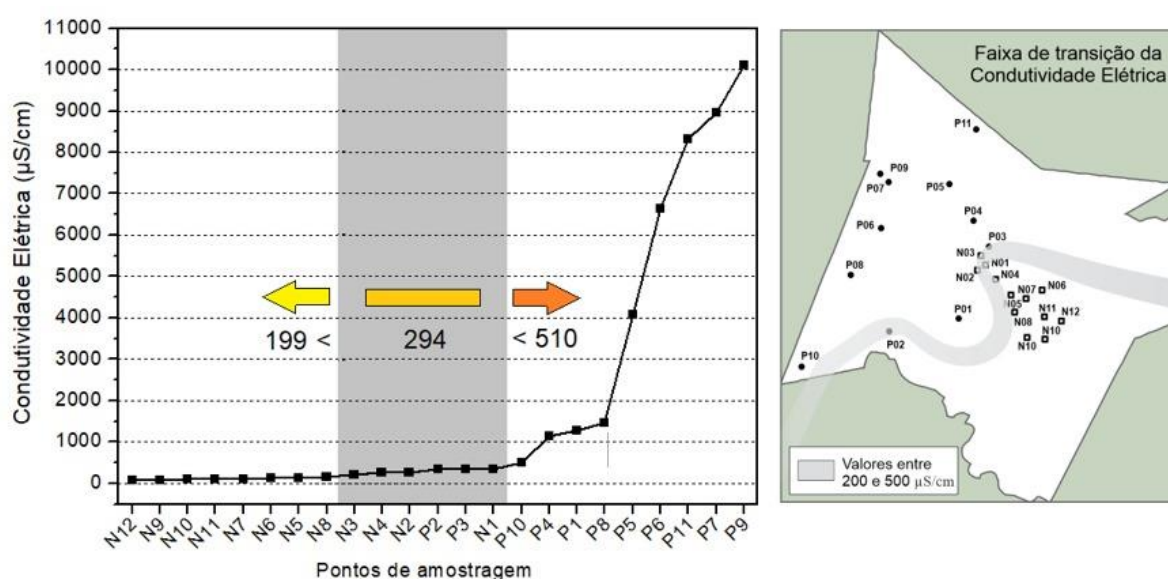
Os mesmos pontos: P04, P05, P06, P07, P08, P09 e P11, que foram apresentados com altos valores de condutividade elétrica (figura 8), estão contidos na região superior do mapa pedológico em uma área do solo classificada como neossolo regolítico. Esses solos possuem grandes ocorrências no Agreste e no Sertão pernambucano. Em sua caracterização, possuem textura arenosa e baixa variação ao longo do perfil. Eles formam horizontes A e C, pouco desenvolvidos, sem muita profundidade e de fácil intemperização. (Brasil, 1973).

Tomando como referência a região em que estão contidos os poços, percebe-se uma variação quanto a classificação dos solos, pois todas as amostras de nascentes estão inseridas em um domínio de solo argiloso amarelo. Essa diferenciação de perfil pedológico pode contribuir ou não com a condutividade elétrica da água que dela aflora.

Marmontel e Rodrigues (2015), observaram evidências sobre a influência da condutividade elétrica quanto ao estado de conservação das nascentes. Enquanto algumas nascentes protegidas mantinham os valores de CE baixos, outras na mesma circunstância possuíam altos níveis de CE. Assim, tanto Marmontel e Rodrigues (2015) como Arcova & Cicco (1999) afirmam que a proteção das nascentes com vegetação ciliar não influencia diretamente sobre este parâmetro. Assim, reforça a ideia de que o material de origem do solo atua fortemente sobre a condutividade elétrica.

O gráfico na figura 11 apresenta a zona de transição entre os valores obtidos e foi elaborado a fim de compreender o comportamento da CE entre os poços e nascentes.

Figura 11. Gráfico de transição dos pontos de amostragem avaliados



Fonte: Autor, (2024)

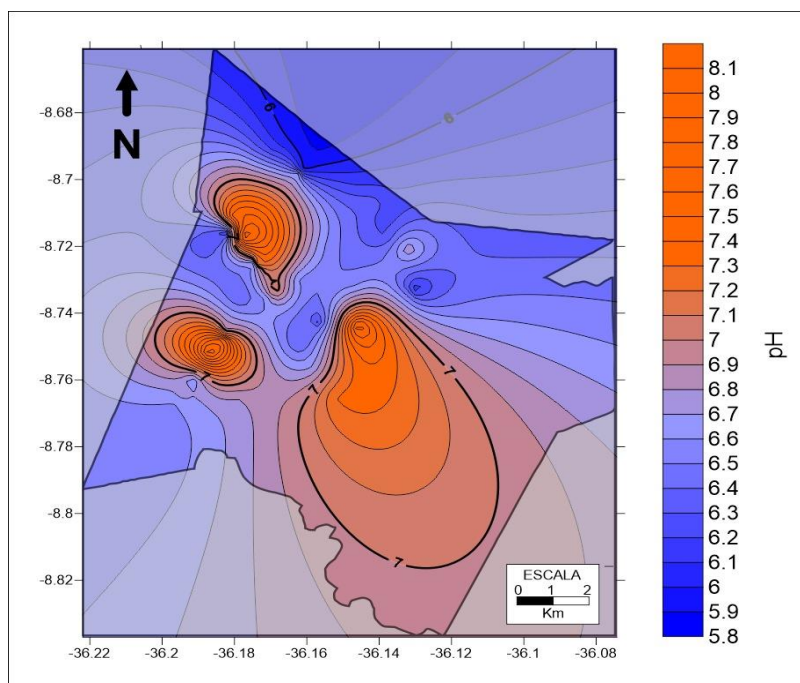
Cordeiro (2003), dividiu a condutividade elétrica da água em quatro classes: salinidade baixa, salinidade média, salinidade alta e salinidade muito alta, respectivamente 250, 750 e 2.250 microsiemens/cm. Baseado nesta distribuição, ficou estabelecido com o presente estudo, os valores abaixo de 199 como áreas de baixa CE, acima de 510 alta CE e entre esses intervalos, condutividade elétrica intermediária.

A Zona de Transição incluiu seis pontos de amostragem contidos na região geográfica, sendo quatro nascentes (N01, N02, N03 e N04) e dois poços artesianos (P02 e P03). Essa zona define os valores intermediários para CE, que podem configurar como área de interseção entre baixa e alta CE.

Com essas informações, é possível tomar decisões fundamentadas sobre o uso do solo e dos recursos hídricos para diversas atividades. Por exemplo, pode-se estimar o potencial da qualidade da água antes da perfuração de um poço, ou planejar o cultivo de diferentes culturas que se adequem melhor às condições específicas da região.

A figura 12 mostra por meio do mapa de isotores, o comportamento do pH na região geográfica do município estudado.

Figura 12. Mapa de isotores da distribuição do pH no município de Jurema



Fonte: Autor, (2024)

A partir do mapa de isotores, é possível identificar áreas com comportamentos contrastantes, embora nenhuma esteja fora dos padrões estabelecidos por lei. Isso geralmente

ocorre devido à alta variabilidade dos componentes naturais presentes no ambiente. A Resolução CONAMA nº 357 de 2005 estabelece que o pH deve estar entre 6 e 9 para ser considerado dentro do padrão de qualidade para águas de classe especial, adequadas para o consumo humano. O mapa de isoteores (figura 12) confirma a normalidade desse parâmetro, uma vez que as regiões de maior incidência não superam os níveis de neutralidade, atestando assim a acidez ou alcalinidade da água.

Derísio (2000), aponta que os despejos industriais e domésticos são os fatores que mais influenciam nas alterações referentes ao pH. Isso por causa da intensa carga que matéria orgânica presente nesses efluentes. Evidentemente, não é o caso configurado neste estudo com base no pH de forma isolada.

5.5. Conclusões

O uso da técnica de interpolação por krigagem se mostrou eficiente para exploração dos dados e apresentação dos resultados. Foi possível definir curvas de isoteores para condutividade elétrica e pH, e em seguida confrontá-los com a literatura e legislação nacional.

Não foi possível afirmar objetivamente que o uso do solo está associado positivo ou negativamente sobre o parâmetro da condutividade elétrica.

Os parâmetros de pH e condutividade elétrica, quando observados separadamente, são capazes de definir áreas com influência natural de acordo com a apresentação dos pontos amostrais e das cartas geográficas, entretanto, podem dificultar a interpretação dos resultados por contribuição antrópica, pois esta é dependente de outros indicadores.

Os resultados finais deste estudo evidenciam a criação de ferramentas essenciais para a gestão pública e para a sociedade na tomada de decisões referentes à seleção de áreas adequadas para a instalação de poços. Essa seleção, fundamentada em parâmetros físico-químicos da água, pode garantir a viabilidade e a sustentabilidade do uso dos recursos hídricos, com benefícios significativos para a saúde humana e ambiental.

As nascentes de Jurema apresentam grandes potenciais de qualidade quando verificados os parâmetros de condutividade elétrica e pH, entretanto, restam estudos adicionais para verificar se o potencial de vazão é capaz de suprir a demanda hídrica da região.

A baixa densidade amostral pode ser um fator limitante na apresentação de resultados ainda mais precisos, sugere, portanto, a expansão dos pontos de coleta em outros poços artesianos e nascentes, buscando alternar a situação topográfica e as características geológicas e pedogenéticas na própria região.

5.6. Referências

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA, 2017. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil**. Brasília – DF, 2017.

ARAÚJO, M. das D. S.; MORAES, A. S.; TAVARES, A. R.; LIMA, R. P.; MORAIS, D. P.; MEDEIROS, R. M. Estratégias para áreas de escassez hídrica utilizando isoietas mensais e anuais na Bacia Hidrográfica do rio Una – Pernambuco, Brasil. **Conjecturas**, [S. l.], v. 22, n. 12, p. 1039–1053, 2022. DOI: 10.53660/CONJ-1620-2E66.

ARCOVA, F. C. S.; CESAR, S. F.; CICCIO, V. de. QUALIDADE DA ÁGUA EM MICROBACIAS RECOBERTAS POR FLORESTA DE MATA ATLÂNTICA, CUNHA, SP. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 10, n. 2, p. 185–196, 1998. DOI: 10.24278/2178-5031.1998102551. Disponível em: <https://rif.emnuvens.com.br/revista/article/view/551>. Acesso em: 17 jun. 2024.

ARCOVA, F. C. S; CICCIO, V. Qualidade da água de microbacias com diferentes usos do solo na região de Cunha, estado de São Paulo: water quality in small watersheds with different land. **Scientia florestals, Piracicaba**, v. 56, p. 125134, 1999.

BRASIL. **Lei n. 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. 2012. Diário Oficial da União, Brasília, DF, Ano CXLIX, n. 102, Seção 1, p.1. 2012.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado de Pernambuco**. V. 1. Recife: Sudene, 1973, 359p. (Boletim Técnico, 26).

BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. **Portaria Nº 888, de 04 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade**. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>. Acesso em: 17 de jun. 2024.

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 nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da União, Brasília, 1997.

CORDEIRO, G. G. Salinidade em áreas irrigadas. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2003. 32 p.

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais / Serviço Geológico do Brasil. **Nota Explicativa da Folha Garanhuns**. Brasília, 2008. 74 p

CUNHA, Gilberto Rocca da et al. Dinâmica do pH da água das chuvas em Passo Fundo, RS. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p. 339-346, 2009.

CUNHA, Gilberto Rocca da et al. Dinâmica do pH da água das chuvas em Passo Fundo, RS. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p. 339-346, 2009.

Derísio JC. **Introdução ao controle de poluição ambiental**. 2nd ed. São Paulo: Signus; 2000

FIGUEIREDO, A. A. O. et al. Avaliação e potencial de redução de perdas de água em cidades do Estado de Pernambuco com escassez hídrica e abastecimento intermitente. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 8, n. 3, p. 212-225, 2023.

GIAMPÁ, C. E. Q. ; GONÇALES, V. G. **Águas subterrâneas e poços tubulares profundos**. 2.ed. e atualizada – São Paulo: oficina de texto, 2013. 496p.

IBGE – Instituto Brasileiro de geografia e Estatística. Censo Demográfico 2022: Panorama, 2022. Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/> Acessado em 17 de jun de 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Monografia de Garanhuns. Rio de Janeiro: Serviço Gráfico do IBGE, 1959.

JACOBI, Pedro Roberto; EMPINOTTI, Vanessa Lucena; SCHMIDT, Luisa. Escassez hídrica e direitos humanos. **Ambiente & Sociedade**, v. 19, p. 00-00, 2016.

KOCH, Fábio Fernandes et al. Análise de água superficial para consumo humano em um município do Rio Grande do Sul. **Caderno Pedagógico**, v. 14, n. 1, 2017.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água**. 4. ed. Campinas: Átomo, 2010. 640 p

MARMONTEL, Caio Vinicius Ferreira; RODRIGUES, Valdemir Antonio. Parâmetros indicativos para qualidade da água em nascentes com diferentes coberturas de terra e conservação da vegetação ciliar. **Floresta e ambiente**, v. 22, p. 171-181, 2015.

MONTES, Victor Machado. Gestão de recursos hídricos e a gestão de águas minerais: uma análise dos aspectos legais e da integração institucional. 2020. 145 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

ONU BR – NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL – ONU BR. A Agenda 2030. 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/> Acessado em 17 de jun de 2024.

SILVA, F; ALMEIDA, M; FERNANDES, A. Hidroquímica de águas subterrâneas do cristalino no trópico semi-árido nordestino, Brasil. Braga, 2002

SILVA, Maurício Santos; BRITTO, Fabio Brandao. IMPORTÂNCIA DA QUALIDADE DA ÁGUA DOS RESERVATÓRIOS DE ESTABELECIMENTOS COMERCIAIS PÚBLICOS E PRIVADOS. **Anais da Semana Nacional de Ciência e Tecnologia (SNCT) do IFS**, v. 2, n. 1, p. 301-304, 2020.

SOARES, Antonio Benevides; SANTOS, Clélio Cristiano dos; CAVALCANTI, Marcelo Antunes. Problemática socioambiental urbana na nascente Pau Amarelo em Garanhuns-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 5, p. 1140-1157, 2013.

VASCONCELOS, Mickaelon Belchior et al. Aplicação da condutividade elétrica da água nos estudos hidrogeológicos da região Nordeste do Brasil. **XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos** (ISSN 2318-0358), Foz do Iguaçu. 2019.

6 CONCLUSÕES GERAIS

O diagnóstico geoambiental da região hidrográfica do Rio Una e do município de Jurema, no estado de Pernambuco, possibilitou inferir sobre as condições ambientais relativas à água, ao solo e aos sedimentos. Por meio de estudos detalhados, foi realizada uma análise espacial dos teores de metais pesados presentes na bacia hidrográfica, bem como dos parâmetros físico-químicos no município em questão.

A interpolação pelo método geoestatístico de krigagem apresentou resultados satisfatórios, proporcionando informações confiáveis sobre os níveis geoquímicos em áreas não amostradas. Dessa forma, pode-se afirmar que a quimiometria constitui uma alternativa viável quando associada à apresentação dos resultados obtidos no processo de monitoramento ambiental.

Com o desenvolvimento da pesquisa, foram identificados desafios para a realização do processo de monitoramento ambiental em áreas de acesso privado. O baixo grau de instrução da sociedade gera incompreensão acerca do propósito da pesquisa, resultando em morosidade no processo. Diante disso, reconhece-se a necessidade de associar o estudo do monitoramento ambiental a atividades de educação ambiental, visando fortalecer o apoio da comunidade às práticas ecológicas.

A pesquisa revelou a necessidade de uma atuação efetiva da gestão pública em colaboração com atividades científicas, com o objetivo de fundamentar as tomadas de decisão em prol do benefício comum. Com embasamento científico, o poder público, tanto municipal quanto estadual, pode deliberar sobre a perfuração de poços em pontos estratégicos, o isolamento ou a recuperação de nascentes e a implementação de campanhas de reflorestamento.

A partir desse estudo, propõe-se ao poder legislativo federal o estabelecimento de condicionantes a serem impostas ao novo Código Florestal, visando à realização do monitoramento ambiental de água, solos e sedimentos como forma de garantir efetivamente a proteção das nascentes, especialmente aquelas que se encontram em bom estado de conservação. Essa medida tem como objetivo manter as características e condições de uso dessas nascentes para as gerações presentes e futuras.

REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA, 2017. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil**. Brasília – DF, 2017.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry [ATSDR]. (2005). *Toxicological profile for nickel*. Atlanta, GA: US Department of Health and Human Services. Acessado em 03 de dezembro, 2022 de ATSDR em <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp15.pdf>. 397p.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry [ATSDR]. (2007). *Toxicological profile for arsenic*. Atlanta: US Department of Health and Human Services. Acessado em 02 de dezembro de 2022 ATSDR em <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp2.pdf>. 559p

ALONSO, D. L.; LATORRE, S.; CASTILLO, E.; BRANDÃO, P. F. B.; Environmental occurrence of arsenic in Colombia: A review. **Environmental Pollution**, v. 186, p. 272-281, 2014.

ARAÚJO, M. das D. S.; MORAES, A. S.; TAVARES, A. R.; LIMA, R. P.; MORAIS, D. P.; MEDEIROS, R. M. Estratégias para áreas de escassez hídrica utilizando isoietas mensais e anuais na Bacia Hidrográfica do rio Una – Pernambuco, Brasil. **Conjecturas**, [S. l.], v. 22, n. 12, p. 1039–1053, 2022. DOI: 10.53660/CONJ-1620-2E66.

ARCOVA, F. C. S.; CESAR, S. F.; CICCIO, V. de. QUALIDADE DA ÁGUA EM MICROBACIAS RECOBERTAS POR FLORESTA DE MATA ATLÂNTICA, CUNHA, SP. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 10, n. 2, p. 185–196, 1998. DOI: 10.24278/2178-5031.1998102551. Disponível em: <https://rif.emnuvens.com.br/revista/article/view/551>. Acesso em: 17 jun. 2024.

ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V. Qualidade da água de microbacias com diferentes usos do solo na região de Cunha, estado de São Paulo: water quality in small watersheds with different land. **Scientia florestals**, Piracicaba, v. 56, p. 125134, 1999.

BARBOSA, L. M. Considerações Gerais e Modelos de Recuperação de Formações Ciliares. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO-FILHO, H. F. (Ed.). **Matas Ciliares: conservação e recuperação**. 2ª ed. São Paulo: Edusp/Fapesp, 2009. 320p.

BARROS, Yara Jurema et al. Indicadores de qualidade de solos de área de mineração e metalurgia de Chumbo: II-Mesofauna e plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1413-1426, 2010.

BIONDI, C. M.; NASCIMENTO, C. W. A.; NETA, A. B. F.; RIBEIRO, M. R. Teores de Fe, Mn, Zn, Cu, Ni e Co em solos de referência de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1057-1066, 2011.

BRANCHI, Bruna Angela. Sustentabilidade de bacias hidrograficas e índices compostos: Aplicação e desafios. **Sociedade & Natureza**, v. 34, p. e63868, 2022.

BRASIL. **Lei n. 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. 2012. Diário Oficial da União, Brasília, DF, Ano CXLIX, n. 102, Seção 1, p.1. 2012.

BRASIL. Lei n. 4.771, de 15 de setembro de 1965: Institui o novo Código Florestal. **DOU de 16.9.1965**. Brasília, DF. 1965.

BRASIL. **Lei nº 6.938 de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília, 1981. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm Acesso em 14/06/2024.

BRASIL. **Lei nº 9433, 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 nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 1997.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado de Pernambuco**. V. 1. Recife: Sudene, 1973, 359p. (Boletim Técnico, 26).

BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. **Portaria Nº 888, de 04 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade**. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>. Acesso em: 17 de jun. 2024.

BRASIL. Supremo Tribunal Federal. **Ação Direta de Inconstitucionalidade (ADI) nº 4.903 de 2018**. Relatora: Ministra Cármen Lúcia. Brasília, DF. Diário Oficial da União de 06/03/2018 (p. 3, col. 2).

Canadian Council of Ministers of the Environment. [CCME] (1999a). Canadian soil quality guidelines for the protection of environmental and human health: Chromium. 11p

Canadian Council of Ministers of the Environment. [CCME] (1999b). Canadian soil quality guidelines for the protection of environmental and human health: Zinc. 6p.

CARMO, Laila Gonçalves; FELIPPE, Miguel Fernandes; JUNIOR, Antônio Pereira Magalhães. Áreas de preservação permanente no entorno de nascentes: conflitos, lacunas e alternativas da legislação ambiental brasileira. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 34, n. 2, p. 275-293, 2014.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Decisão de Diretoria 045/2014/E/C/I, de 20-02-2014**. Dispõe sobre a aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo. São Paulo, 2014.

CHADWICK, O.A.; BRIMHALL, G.H. & HENDRICKS, D.M. From a black to a gray box - a mass balance interpretation of pedogenesis. *Geomorphology*, 3:369-390, 1990.

CHAVES, E.V. **Absorção de metais pesados de solos contaminados do aterro sanitário e pólo industrial de Manaus pelas espécies de plantas Senna multijuga, Schizolobium amazonicum e Caesalpinia echinata**. Tese (Doutorado). Manaus: UFAM, 2008. 100 p

CHIRENJE, T.; MA, L. Q.; CHEN, M; ZILLIOUX, E. J. Comparison between background concentrations of arsenic In urban and non-urban areas of Florida. **Advances in Environmental Research**, v. 8, p. 137-146, 2003.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 303, de 2002. **Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente**. Brasília, 2002.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 344, de 20 de março de 2004. **Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos mínimos para a avaliação do material a ser dragado em águas jurisdicionais brasileiras, e dá outras providências**. Brasília, 2004.

CORDEIRO, G. G. Salinidade em áreas irrigadas. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2003. 32 p.

COSTA, Fabiane Hilário dos Santos; SOUZA FILHO, Carlos Roberto de; RISSO, Alfonso. Modelagem espaço-temporal da erosão e potencial contaminação de Arsênio e Chumbo na bacia hidrográfica do rio Ribeira de Iguape (SP). **Revista Brasileira de Geociências**. Vol. 39, n. 2 (jun. 2009), p. 338-349, 2009.

COSTA, S. et al. Avaliação do potencial de bioacumulação de Cromo em plantas de girassol. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 14, n. 2, p. 515-522, 2021.

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais / Serviço Geológico do Brasil. **Nota Explicativa da Folha Garanhuns**. Brasília, 2008. 74 p

CUNHA, Gilberto Rocca da et al. Dinâmica do pH da água das chuvas em Passo Fundo, RS. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p. 339-346, 2009.

DERÍSIO J.C. **Introdução ao controle de poluição ambiental**. 2nd ed. São Paulo: Signus; 2000

EMMETT BA, HUDSON JA, COWAR DPA, REYNOLDS B. The impact of a riparian wetland on streamwater quality in a recently afforested upland catchment. **Journal of Hydrology** 1994; 162(3-4): 337-353. [http://dx.doi.org/10.1016/0022-1694\(94\)90235-6](http://dx.doi.org/10.1016/0022-1694(94)90235-6).

FERNANDÉZ, Z. H. **Análise de metais pesados em solos de Pernambuco com diferentes atividades antrópicas**. 2017. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares.

FIGUEIREDO, A. A. O. et al. Avaliação e potencial de redução de perdas de água em cidades do Estado de Pernambuco com escassez hídrica e abastecimento intermitente. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 8, n. 3, p. 212-225, 2023.

Gerrits L. & Edelenbos J. 2004: Management of sediments through stakeholder involvement - The risks and value of engaging stakeholders when looking for solutions for sediment related problems. *Journal of Soils and Sediments*, 4(4):239-246

GIAMPÁ, C. E. Q.; GONÇALES, V. G. **Águas subterrâneas e poços tubulares profundos**. 2.ed. e atualizada – São Paulo: oficina de texto, 2013. 496p.

GOLDSCHMIDT, V.M. *Geochemistry*. Oxford University Press. Oslo. 1958. 730 p.
 HEILBRON, M., MACHADO, N. Timing of terrane accretion in the Neoproterozoic–Eopaleozoic Ribeira orogen (SE Brazil). *Precambrian Research*. v.125. p. 87–112. 2003.

IBGE – Instituto Brasileiro de geografia e Estatística. Censo Demográfico 2022: Panorama, 2022. Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/> Acessado em 17 de jun de 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Monografia de Garanhuns. Rio de Janeiro: Serviço Gráfico do IBGE, 1959.

JACOBI, Pedro Roberto; EMPINOTTI, Vanessa Lucena; SCHMIDT, Luisa. Escassez hídrica e direitos humanos. **Ambiente & Sociedade**, v. 19, p. 00-00, 2016.

KABATA-PENDIAS, A. **Trace elements in soils and plants**. 4. ed. Boca Raton: CRC Press, 2011. 315 p.

KOCH, Fábio Fernandes et al. Análise de água superficial para consumo humano em um município do Rio Grande do Sul. **Caderno Pedagógico**, v. 14, n. 1, 2017.

KRIGE, D.G. A statistical approach to some basic mine evaluation problems on the Witwatersrand. **Johannesburg Chemistry Metallurgy Mining Society South African**, 1951.

LEÃO L. P. 2014. *Caracterização Geoquímica de Sedimentos da Bacia do Rio Maynart, MG*. Trabalho Final de Graduação, UFOP, Ouro Preto 93p

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água**. 4. ed. Campinas: Átomo, 2010. 640 p

LIMA, Enjôlras de Albuquerque Medeiros; TORRES, Fernanda Soares de Miranda; FRANZEN, Melissa. **Atlas geoquímico do estado de Pernambuco**. Recife: CPRM, 2017. 2 v.

MACIEL, Jéssica Garcia Silva; SOUZA, Leonardo da Rocha. Proteção ambiental e futuras gerações: uma análise da posição do superior tribunal de justiça. **Revista de Direito Brasileira**, v. 22, n. 9, p. 340-371, 2019.

MARMONTEL, Caio Vinicius Ferreira; RODRIGUES, Valdemir Antonio. Parâmetros indicativos para qualidade da água em nascentes com diferentes coberturas de terra e conservação da vegetação ciliar. **Floresta e ambiente**, v. 22, p. 171-181, 2015.

MARTINS, Patrick Thomaz de Aquino et al. Bacia do Rio Una (Valença): aspectos físicos, socioeconômicos e suas inter-relações. **SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA**, v. 5, 2004.

MCBRIDE, M. B. **Environmental chemistry of soils**. New York: Oxford University Press, 1994. 406 p.

MCGRATH, S. P., (1995). *Chromium and Nickel*. Alloway, B.J. Heavy Metals in Soils. (2ª ed., cap. 7, pp. 152-174). London: Blackie Academic & Professional.

MILLER, J. R.: JERRY R The role of fluvial geomorphic processes in the dispersal of heavy metals from mine sites. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 58, p. 101 – 118, 1997

MIRANDA, L. C. O “novo” Código Florestal: tensões e estratégias de interpelações discursivas. **Revista Geografias**, Belo Horizonte, v. 7, n. 2, p. 98-105, jul./dez. 2011.

MONTES, Victor Machado. Gestão de recursos hídricos e a gestão de águas minerais: uma análise dos aspectos legais e da integração institucional. 2020. 145 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

MONTGOMERY, C.W. Environmental Geology. Columbus: Mc Graw-Hill. 8. ed. 2008. 556p.

MORAIS, D. P. de; MORAES, A. S.; PISCOYA, V. C.; HOLANDA, R. M. de; OLIVEIRA, F. M. de; ANDRADE, J. S. C. de O. Caracterização geoquímica e ambiental através de ferramentas multivariadas na Bacia Hidrográfica do Rio Una – PE. **Revista de Geociências do Nordeste**, [S. l.], v. 10, n. 1, p. 468–478, 2024. DOI: 10.21680/2447-3359.2024v10n1ID35556.

MORITA, M.; EDMONDS, J. S. Determination of arsenic species in environmental and biological sample. **IUPAC, Pure and Applied Chemistry**, v. 64, n. 4, p. 575-590, 1992.

NAIMAN, R. J., & DECAMPS, H. (1997). The Ecology of Interfaces: Riparian Zones. **Annual Review Ecological System**, 28, 621-658.
<http://dx.doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.28.1.621>

OLIVEIRA, T.S. de; COSTA, L.M. da; CRUZ, C.D. **Importância dos Metais pesados do solo na identificação e separação de materiais de origem**. Revista Ceres, N. 45, 260: 359-371, 1998

OLIVEIRA, T.S. de; COSTA, L.M. da; CRUZ, C.D. **Importância dos Metais pesados do solo na identificação e separação de materiais de origem**. Revista Ceres, N. 45, 260: 359-371, 1998

OMEE - Ontário Ministry of the Environment and Energy. 1993. *Guidelines for the protection and management of aquatic sediment quality in Ontário*. Ministry of the Environment and Energy, Toronto, 39 p

ONU BR – NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL – ONU BR. A Agenda 2030. 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/> Acessado em 17 de jun de 2024.

PEAKALL, D. & BURGER, J. (2003). Methodologies for assessing exposure to metals: speciation, bioavailability of metals, and ecological host factors. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 56, pp. 110-121

PEREIRA, Fabíola Manhas Verbi. Quimiometria: aplicações e desafios analíticos. Repositório Institucional UNESP - Araraquara/SP. 2022.

PIERONI, Juan Pedro et al. Avaliação do estado de conservação de nascentes em microbacias hidrográficas. **Geosciences= Geociências**, v. 38, n. 1, p. 185-193, 2019.

PORTO, Monica FA; PORTO, Rubem La Laina. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos avançados**, v. 22, p. 43-60, 2008.

QUANTIN, C.; BECQUER, T.; BOUILLER, J. H.; BERTHELIN, J. Redistribution of metals in a New Caledonia Ferralsol after microbial weathering. *Soil Science Society of America Journal*, v.66, p.1797–1804, 2002

QUEIROZ MMF, Iost C, GOMES SD, VILAS BOAS MA. Influência do uso do solo na qualidade da água de uma microbacia hidrográfica rural. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável** 2010; 5(4): 200-210.

RIBEIRO, Marcos André do Côtó et al. **Contaminação do solo por metais pesados**. 2013. Dissertação de Mestrado. Engenharia do Ambiente, Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias. Lisboa, 2013.

RODRIGUES VA. **Recuperação de nascentes em microbacias da cuesta de Botucatu**. In: Rodrigues VA, Bucci LA, organizadores. Manejo de microbacias hidrográficas: experiências nacionais e internacionais. Botucatu: FEPAF; 2006.

ROHDE, Geraldo. **Geoquímica ambiental e estudos de impacto–4ª ed**. Oficina de Textos, 2013.

ROY, M.; GIRI, A. K.; DUTTA, S.; MUKHERJEE, P. Integrated phytobial remediation for sustainable management of arsenic in soil and water. **Environment International**, v. 75 p. 180-198, 2015.

SANTOS, E. A. **Dinâmica socioambiental do alto curso da bacia do Rio Una/PE**. 2013. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Sergipe, Sergipe, 2013.

SILVA, F; ALMEIDA, M; FERNANDES, A. Hidroquímica de águas subterrâneas do cristalino no trópico semi-árido nordestino, Brasil. Braga, 2002

SILVA, JLC; Barros, LM; Freita, FRV. Aspectos da degradação ambiental no Nordeste do Brasil. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 180-191, 2018.

SILVA, Maurício Santos; BRITTO, Fabio Brandao. IMPORTÂNCIA DA QUALIDADE DA ÁGUA DOS RESERVATÓRIOS DE ESTABELECIMENTOS COMERCIAIS PÚBLICOS E PRIVADOS. **Anais da Semana Nacional de Ciência e Tecnologia (SNCT) do IFS**, v. 2, n. 1, p. 301-304, 2020.

SOARES, A. **Geoestatística para as Ciências da Terra e do Ambiente**. Lisboa, 2, 2006.

SOARES, A. B.; SANTOS, C. C.; CAVALCANTI, M. A. Problemática socioambiental urbana na nascente Pau Amarelo em Garanhuns-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 5, p. 1140-1157, 2013.

SOMMER, M., HALM D., WELLER, U., ZAREI, M, & STAR, K. Lateral podzolization in a granitic landscape. *Soil Science Society of America Journal*, v.64, p. 1434–1442, 2000.

SORRINI, E. **Atividades agrícolas e proteção ciliar na porção leste do reservatório de Biritiba Mirim (SP) e sua implicação na qualidade da água e sedimentos de fundo**. 2015. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SOUZA, A. M. de. **Caracterização ambiental da bacia hidrográfica do Rio São Domingos a partir da análise geoquímica e isotópica Pb/Pb**. 2011. 123 f. Dissertação (Mestrado em Análise de Bacias;Tectônia, Petrologia e Recursos Minerais) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

TUCCI, C. E. M. 1997. Hidrologia: ciência e aplicação. 2.ed. Porto Alegre: ABRH/ **Editora da UFRGS**, 1997. (Col. ABRH de Recursos Hídricos, v.4).

VASCONCELOS, M. B. et al. Aplicação da condutividade elétrica da água nos estudos hidrogeológicos da região Nordeste do Brasil. **XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos** (ISSN 2318-0358), Foz do Iguaçu. 2019.

VICINI, L. **Análise multivariada: da teoria à prática**. Santa Maria, RS – Brasil, 2005.

VIEIRA, S. R. **Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo**. In: NOVAIS, R. F., ALVARES, V. H.; SCHAEFER, G. R. (Ed.). Tópicos especiais em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 1, p. 1-54, 2000.

YASSUDA, E. R. Gestão de recursos hídricos: fundamentos e aspectos institucionais. **Rev. Adm. Púb.**, v.27, n.2, p.5-18, 1993.

ZAABOUB, N., Martins, M. V. A., Terroso, D. L., Helali, M. A., Béjaoui, B., El Bour, M., ... Aleya, L. (2016). GEOCHEMICAL AND MINERALOGICAL FINGERPRINTS OF THE SEDIMENTS SUPPLY AND EARLY DIAGENETIC PROCESSES IN THE BIZERTE LAGOON (TUNISIA). *Journal of Sedimentary Environments*, 1(4).