



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
CURSO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

JOÃO LUIZ GURGEL MOTA ARAÚJO

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA ÁGUA DE LAGOS PRESENTES EM
ZONAS DE MINERAÇÃO DE BRITA E VERIFICAÇÃO DA SUA VIABILIDADE DE
USO**

CARAÚBAS-RN

2023

JOÃO LUIZ GURGEL MOTA ARAÚJO

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA ÁGUA DE LAGOS PRESENTES EM
ZONAS DE MINERAÇÃO DE BRITA E VERIFICAÇÃO DA SUA VIABILIDADE DE
USO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Campus Caraúbas, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Freitas Freire Martins –
UFERSA

Coorientadora: Profa. Dra. Guymmann Clay da Silva
- UFERSA

CARAÚBAS-RN

2023

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas
da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

G663c Gurgel Mota Araújo, João Luiz .
Caracterização físico-química da água de lagos
presentes em zonas de mineração de brita e
verificação da sua viabilidade de uso / João Luiz
Gurgel Mota Araújo. - 2023.
75 f. : il.

Orientador: Daniel Freitas Freire Martins .
Coorientadora: Guymann Clay da Silva.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Administração,
2023.

1. Cavas de mineração. 2. recursos hídricos. 3.
sustentabilidade. I. Freitas Freire Martins ,
Daniel , orient. II. Clay da Silva, Guymann, co-
orient. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade com AACR2
e os dados fornecidos pelo) autor(a). Biblioteca Campus Caraúbas Bibliotecária: Dalvanira
Brito Rodrigues CRB: 15/700

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

JOÃO LUIZ GURGEL MOTA ARAÚJO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Campus Caraúbas, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 19 / 05 / 23.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 DANIEL FREITAS FREIRE MARTINS
Data: 25/05/2023 08:41:21-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Daniel Freitas Freire Martins (UFERSA)
Presidente

Guymmann
Clay da Silva

Assinado digitalmente por Guymmann Clay da Silva
DN: OU=UFERSA, CN=Guymmann Clay da Silva,
E=,
Razão: Eu sou o autor deste documento
Localização:
Data: 2023.05.25 13:27:26-03'00'
Foxit PDF Reader Versão: 12.1.2

Prof^a. Dra. Guymmann Clay da Silva (UFERSA)
Membro Examinador

ALISON KAIO
DANTAS PEREIRA

Assinado digitalmente por ALISON KAIO DANTAS PEREIRA
DN: CN=ALISON KAIO DANTAS PEREIRA:10166303445,
OU=UFERSA - Universidade Federal Rural Do Semi-Árido,
O=ICPEdu, C=BR
Razão: Eu sou o autor deste documento
Localização: sua localização de assinatura aqui
Data: 2023.05.25 14:04:42-03'00'
Foxit PDF Reader Versão: 11.1.0

Esp. Alison Kaio Dantas Pereira (UFERSA)
Membro Examinador

Documento assinado digitalmente
 WICLITON WAGNER DE OLIVEIRA LIMA
Data: 25/05/2023 12:17:07-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Me. Wicliton Wagner Oliveira (UFERSA)

Dedico este trabalho a minha amada vó, dona Alvandi Gurgel Mota, que embora tenha partido, sinto que está sempre presente ao meu lado como uma estrela guia, minha eterna mãe.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de expressar minha gratidão a meu grandioso Deus, que nunca me abandonou, sempre me sustentou e me deu a força necessária para conquistar meus objetivos. Diante de momentos de ansiedade sua benevolência me acalentou, permitindo a minha evolução constante. Em segunda instância, vem o meu bem mais precioso, a minha família. Eles que sempre me apoiaram, me motivaram e sempre estiveram comigo, seja na dor ou felicidade. Destes, em especial, aos meus pais Antônio Batista de Araújo e Maria Eudaria Neta, que sucintamente vos digo, são os exemplos de homem e mulher que me inspiro e dedico eternamente o meu amor. As minhas tias, primos e irmãos, vocês são a base essencial que me mantém de pé, obrigado por serem a minha maior motivação e razão para continuar seguindo em frente.

Agradeço especialmente à minha amada Marina, por ser tão especial em minha vida, por todos os momentos felizes que me proporcionou e por estar comigo nos momentos difíceis. É indescritível a proporção da minha gratidão por ter você ao meu lado, seu amor e carinho são a fonte dos melhores momentos da minha vida, obrigado por tudo, te amo muito. Não posso deixar de agradecer também aos meus amigos que estiveram comigo nesta jornada, em especial, ao meu grande amigo e irmão Joilson Félix, pela parceria durante todos esses anos, pelas ajudas, motivações, conselhos e por fazer nossa amizade sincera perdurar por todos estes anos. E, aos meus colegas e amigos Dailton Carvalho, Arthur Ítalo, Ellen Nathielly, Maria Clara, Nathan Diniz, Kauan Diniz e Iranildo Alves por compartilharem comigo, além da amizade, momentos acadêmicos que acima de tudo vieram a somar para com meus repertórios profissional e pessoal.

Agradeço de todo coração ao meu amigo e orientador Prof. Dr. Daniel Freitas Freire Martins pelo apoio e orientação, seu conhecimento e experiência foram essenciais para a elaboração deste trabalho. Considero-o uma inspiração como pessoa e profissional, sua ética, humildade, alegria e dedicação o torna um exemplo a ser seguido e com certeza levarei seus ensinamentos pelo resto da vida. Agradeço imensamente também a minha amiga e coorientadora Profa. Dra. Guymann Clay da Silva, que assim como Daniel, é uma pessoa maravilhosa e também contribuiu para a elaboração do trabalho.

Por fim, agradeço à banca examinadora, ao Esp. Alison Kaio Dantas Pereira, Me. Wicliton Wagner Oliveira e aos meus queridos professores, Prof. Dr. Daniel Freitas Freire Martins e Profa. Dra. Guymann Clay da Silva, pelo tempo dedicado em contribuição para este trabalho.

Não tenhas medo, porque estou contigo; não te aflijas, porque sou o teu Deus. Eu torno-te forte, ajudo-te, protejo-te com a minha mão direita vitoriosa.

Isaías 41:10.

RESUMO

Sabe-se que a disponibilidade de água doce é uma preocupação mundial, isso porque com o crescimento populacional e uso indiscriminado, as fontes de águas propícias ao consumo passaram a ser escassas. Uma das formas de contornar esse impasse é através do uso de fontes hídricas presentes em zonas de mineração de brita. À vista disso, o objetivo deste trabalho foi determinar a qualidade físico-química da água presente em regiões de mineração e verificar as possibilidades de uso. Para isto, foram determinados os parâmetros de pH, condutividade, temperatura, oxigênio dissolvido, salinidade, turbidez, alcalinidade parcial e total, dureza total, cálcio, magnésio, sódio, potássio, cloreto, nitrato e sólidos dissolvidos totais em corpos aquáticos de regiões de mineração. A metodologia de análise adotada seguiu as diretrizes descritas no Standard Methods of APHA (2005). Os pontos de amostragem supracitados foram analisados conforme a seguinte ordem: cava de mineração de uma pedreira ativa (ponto 1), reservatório próximo da pedreira ativa (ponto 2), cava de mineração de uma pedreira inativa (ponto 3) e reservatório próximo da pedreira inativa (ponto 4). Há um comportamento geral semelhante para os parâmetros de turbidez, condutividade, salinidade, sódio, potássio e oxigênio dissolvido. Porém, as motivações para isso são distintas, enquanto o ponto 3 a presença de matéria orgânica e eutrofização são tidas como principais influências, no ponto 1 os valores correspondentes têm como protagonista principal o processo minerário, com prevalência de um solo com sedimentos mais finos e soltos. Além disso, por serem áreas mais abertas de solo (sem a presença de matas ciliares) os processos de lixiviação tornam-se mais facilitados. Os pontos 2 e 4 apresentam algumas vezes variáveis bastante próximas estatisticamente, como no caso do cloreto e magnésio, isso denota características comuns entre eles, como o de maiores quantidade de água, e contanto menos direto com a rocha matriz. Em destaque, observa-se no ponto 1 um alto índice de nitrato. Ao comparar este índice com os demais pontos e com a legislação vigente, fica evidente a influência direta do processo de fragmentação rochosa através de explosivos a base de NA no lago da cava de mineração. Diante disso, as águas dos pontos puderam ser qualificadas perante os parâmetros pré-estabelecidos, sendo possível verificar viabilidades de uso, como por exemplo, o uso na irrigação.

Palavras-chave: Cavas de mineração, recursos hídricos, sustentabilidade.

ABSTRACT

It is known that the availability of fresh water is a worldwide concern, because with population growth and indiscriminate use, the sources of water conducive to consumption have become scarce. One of the ways to get around this impasse is through the use of water sources present in gravel mining areas. In view of this, the objective of this work was to determine the physical-chemical quality of the water present in mining regions and to verify the possibilities of use. For this, the parameters of pH, conductivity, temperature, dissolved oxygen, salinity, turbidity, partial and total alkalinity, total hardness, calcium, magnesium, sodium, potassium, chloride, nitrate and total dissolved solids in aquatic bodies from regions of mining. The analysis methodology adopted followed the guidelines described in the Standard Methods of APHA (2005). The aforementioned sampling points were analyzed in the following order: mining pit of an active quarry (point 1), reservoir close to the active quarry (point 2), mining pit of an inactive quarry (point 3) and reservoir close to the inactive quarry (point 4). There is a similar general behavior for the parameters turbidity, conductivity, salinity, sodium, potassium and dissolved oxygen. However, the motivations for this are different, while in point 3 the presence of organic matter and eutrophication are seen as the main influences, in point 1 the corresponding values have the mining process as the main protagonist, with prevalence of a soil with finer and looser sediments. In addition, as they are more open areas of soil (without the presence of riparian forests) the leaching processes become easier. Points 2 and 4 sometimes present variables that are very close statistically, as in the case of chloride and magnesium, this denotes common characteristics between them, such as greater amounts of water, and less direct contact with the matrix rock. In highlight, a high level of nitrate is observed in point 1. When comparing this index with the other points and with the current legislation, the direct influence of the rock fragmentation process through NA-based explosives in the lake of the mining pit is evident. In view of this, the water from the points could be qualified according to the pre-established parameters, making it possible to verify the feasibility of use, such as use in irrigation.

Keywords: mining pits, water resources, sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Alteração paisagista causada pela mineração de brita.	20
Figura 2: Pedreira ativa.	35
Figura 3: Pedreira inativa.	35
Figura 4: Corpo hídrico da cava de mineração ativa (ponto 1).	43
Figura 5: Atividade de beneficiamento e transporte mineral.	44
Figura 6: Perfuração rochosa para atividade explosiva.	44
Figura 7: Reservatório próximo a cava de mineração ativa (ponto 2).	45
Figura 8: Corpo hídrico da cava de mineração inativa (ponto 3).	46
Figura 9: Reservatório próximo a cava de mineração inativa (ponto 4).	47
Figura 10: Resultados de pH.	49
Figura 11: Resultados de temperatura em °C.	50
Figura 12: Resultados de condutividade em $\mu\text{S}/\text{cm}$	51
Figura 13: Resultados de salinidade em ppt.	52
Figura 14: Resultados de oxigênio dissolvido em mg/L.	53
Figura 15: Resultados de turbidez em NTU.	54
Figura 16: Resultados de alcalinidade parcial em mg/L.	55
Figura 17: Resultados de alcalinidade total em mg/L.	56
Figura 18: Resultados de sódio em mg/L.	57
Figura 19: Resultados de potássio em mg/L.	58
Figura 20: Resultados de cloreto em mg/L.	59
Figura 21: Resultados de dureza total em mg/L.	60
Figura 22: Resultados de cálcio em mg/L.	61
Figura 23: Resultados de magnésio em mg/L.	62
Figura 24: Resultados de SDO em mg/L.	63
Figura 25: Resultados de SDT em mg/L.	64
Figura 26: Resultados de SDI em mg/L.	64
Figura 27: Resultados de nitrato em mg/L.	65
Figura 28: Curva de calibração para a espectrofotometria (Nitrato).	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Verificação de possíveis viabilidades de uso de acordo com a legislação.....	75
--	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação das águas (continua).	31
Quadro 2 - Equipamentos utilizados para as análises físico-químicas.	33
Quadro 3 - Reagentes utilizados para as análises físico-químicas (continua).....	33

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS	17
2.1 GERAL	17
2.2 ESPECÍFICOS	17
3. REFERENCIAL TEÓRICO	18
3.1 - PRESENÇA DA ATIVIDADE MINERADORA E SUA IMPORTÂNCIA PARA O SEMIÁRIDO NORDESTINO.....	18
3.2 - IMPACTOS AMBIENTAIS GERADOS PELA ATIVIDADE DE MINERAÇÃO DE BRITA	19
3.3 FORMAÇÃO DE LAGOS DE MINERAÇÃO EM ZONAS DE FOGO	21
3.4 INFLUÊNCIA DO PROCESSO PRODUTIVO NOS LAGOS DE MINERAÇÃO	22
3.4.1 - Influência da atividade mineradora nos parâmetros físico-químicos da água	
23	
3.4.1.1 - Turbidez	23
3.4.1.2 - Condutividade e Salinidade.....	24
3.4.1.3 – Dureza total, cálcio e magnésio	24
3.4.1.4 – Alcalinidade parcial e total	25
3.4.1.5 – Cloretos.....	25
3.4.1.6 – Sólidos dissolvidos totais	25
3.4.1.7 – Oxigênio dissolvido	26
3.4.1.8 – Sódio e potássio	26
3.4.1.9 – Nitrato	27
3.4.2 - ANFO (Ammonium Nitrate Fuel Oil) e Emulsões explosivas.....	27
3.5 - IMPORTÂNCIA DA ÁGUA E DA PRÁTICA SUSTENTÁVEL NA INDÚSTRIA MINERAL DE PEDREIRAS	28
3.6 - CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA ÁGUA E SUA IMPORTÂNCIA PARA VIABILIDADE DE USO	29
3.7 LEGISLAÇÕES.....	30
4. MATERIAIS E MÉTODOS	33
4.1 MATERIAIS E REAGENTES	33
4.2 MÉTODOS	34
4.2.1 Coleta e tratamento das amostras.....	34

4.2.2 Caracterização físico-química das amostras.....	36
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS LOCAIS DE AMOSTRAGEM.....	42
5.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA COMPARATIVA SOBRE INFLUÊNCIA DO PROCESSO MINERÁRIO DE BRITA	48
5.2.1 pH48	
5.2.2 Temperatura	50
5.2.3 Condutividade e Salinidade.....	51
5.2.4 Oxigênio Dissolvido	53
5.2.5 Turbidez	54
5.2.6 Alcalinidade Parcial e Total	55
5.2.7 Sódio, Potássio e Cloreto.....	57
5.2.8 Dureza total, Cálcio e Magnésio.....	59
5.2.9 Sólidos Dissolvidos Totais	62
5.2.10 Nitrato	65
6. CONCLUSÕES.....	67
REFERÊNCIAS	68
APÊNDICE - A	75
APÊNDICE - B	76

1. INTRODUÇÃO

Considerada um dos recursos mais abundantes do planeta Terra, a água possui um papel crucial e insubstituível na vida dos seres vivos, seja associado à composição, como também ao mantimento da biodiversidade. Em geral, sua vastidão percentual se sobressai ao da terra, porém no quesito de apropriação ao consumo, em especial, sua forma doce, sabe-se que essa qualidade é correspondente a apenas 3% da água disponível existente e, desse total, 85% estão em condições glaciais (VICTORINO, 2007). Diante deste cenário, faz-se evidente que a discussão sobre o tema “água” não é nenhuma novidade, tendo em vista estar diretamente relacionada a existência populacional global. É com essa razão, que a Organização das Nações Unidas (ONU), através da Resolução A/RES/64/292, afirma que o acesso à água e ao saneamento básico é um direito humano essencial.

Com relação ao acesso a águas propícias ao consumo, tem-se que os meios pelos quais elas são extraídas se limitam basicamente a rios, lagos e lençóis freáticos; todos estes, de certa forma, constituídos naturalmente ou de forma antropogênica (através da ação do homem na manipulação do ambiente) com o acúmulo de água de baixa salinidade (VICTORINO, 2007).

Corpos hídricos comumente notados ao redor de zonas de mineração de brita, são exemplos que se encaixam perfeitamente em fontes de água doce, geralmente constituídas pela ação do homem na manipulação do ambiente, neste caso específico, o solo e a rocha ígnea matriz do processo minerário. Esse acúmulo hídrico se deve ao fato de que, com a atividade de extração da rocha e manipulação do solo, são formadas cavas que possibilitam a sedimentação acumulada e impedem o escoamento da água, assim como também a rica presença de rochas impermeáveis que impossibilitam a absorção pelo lençol freático. Existem também casos em que há a conexão dessas cavas com o aquífero, o que promove uma fonte ainda mais persistente e duradoura (CASTENDYK; EARY, 2009).

Contudo, da mesma forma que são constituídas indiretamente pela atividade mineradora, os corpos d'água em zonas de extração de rocha são afetados por essa atividade antropogênica, mediante a ação de máquinas pesadas, movimentação de terra, uso de explosivos no desmonte e fragmentação das rochas. Na imposição prática do tratamento dessas rochas para a produção de brita, desde a quebra primária da matriz rochosa (através de explosivos) ao transporte do produto final, é observado a exacerbação produtiva visando um maior aproveitamento do tempo e do espaço a ser explorado. Isso faz com que o “excedente” seja priorizado, e a sustentabilidade junto aos cuidados com o meio ambiente sejam ignorados; além de que, mesmo que haja tais preocupações ambientais, as influências extrativistas, apesar de

minimizadas, são inevitáveis, considerando todos os fatores que podem estar associados a tal atividade. Delimitando-se às questões ambientais dos corpos hídricos presentes nestes locais, destaca-se que estes podem ser afetados pelos fatores produtivos e inviabilizar a prática sustentável no que se refere a utilização efetiva dos recursos hídricos disponíveis para consumo.

Com o surgimento de legislações e programas de preservação ambiental, a partir dos anos 90, as empresas de mineração de agregados, especialmente a brita, vêm tentando incorporar ao processo produtivo o gerenciamento ambiental no planejamento do empreendimento, com a correta aplicação das técnicas de lavra e a adequação a determinados parâmetros (SINTONI, 1994). Todavia, é sabido que na prática essa não é uma realidade interposta, pois há, muitas vezes, o preparo deficiente dos pequenos empresários, o diminuto apoio técnico financeiro para eles por parte dos órgãos governamentais, além da existência de consequências negativas de cunho social, de saúde ocupacional e ambiental. Como fator agravante a isso, a atividade mineradora geralmente não aborda a Educação Ambiental onde se desenvolve (BARRETO, 2001).

No Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), em sua resolução 357 (2005), abrangem-se referências aos parâmetros de qualidade de corpos d'água, categorizando-os de acordo com as viabilidades de uso. Dentre estes parâmetros, estão os físico-químicos, no qual conferem parâmetros tanto físicos (como temperatura, sabor, odor, cor, turbidez e condutividade elétrica), como os químicos (pH, alcalinidade e a dureza) da água, essenciais para a caracterização da viabilidade de uso, tendo em vista que a qualidade da água é um padrão relativo.

Dessa forma, considerando o problema de escassez hídrica mundial, e que também atinge o nosso país, especialmente a região semiárida nordestina, a disponibilidade desse recurso em zonas de fogo de mineração rochosa e a necessidade de se efetivar a sustentabilidade em empreendimentos desse ramo industrial, faz-se necessária a implementação de análises físico-químicas que permitam se ter a checagem da qualidade da água para a utilização dela em fins diversos, como irrigação e consumo humano.

2. OBJETIVOS

2.1 GERAL

Determinar a qualidade físico-química da água presente em regiões de mineração.

2.2 ESPECÍFICOS

- Analisar o pH, condutividade, temperatura, oxigênio dissolvido, salinidade, turbidez, alcalinidade parcial e total, dureza total, cálcio, magnésio, sódio, potássio, cloreto, nitrato e sólidos dissolvidos totais em corpos hídricos de pedreira ativa (com atividade explosiva semanal) e em corpo aquático próximo a essa região de mineração;
- Analisar também, os mesmos parâmetros, em pedreira inativa a cerca de 5 anos (exposta apenas a agentes intempéricos e criação animal no local), e em corpo aquático próximo a essa região de mineração;
- Verificar a influência da atividade mineradora na qualidade da água;
- Realizar análise comparativa da qualidade da água com o previsto na legislação vigente.
- Verificar as possibilidades de uso das águas de acordo com os parâmetros analisados.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 - PRESENÇA DA ATIVIDADE MINERADORA E SUA IMPORTÂNCIA PARA O SEMIÁRIDO NORDESTINO

Atualmente, a construção civil é um setor que se encontra em crescente desenvolvimento econômico no país, e com ele, atividades coadjuvantes tornam-se cada vez mais essenciais para seu mantimento. Uma dessas principais atividades é a mineração de agregados para a construção civil, que por sua vez, gera grandes volumes de produção e apresenta beneficiamento simples, porém, para melhor economicidade e viabilidade empresarial, necessita ser produzida próximo aos locais de consumo, geralmente áreas urbanas (LA SERNA; REZENDE, 2009). Segundo a Secretaria de Desenvolvimento Econômico (Sedec/RN), a atividade mineradora do Rio Grande do Norte, em regiões metropolitanas, caracteriza-se principalmente pela produção de água mineral e minerais de emprego imediato na construção civil (areia e brita) (SEDEC/RN, 2021).

No que tange a disposição de matéria-prima mineral na região potiguar, a Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral do Brasil, em seu Programa de Levantamento da Geodiversidade, destaca que a geologia do estado do Rio Grande do Norte pode ser enfocada a partir de três grandes grupos de rochas, sendo um deles representado por unidades pré-cambrianas, onde há a prevalência de rochas derivadas do magmatismo e plutonismo, que por sua vez, são precursores para o desenvolvimento cristalino existente (PFALTZGRAFF; CARVALHO; RAMOS, 2010). Isso porque, como cita Angelim *et al.* (2006), grande parte da região do semiárido nordestino encontra-se inserida geotectonicamente na Província Borborema, que é constituída por sequências metassedimentares e metavulcânicas oriundas da superposição de eventos tectônicos e magmáticos, e de idades meso a neoproterozoicas.

Desse modo, faz-se evidente na região potiguar, principalmente devido ao crescimento urbano, o aumento na demanda por agregados da construção civil como a brita, a disponibilidade de matrizes deste recurso em diversas localidades do estado, bem como a instalação de mineradoras nestas localidades para se atender a essa demanda de mercado. No geral, as maiores demandas por esse produto são interpostas por construtoras, concreteiras, indústrias de pré-moldados e lojas de materiais de construção.

Então, é conciso que desde que sejam respeitados os padrões de eficiência produtiva e sustentabilidade, as atividades de mineração no semiárido podem fornecer ganhos exponenciais aos mineradores da região e trazer melhorias socioeconômicas para a população, como a

garantia do produto final para as diversas necessidades da construção civil e a geração de empregos locais (ARAÚJO, 2016).

3.2 - IMPACTOS AMBIENTAIS GERADOS PELA ATIVIDADE DE MINERAÇÃO DE BRITA

Segundo a resolução normativa CONAMA nº 1/86, caracteriza-se como impacto ambiental “[...] qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas [...]” que venham a afetar na saúde, segurança e o bem-estar da população; atividades sociais e econômicas; a biota; condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; e por fim, a qualidade dos recursos ambientais. Neste artigo, o CONAMA abrange toda a gama de possíveis influências que a atividade humana possa exercer intrusivamente sobre o ambiente.

É inegável que todo e qualquer empreendimento minerário causa impactos ambientais. Muitas das vezes, a depender do andamento do processo produtivo e da ação antrópica, esses impactos podem ser irreversíveis, e por conseguinte, tornar essa atividade bastante prejudicial ao meio ambiente. No caso da mineração de brita, Chiossi *et al.* (1982), Macedo *et al.* (1985) e Teixeira (1992) apud Bitar (1997) destacam como influências da exploração do mineral granítico: a supressão de áreas de vegetação; modificação de superfícies topográficas; impacto visual (geração de áreas degradadas); aceleração de processos erosivos; indução de escorregamentos; modificação de cursos d'água (superficiais e subterrâneas); aumento da turbidez e da quantidade de sólidos em suspensão em corpos d'água receptores; rebaixamento do lençol freático; aumento da emissão de gases e partículas em suspensão no ar; aumento de ruídos; lançamento de fragmentos rochosos à distância; sobrepressão atmosférica; e propagações de vibrações no solo.

Em face dos aspectos visuais das zonas de exploração, é possível observar a formação de cavas de tamanho bastante significativo, geradas pela manipulação do solo local e remoção de camadas vegetativas. Essas cavas ficam a céu aberto e escancaram o cenário nato da intervenção do homem a natureza (Figura 1).

Figura 1: Alteração paisagista causada pela mineração de brita.



Fonte: Autoria própria (2023).

Guimarães (1989) apud Guimarães (1996) explica a inerência da forma como são gerados os impactos já mencionados (além dos impactos visuais), categorizando-os de maneira mais abrangente. Estes, serão descritos e analisados a seguir:

- **Vibrações e ruídos:** A fragmentação rochosa por explosivos é maneira mais frequente de extrair a matéria-prima de interesse. Como consequência, nos momentos de detonação há a geração de intensas vibrações e ruídos, tanto no local do empreendimento, como em áreas circunvizinhas. A depender das explosões, esses efeitos podem chegar a quilômetros de distância e se houver moradores nas proximidades, certamente sentirão os efeitos.

Ademais as detonações, os maquinários utilizados desde a britagem ao transporte benéfico geram ruídos contínuos, muitas das vezes tornando as moradias próximas bastante atormentadas.

- **Ultra-lançamento de fragmentos:** Caracteriza-se pelo lançamento de fragmentos rochosos nos momentos de detonação. Assim como o problema de vibrações no solo, esse impacto depende muito do porte da detonação, no qual quanto maior esta última for, maiores as distâncias que estes fragmentos de tamanhos variáveis podem chegar. Isto, torna este impacto um dos mais perigosos a curto prazo.
- **Resíduos sólidos:** Decorrentes do desmatamento de áreas vegetativas e decapeamento de material estéril que recobrem a jazida, bem como a geração de resíduos provenientes

dos trabalhadores e pessoas envolvidas no processo. Quanto maior o porte da pedreira, maior a área decaçada, maior a tendência de desmatamento e significativo aumento na quantidade de funcionários.

É importante salientar que, o isolamento geográfico da pedreira pode aumentar ainda mais a quantidade desses resíduos, tendo em vista se ter uma maior dificuldade de controle.

- **Resíduos líquidos:** A geração desses resíduos é oriunda do carregamento de partículas e sedimentos pelas águas pluviais, assim como do uso doméstico, que pode promover depósitos de origem cloacal e da lavagem de veículos.

Há o caso à parte em que os recursos hídricos provenientes de águas pluviais, comumente observados nas frentes de lavra, são afetados diretamente pelo processo produtivo. Isto, muitas das vezes, torna a utilização da água totalmente imprópria e tornando-a um resíduo líquido indesejável.

- **Resíduos atmosféricos:** Esses tipos de resíduos são caracterizados pela emissão de poeira provinda das atividades de extração e britagem. Além disso, provoca-se a emissão de gases decorrentes das reações químicas ocorridas durante as explosões nas zonas de fogo. Além do mais, é fundamental levar em conta a grande quantidade de dióxido de carbono (CO₂) liberada durante a queima dos combustíveis utilizados pelas máquinas, que em sua maioria são movidas a diesel, ao qual este, por sua vez, é considerado um dos combustíveis mais poluentes na atualidade.

Questões socioambientais também estão envolvidas nesta causa e são decorrentes justamente dos impactos até então mencionados. Tais questões podem ser citadas, como: transtornos ao tráfego (devido ao aumento da circulação de veículos), depreciação de imóveis circunvizinhos, geração de favelas em áreas degradadas não remediadas, perda de valor imobiliário (FERNANDES, 2022).

Todos esses impactos acima mencionados, de alguma forma influenciam nos meios existentes, seja no meio físico (ar, solo e água), meio biótico (fauna e flora) e antrópico (questões sociais e econômicas). Essa influência pode recair sobre apenas um meio, como também em mais de um, ou em todos eles.

3.3 FORMAÇÃO DE LAGOS DE MINERAÇÃO EM ZONAS DE FOGO

É fato que o processo extrativista modifica o ambiente ao qual é extraída a matéria-prima de interesse. Na maioria dos casos, cavas de mineração são formadas durante esse exercício e permanecem como uma alteração artificial do relevo local até mesmo após o fim da

atividade (SPERLING, 2004). Devido a formação dessas cavas pertinentes e a rica presença de rochas impermeáveis que impossibilitam a absorção pelo lençol freático, comumente são notados corpos hídricos ao redor de zonas de mineração de brita.

Existem duas formas de origem distintas para essas fontes hídricas se formarem, a primeira é a forma artificial, ao qual há o incremento de água proposital, ou não, feita pelo homem. A segunda forma trata-se da forma natural, proveniente de água subterrânea e/ou precipitação pluviométrica (VILLAIN *et al.*, 2011 apud GONÇALVES, 2013).

No caso dos lagos provenientes da mineração de brita, é conciso que se tratam de corpos hídricos de origem natural. Apesar de serem gerados indiretamente devido a formação de cavas oriundas da manipulação do homem sobre as jazidas, a proliferação hídrica se dá em sua grande maioria, de forma direta, pela precipitação pluviométrica. Considerando essa tendência acumulativa incessante, a depender da quantidade de água acumulada nestas zonas, ela é mobilizada no próprio processo de britagem (na umidificação do solo ao redor para a diminuição da poeira e emissão de particulados na atmosfera) e para irrigação de plantas nos locais de recepção do empreendimento.

Porém, na grande maioria das vezes, esta prática sustentável é desprezada devido ao medo gerado pela influência extrativista sobre a água (em função do uso de explosivos e maquinários). É importante ainda destacar que o acúmulo exacerbado da água pode atrapalhar o desempenho da extração da matéria-prima e, por este motivo, acaba-se gerando o costume de descartar a água presente nessas regiões. Isto, infelizmente, torna a prática da sustentabilidade hídrica inexistente para a grande maioria dos casos.

3.4 INFLUÊNCIA DO PROCESSO PRODUTIVO NOS LAGOS DE MINERAÇÃO

O valor representativo dos teores naturais dos elementos no meio físico, chamado de *background*, varia em função do tempo, dos tipos de influências ambientais, entre outros fatores, porém sem a interferência das ações humanas (ROHDE, 2000 apud TERRELL, 2007). Alterações nesses valores podem indicar anomalias geoquímicas significativas ou não significativas. Nas anomalias significativas, há a intervenção do homem sobre o ambiente e conseqüentemente sobre os parâmetros de referência, indicando assim, contaminação ambiental. Já as anomalias não significativas, fazem parte dos processos naturais que acontecem no meio, e, desde que não apresentem conseqüências do ponto de vista ambiental, não caracterizam mudanças que venham a ser consideradas como contaminação, exceto algumas exceções (TERRELL, 2007).

Em ênfase nas influências que o processo de extração de brita pode promover aos corpos d'água, destaca-se a presença de restos de equipamentos, óleos dos equipamentos mecânicos, presença comum de alojamentos dos funcionários da mineração, ausência de saneamento básico na instalação dos funcionários, assim como também o uso, em excedente, de explosivos e a geração de poeira e tremores de terra locais devido as explosões. Todos esses fatores podem influenciar de forma significativa na qualidade da água disponível na própria pedreira como também em suas proximidades.

Na imposição prática do tratamento das rochas para a produção de brita, desde a quebra primária da matriz rochosa (através de explosivos) ao transporte do produto final, é observado a exacerbação produtiva visando um maior aproveitamento do tempo e do espaço explorado. Isso faz com que o “excedente” seja priorizado, e a sustentabilidade junto aos cuidados com o meio ambiente sejam deixados de lado; além de que, mesmo que haja tais preocupações ambientais, as influências extrativistas, apesar de minimizadas, são inevitáveis, considerando todos os fatores que podem estar associados a tal atividade.

3.4.1 - Influência da atividade mineradora nos parâmetros físico-químicos da água

3.4.1.1 - Turbidez

Bitar (1997) afirma que um dos impactos da atividade mineradora sobre os corpos hídricos presentes nas zonas de extração é o aumento da turbidez e da quantidade de sólidos em suspensão e dissolvidos em corpos d'água receptores. Evidentemente, isto se dá devido às perturbações geradas pelo processo de extração do material da rocha matriz, que envolvem constantes movimentações de terra, detonações com explosivos e intensa movimentação de maquinários em estradas de terra do local.

O índice de turbidez indica a existência de materiais dissolvidos ou em suspensão na água, estes, podendo ter origem orgânica ou inorgânica; e, a depender da presença destes elementos, há a alteração nos padrões de turvação da água (BONUMÁ, 2006). Visualmente, este parâmetro é bastante intuitivo, principalmente ao se presenciar a disposição de corpos hídricos em zonas de fogo de mineração; nota-se considerada turvação hídrica perante os intensos remanejamentos de rochas e movimentações de terra.

Fonseca (1989) apud Bonumá (2006) propõe que grande parte das minerações no Brasil são desencadeadoras de poluição por sedimentos; logo, minerações como a de ferro, calcário, granito, areia, argila, bauxita, manganês, cassiterita, diamante, atuantes no território nacional, em geral, causam (ou têm potencial de causar) poluição das águas apenas por sedimentos. Há

casos em que há a poluição por compostos químicos solúveis, oriundos dos reagentes usados no tratamento do minério ou no manuseio da própria rocha, porém são casos mais restritos.

3.4.1.2 - Condutividade e Salinidade

Quando se fala em qualidade de recursos hídricos, logo vê-se a necessidade de analisar parâmetros físico-químicos básicos, como é caso da condutividade elétrica e salinidade. Estes parâmetros estão intimamente relacionados entre si, isso porque quanto maior a quantidade de íons presentes na água, maior é a condutividade, e por conseguinte, maior a salinidade desse meio, já que sais em solução existem integralmente em forma de íons.

Para Fontes (2008), existem diversas possíveis fontes potenciais de salinização das águas superficiais, incluindo: (i) a deposição de aerossóis marinhos na atmosfera, (ii) a dissolução de sais provenientes do solo e das rochas, que por ação intempérica fornecem sais às águas superficiais e intensificam a salinidade do manancial, e (iii) possíveis ações do homem. Vale ressaltar que as características fisioclimáticas do local, o tamanho do corpo hídrico, bem como o seu manejo são de extrema importância para se entender o motivo influente na salinidade das fontes hídricas (MOLLE, 1994 apud FONTES, 2008). A evaporação, por exemplo, assume um papel de bastante relevância como agente concentrador, tendo em vista que ao evaporizar a água, os sais presentes nela ficam ainda mais concentrados.

Em destaque aos índices de salinidade e condutividade observados em lagos de mineração de brita no semiárido nordestino, estes por sua vez, são afetados pela escassez de precipitação pluviométrica durante boa parte do ano. Haja vista a constância de evaporação, principalmente em dias ensolarados, a concentração de sais nas águas superficiais acaba por aumentar consideravelmente. Outro fator relevante, condizente com o mencionado anteriormente, é a influência do solo (rico em sedimentos da rocha gnáissica) e a rocha matriz; ambos, através da ação dos agentes intempéricos em conjunto a manipulação antrópica do ambiente, passam a atuar como fornecedores primários dos sais.

3.4.1.3 – Dureza total, cálcio e magnésio

Os parâmetros de dureza total, cálcio e magnésio estão diretamente relacionados. Isso porque a dureza total da água é determinada pela quantidade de íons de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}), que são provenientes principalmente da decomposição de minerais e consequentemente de rochas que são formadas destes. De acordo com a FUNASA (2014), é possível classificar as amostras de água de acordo com sua dureza em mole ou branda (com menos de 50 mg/L de CaCO_3), moderada (com valores entre 50 mg/L e 150 mg/L de CaCO_3), dura (com valores entre

150 mg/L e 300 mg/L de CaCO_3) e muito dura (com valores acima de 300 mg/L de CaCO_3). Valores acima de 500 mg/L de CaCO_3 são considerados inviáveis para consumo humano. A alta presença de cálcio e magnésio na água dificulta a sua capacidade de dissolver sabão, prejudicando a formação de espuma (ABDALLA *et al.*, 2010).

3.4.1.4 – Alcalinidade parcial e total

A alcalinidade é um importante parâmetro que indica a capacidade da água de neutralizar ácidos e sua habilidade de resistir a mudanças no potencial hidrogeniônico (pH), ou seja, a capacidade da água em atuar como um tampão. Segundo Sperling (2014), os principais componentes da alcalinidade são os bicarbonatos (HCO_3^-), carbonatos (CO_3^{2-}) e hidróxidos (OH^-) e a distribuição dessas formas na água depende do pH. Embora a alcalinidade não tenha impacto significativo na potabilidade da água, em altas concentrações pode conferir à água um sabor amargo e estar correlacionada com a dureza total (CORREIA, 2022).

3.4.1.5 – Cloretos

A concentração de cloretos é um parâmetro crucial na avaliação da qualidade da água, uma vez que fornece informações sobre o grau de mineralização ou evidências de poluição na água. Altos níveis de cloretos podem indicar a presença de poluentes, seja de esgotos domésticos ou resíduos industriais, ou ainda devido à dissolução do sal-gema no solo, comumente utilizado para a produção de fertilizantes (CRUZ, 2022). Quando presentes em elevadas concentrações, os cloretos podem conferir um gosto salgado à água e também possuir propriedades laxativas (FUNASA, 2014).

3.4.1.6 – Sólidos dissolvidos totais

Quando uma substância sólida é adicionada a um corpo hídrico, pode haver a dissolução dela na água. Os sólidos dissolvidos na água podem incluir uma ampla gama de substâncias, incluindo sais, minerais, metais, ácidos e outras substâncias orgânicas e inorgânicas. A análise de Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) faz-se através da quantificação de todas as impurezas dissolvidas, com exceção dos gases. Dentre as substâncias que contribuem para essa determinação, encontram-se minerais como cálcio, magnésio, sódio, cloro, bicarbonato e enxofre (MACÊDO, 2007). Elevados índices de SDT podem afetar a qualidade da água potável, causando alterações no sabor e na aparência, deixando-a turva e com gosto e aspecto desagradável (SPERLING, 2005). Além disso, como este parâmetro está diretamente

relacionado a quantificação de diversos outros elementos analisados, pode indicar também a presença destes de forma exacerbada na água, o que pode ser prejudicial à saúde humana.

3.4.1.7 – Oxigênio dissolvido

Durante a estabilização de matéria orgânica, as bactérias aeróbicas utilizam o oxigênio em seus processos respiratórios, o que pode levar a uma redução da sua concentração no meio. Quando todo o oxigênio disponível é consumido, as condições tornam-se anaeróbias, resultando em maus odores (SPERLING, 2014). A quantidade de oxigênio presente na água pode variar dependendo da pressão atmosférica (altitude) e da temperatura do ambiente. Águas com temperaturas mais baixas possuem maior capacidade de dissolver oxigênio. Já em altitudes elevadas, onde a pressão atmosférica é menor, a solubilidade do oxigênio dissolvido é menor (MEYER *et al.*, 1990).

A solubilidade do oxigênio na água é influenciada por dois fatores principais, a temperatura e a pressão. Como exemplo, sob uma pressão de 760 mmHg, a solubilidade do oxigênio na água a uma temperatura de cerca de 30 °C é de 7,59 mg/L, enquanto na mesma pressão, a uma temperatura de cerca de 0°C, a solubilidade é de 14,60 mg/L de água (NASCIMENTO, 2010).

3.4.1.8 – Sódio e potássio

Tanto o sódio Na^+ como o potássio K^+ são parâmetros que estão diretamente relacionados a altas salinidades nas águas, isso porque estes são sais comumente observados e analisados, no qual o Na^+ apresenta-se em concentrações geralmente maiores e o K^+ em menores concentrações (FERREIRA, 2016). O sódio é um parâmetro que está presente principalmente em águas subterrâneas salinas, água do mar, água salobra e água que foi dessalinizada. A Organização Mundial de Saúde (OMS) recomenda que o nível de sódio na água potável não ultrapasse 200 mg/L, tendo em vista que altos níveis de sódio tendem a conferir um gosto muito salgado e podem ser prejudiciais à saúde de pessoas com hipertensão arterial.

Em geral, não há recomendações específicas para o nível de potássio na água potável, isso porque sua presença na água é importante para a saúde, já que ele é um nutriente essencial para o nosso corpo e possui diversas funções corporais essenciais. Porém, quando a água contém quantidades excessivas de potássio, pode haver riscos à saúde, especialmente para pessoas com problemas renais que possuem dificuldade em excretar o excesso deste nutriente (CETESB, 2016).

Fidelix (2017) destaca como um dos principais danos ambientais de altas concentrações destes sais é a contaminação do solo, o tornando inviável para o plantio e até mesmo inutilizável para outros meios.

3.4.1.9 – Nitrato

Conforme indicações da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), níveis elevados de Nitrato (NO_3^-) na água podem sugerir a contaminação por fontes distintas, dentre as quais se destacam o esgoto doméstico e a atividade agropecuária (com o uso de fertilizantes). Contudo, a exploração mineral pode estar relacionada ao aumento dos níveis de nitrato nas águas locais, podendo variar em função do tipo de mineração e das práticas adotadas. Dentre os fatores que podem contribuir para o aumento da presença de nitrato na água em regiões mineradoras, destaca-se a utilização de explosivos a base de nitrato de amônio e outros produtos químicos no processo de extração mineral, os quais podem contaminar o solo e a água com nitratos e outros compostos químicos (GAMMONS *et al.*, 2009).

Em salvaguarda a saúde pública, o Ministério da Saúde em sua Portaria de Consolidação nº 5/2017 determina que o limite máximo de nitrato permitido para consumo humano seja de 10 mg/L (BRASIL, 2017). O alto índice de NO_3^- na água pode gerar a formação de Nitrosaminas, que são compostos químicos com conhecido potencial cancerígeno, como o câncer gástrico. Há também grandes chances do desenvolvimento de problemas sanguíneos, como a metahemoglobinemia, condição a qual a capacidade do sangue de transportar oxigênio é afetada (CETESB, 2015).

3.4.2 - ANFO (Ammonium Nitrate Fuel Oil) e Emulsões explosivas

No processo de extração primária do maciço rochoso em pedreiras, a principal característica do desmonte da rocha é a adequada fragmentação e distribuição granulométrica do maciço rochoso, permitindo o carregamento, transporte e manuseio do material para posteriormente ser executada a britagem no britador primário (FREITAS; MORAIS, 2020). O processo inicial da fragmentação rochosa é feito através da mobilização de explosivos, visando uma maior agilidade, energia suficiente para a desagregação e praticidade no desenvolvimento do processo extrativista.

Atualmente, conforme Koppe (2012), os explosivos comerciais mais utilizados no desmonte de rochas em pedreiras são divididos em duas categorias: ANFO e Emulsões. Existe também ainda um tipo de explosivo que é dado pela mistura do ANFO com a emulsão, chamado de blendados. O ANFO é constituído, em sua essência, por Nitrato de Amônia (NA) e óleo

combustível (FO), sendo estimado cerca de 94,5% de sua composição de NA e 5,5% de FO. Já as Emulsões diferenciam-se do ANFO, devido a necessidade da adição de outros ingredientes em sua composição, mas que também seu principal componente é o NA, girando em torno de 60-85% do seu peso de amostra (SILVA, 2009).

Com relação a influência do uso dos explosivos supracitados na qualidade hídrica das zonas de fogo, teme-se que a priorização do “excedente” posto em prática no momento das detonações ao alocar o produto nos locais; em conjunto com o descuido e o despreparo profissional, possa vir a acarretar a contaminação dos corpos hídricos presentes *in loco*. Águas pluviométricas, por exemplo, podem escoar os excedentes (não reativos) desses compostos químicos, gerando a contaminação hídrica desses locais principalmente por nitrato e outros compostos nitrogenados como a amônia e o nitrito.

3.5 - IMPORTÂNCIA DA ÁGUA E DA PRÁTICA SUSTENTÁVEL NA INDÚSTRIA MINERAL DE PEDREIRAS

É inegável que água desempenha um papel fundamental na sobrevivência humana, sendo indispensável não só para o consumo individual, mas também para a execução de diversas atividades do dia a dia, que vão desde tarefas domésticas simples a até mesmo operações em larga escala na indústria. Contudo, sabe-se que para que esta fonte seja considerada apropriada para consumo, é necessário que ela esteja disponível em sua forma doce, o que globalmente torna esse recurso bastante escasso, pois apenas 3% da água encontrada na Terra é doce e os outros 97% são compostos por água salgada (VICTORINO, 2007).

A Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei 9.433 – 1997), estabelece a utilização racional e integrada dos recursos hídricos com vistas ao desenvolvimento sustentável, dentre os seus dizeres, nela é notório a defesa da sustentabilidade, em âmbito nacional, no que diz respeito a todos os setores que são capazes de infringir na disponibilidade hídrica (CARDOSO, 1997). Nesse contexto, é crucial que metodologias sustentáveis sejam promovidas pela indústria mineral, visando promover o uso racional e durável deste recurso tão importante.

Em termos de ações sustentáveis eficientes, pode-se citar o reaproveitamento de águas pluviais, ou seja, a água da chuva. Silva e Santana (2014) apud Silva *et al.* (2021) afirma que reaproveitamento da água envolve a coleta, armazenamento e reutilização da água da chuva. Embora não possa ser utilizada para fins nobres, essa água da chuva pode ser considerada um desperdício, pois possui diversas utilidades operacionais, como lavar carros, calçadas, limpar objetos do quintal, entre outras atividades.

No caso das águas pluviais presentes nas zonas de mineração de brita, estas podem ser consideradas como uma oportunidade de emprego do reaproveitamento sustentável, seja na própria empresa, como também (a depender da quantidade e qualidade hídrica) para outros usos externos. Na empresa, por exemplo, a água pode ser mobilizada para a lavagem de britas, molhagem do solo para se evitar poeira, irrigação e até mesmo consumo humano (para este caso necessitar-se-ia de análises mais aprofundadas).

Considerando então a importância da prática sustentável no ramo industrial minerário, bem como a disponibilidade hídrica comumente observada em pedreiras e o amparo de estudos sobre a qualidade da água, faz-se fulcral análises situacionais/estudos de caso que investiguem as influências que o processo de mineração de brita pode promover aos corpos hídricos nos locais de extração, trazendo em discussão também a possibilidade de uso dessas águas em outras utilidades, sejam elas industriais ou não.

3.6 - CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA ÁGUA E SUA IMPORTÂNCIA PARA VIABILIDADE DE USO

A água é um recurso vital para a vida humana e para o meio ambiente. Contudo, sua qualidade pode ser afetada por diversos fatores, como a poluição, atividades industriais e agrícolas, entre outros de ação antrópica ou natural. Para garantir que a água esteja adequada para consumo humano e uso em atividades industriais, faz-se imprescindível a realização de análises físico-químicas para avaliar sua qualidade. Estas análises correspondem a um conjunto de testes e análises laboratoriais que têm como objetivo determinar as características físicas e químicas da água.

A qualificação da água por meio da caracterização físico-química envolve a análise de diversos parâmetros, como pH, condutividade, alcalinidade, dureza, turbidez, presença de metais pesados, entre outros. Estes parâmetros são fundamentais para avaliar se a água está em conformidade com os padrões estabelecidos pela legislação e se ela é adequada para o uso pretendido. Dessa forma, torna-se o processo, uma importante ferramenta para garantir a saúde e o bem-estar da população, bem como para preservar o meio ambiente e seus ecossistemas aquáticos (BRASIL, 2020).

A avaliação da presença de concentrações acima de espectros naturais pode indicar a presença de contaminantes no local, bem como a influência antrópica direta pela geração de efluência e manipulação ambiental. Isso permite determinar se a água é adequada para determinados usos. Por exemplo, no caso do consumo humano, são estabelecidos critérios rigorosos de qualidade da água, com o objetivo de proteger a saúde dos consumidores, logo,

além da qualificação físico-química, são necessárias outras análises como o estudo da microbiologia. Já para uso industrial, a qualidade da água pode ser avaliada de acordo com as características que possam afetar no processo produtivo, como a dureza da água, turbidez (presença de sedimentos), odor, cor, e em casos mais específicos, assimilando-se aos mesmos critérios adotados para consumo humano.

3.7 LEGISLAÇÕES

Existem diversas legislações que tratam da qualidade da água em diferentes âmbitos, desde padrões internacionais até regulamentações locais. Algumas das principais podem ser listadas abaixo:

1. Diretrizes da Organização Mundial da Saúde (OMS) para a Qualidade da Água Potável: estabelecem padrões de qualidade para a água potável mundialmente. Muitos países utilizam essas diretrizes para desenvolver suas próprias normas de qualidade da água.
2. Lei Federal nº 9.433/1997 (Lei das Águas): consiste na Política Nacional de Recursos Hídricos, que objetiva garantir a disponibilidade de água em quantidade e qualidade para os usos atuais e futuros.
3. Norma ABNT NBR 13969/1997: essa norma estabelece os requisitos para o controle da qualidade da água em sistemas de abastecimento público.
4. Norma ABNT NBR ISO 5667-1/2006: essa norma estabelece os procedimentos para a coleta de amostras de água e a determinação de parâmetros de qualidade.
5. Portaria MS nº 888/2021: essa portaria estabelece os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.
6. Resolução CONAMA nº 357/2005: essa resolução define as condições e os padrões de qualidade da água para o enquadramento dos corpos d'água em diferentes classes, conforme seu uso predominante.

Essas são apenas algumas das principais legislações relacionadas à qualidade da água, e que, a depender do país ou região, pode haver outras normas e regulamentações específicas.

Em termos qualitativos, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), em sua Resolução nº 357 (2005) exprime os parâmetros de qualidade de corpos hídricos para os diversos tipos de corpos d'água, entre águas doces (salinidade igual ou inferior a 0,5 ‰), salobras (salinidade superior a 0,5 ‰ e inferior a 30 ‰) e salinas (águas com salinidade igual ou superior a 30 ‰), sendo nela definido a quantidade permitida de substâncias orgânicas e inorgânicas, assim como outros diversos parâmetros e aspectos que ditam e categorizam os parâmetros das águas de acordo com as viabilidades de uso possíveis.

Em consonância ao CONAMA (2005), os tipos de água existentes são ainda classificados conforme o destino predominante. Por exemplo, a água doce é classificada em cinco tipos de classe, sendo elas: classe especial, classe I, classe II, classe III e classe IV. Já os demais tipos (salobras e salinas), possuem apenas quatro: classe especial, classe I, classe II e classe III. Estas determinações estão expressas no Quadro 1.

Quadro 1 - Classificação das águas (continua).

Tipo	Classe	Destinação preponderante
Águas doces	Classe especial	- Abastecimento para consumo humano, com desinfecção; - Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; - Preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.
	Classe 1	- Abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; - Proteção das comunidades aquáticas; recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA no 274, de 2000; - Irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; - Proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.
	Classe 2	- Abastecimento para o consumo humano, após tratamento convencional; - Proteção das comunidades aquáticas; à recreação e contato primário (natação, mergulho etc.) conforme resolução do CONAMA nº 274 de 2000; - Irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques e jardins; à aquicultura e a pesca. - Recreação de contato secundário e dessedentação de animais.
	Classe 4	- Navegação e harmonia paisagística

Quadro 1 - Classificação das águas (conclusão).

Tipo	Classe	Destinação preponderante
Águas salobras	Classe especial	- Preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral e do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.
	Classe 1	- Recreação de contato primário, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000; - Proteção das comunidades aquáticas; - Aquicultura e atividade de pesca; - Abastecimento para consumo humano após tratamento convencional ou avançado; - Irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película, - Irrigação de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto;
	Classe 2	- Pesca amadora e recreação de contato secundário.
	Classe 3	- Navegação e harmonia paisagística.
Águas salinas	Classe especial	- Preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral e preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.
	Classe 1	- Recreação de contato primário, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000, proteção das comunidades aquáticas e aquicultura e atividade de pesca.
	Classe 2	- Pesca amadora e recreação de contato secundário.
	Classe 3	- Navegação e harmonia paisagística.

‘**Fonte:** Adaptado da Resolução CONAMA nº 357 de 2005.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 MATERIAIS E REAGENTES

Os Quadros 2 e 3 apresentam a relação dos equipamentos e reagentes empregados neste estudo, juntamente com a marca/fabricante e modelo correspondentes.

Quadro 2 - Equipamentos utilizados para as análises físico-químicas.

Item	Equipamentos	Marca/Modelo
1	Sonda Multiparâmetro	Akso / AK88
2	pHmetro	Quimis / Q400AS
3	Balança Analítica	Shimadzu / AUY220
4	Turbidímetro	Del Lab / DLT-WV
5	Agitador Mecânico	EduTec / EEQ-9034
6	Cadinhos	Unilab / 354.125
7	Luva Térmica	DANNY / DA-24202
8	Espectrofotômetro	PG Instruments / T80+

Fonte: Autoria própria (2023).

Quadro 3 - Reagentes utilizados para as análises físico-químicas (continua).

Item	Reagentes	Marca/Modelo
1	Trietanolamina	Cromoline
2	Negro de Eriocromo T	Vetec
3	Nitrato de Prata	PLAT-LAB
4	Hidróxido de Sódio	Vetec
5	Ácido Sulfúrico	NEON
6	Cloreto de Amônio	NEON
7	Hidróxido de Amônio	NEON

Quadro 3 - Reagentes utilizados para as análises físico-químicas (conclusão).

Item	Reagentes	Marca/Modelo
8	EDTA	ALPHATEC
9	Cromato de Potássio	Dinâmica
10	Calcon	Qheavy
11	Nitrato de Potássio	Impex

Fonte: Autoria própria (2023).

Adicionalmente aos equipamentos e reagentes mencionados, foram empregados diversos utensílios e vidrarias rotineiramente utilizados em laboratórios de química, tais como béqueres, erlenmeyers, funis, pipetas graduadas e volumétricas, espátulas, provetas, buretas, peras, pinças, entre outros.

4.2 MÉTODOS

Os métodos de análise adotados seguiram as diretrizes descritas no Standard Methods of APHA (2005). Todas as análises foram conduzidas mobilizando-se reagentes de grau analítico e equipamentos previamente calibrados conforme as instruções do manual do fabricante.

4.2.1 Coleta e tratamento das amostras

A coleta foi realizada em janeiro de 2023. As amostras foram coletadas em 4 pontos distribuídos da seguinte forma: Ponto 1 (cava de mineração de uma pedreira ativa), Ponto 2 (reservatório próximo da pedreira ativa), Ponto 3 (cava de mineração de uma pedreira inativa) e Ponto 4 (reservatório próximo da pedreira inativa).

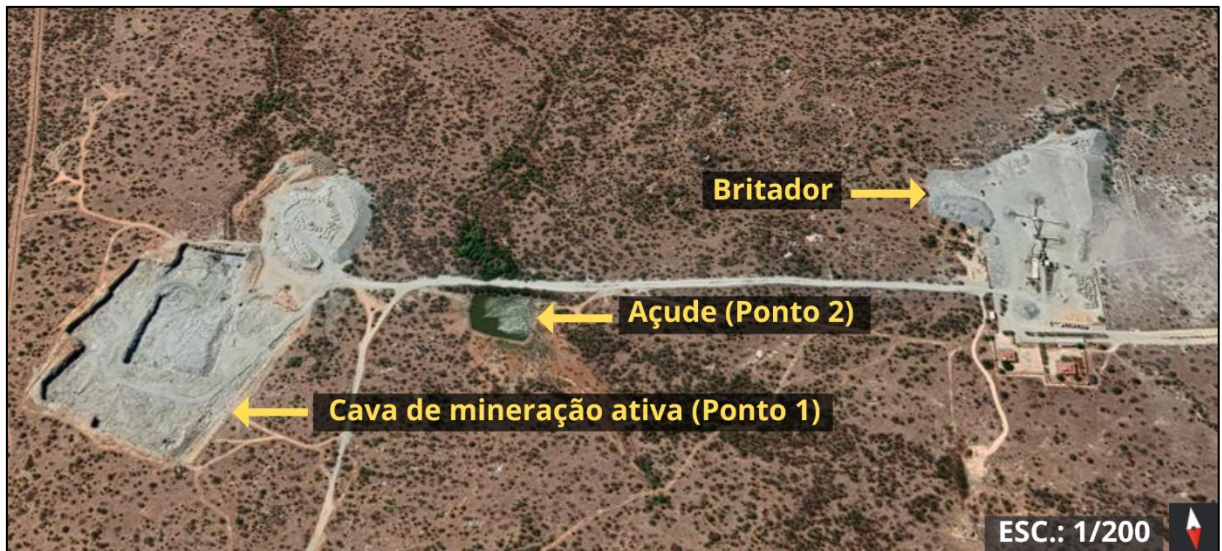
A escolha desses pontos de coleta se deu pela necessidade de verificar a influência das atividades mineradoras na qualidade físico-química da água. Os dois primeiros pontos (pontos 1 e 2) estão localizados em uma região de uma pedreira ativa, na cidade de Assú – RN. Ademais, os pontos 3 e 4 estão situados em uma pedreira inativa a cerca de cinco anos.

As amostras coletadas nestes pontos foram guardadas em recipientes adequados, identificados, após tripla lavagem deles com a água do próprio local, e acondicionadas em caixas de isopor com gelo. Logo em seguida foram transferidas ao laboratório, onde os tratamentos adequados para a realização das análises foram aplicados. O ponto específico de

coleta das águas foi designado sempre próximo à margem dos reservatórios, a cerca de 50 cm de profundidade. É importante destacar que as análises foram executadas no intervalo de horário 9h-12h

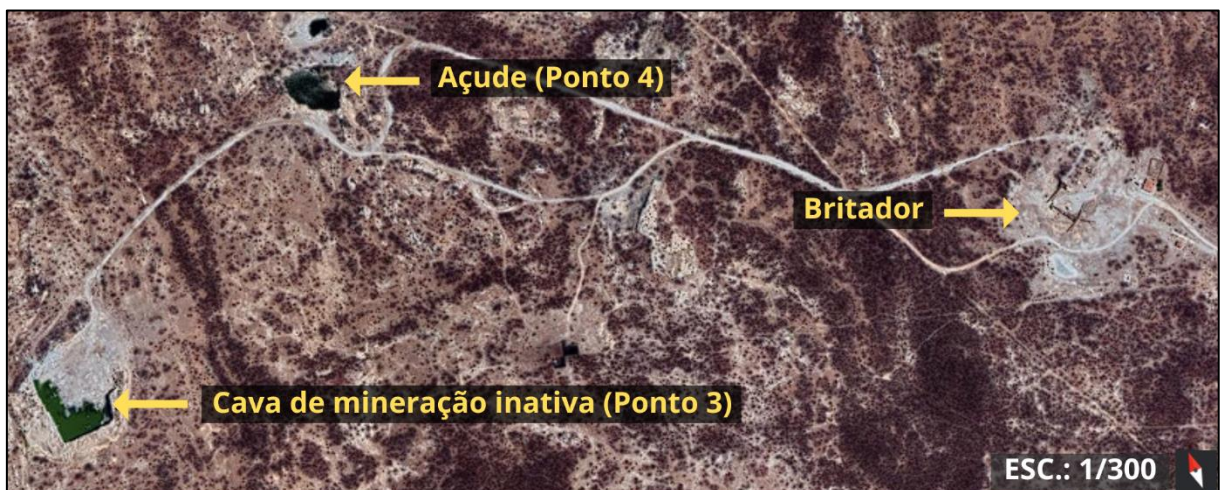
As figuras 2 e 3 ilustram as posições geográficas dos pontos de coleta, bem como o mapeamento das regiões por meio de imagens de satélite.

Figura 2: Pedreira ativa.



Fonte: Google Earth (2023).

Figura 3: Pedreira inativa.



Fonte: Google Earth (2023).

Vale salientar que as imagens expostas acima são datadas do ano de 2021, e, portanto, as ilustrações podem divergir minimamente a presente data. Na ilustração do ponto 1 (Figura 2), devido à constante drenagem do local, os corpos hídricos são minimalistas e quase não é possível observá-los. Porém, dentre os intervalos de cessação dessa prática e influência

pluviométrica, tornam-se bastante evidentes, inclusive perante imagens de satélite (de maior amplitude) e sendo consideradas fontes hídricas de relevância.

Em um mapeamento do local feito na ferramenta Google Earth, constou-se distâncias aproximadas entre os pontos de cava de mineração e seus respectivos açudes próximos, sendo estas de, aproximadamente, 240 m entre os pontos 1 e 2, e 436 m entre os pontos 3 e 4.

4.2.2 Caracterização físico-química das amostras

Na caracterização físico-química da água dos pontos foram determinados os parâmetros percorridos nos parágrafos subsequentes, adotando-se metodologia pré-estabelecida em concordância com o livro base.

Todas as análises, com exceção das feitas com a sonda multiparâmetro, foram realizadas em triplicata. Para estas análises feitas em triplicata, foi feito o tratamento estatístico mobilizando-se o software OriginPro 2018, através do teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

a) pH, temperatura, condutividade, salinidade, oxigênio dissolvido e turbidez: A determinação do pH, temperatura, condutividade, salinidade e oxigênio dissolvido foi realizada no próprio local de coleta fazendo uso de uma sonda multiparâmetro. A turbidez foi determinada no laboratório utilizando um turbidímetro de bancada logo após o término da coleta e chegada ao laboratório.

b) Dureza Total: Foi determinada através de titulação complexométrica, utilizando solução padrão de EDTA 0,01 mol/L como titulante, indicador negro de eriocromo T, solução aquosa de trietanolamina 1:4 como eliminador de impurezas e solução tampão de $\text{NH}_4\text{Cl}/\text{NH}_4\text{OH}$ para manutenção do pH entre 10 e 11.

Procedimento Experimental

- Foi colocado um volume de 10 ml de amostra em um Erlenmeyer;
- Acrescentou-se 2 ml de solução aquosa de trietanolamina 1:4;
- Acrescentou-se 10 mL da solução tampão de $\text{NH}_4\text{Cl}/\text{NH}_4\text{OH}$;
- Colocou-se uma pitada do indicador negro de eriocromo T;

Obs: Não havendo cálcio na amostra a solução fica azul. Havendo cálcio a solução fica rosa.

- E por fim, iniciou-se a titulação acrescentando o EDTA 0,01 mol/L;

- Depois disso, foi verificado o volume de EDTA utilizado quando o ponto de viragem foi atingido, e então, calculou-se a dureza total utilizando a equação 1.

Obs.: A coloração inicial é rosa e a coloração quando atinge o ponto de viragem é azul.

$$DT(mg/L) = \frac{V_{gastoEDTA} (ml) \times f_{CaCO_3} \times 1000}{V_{amostra} (ml)} \quad (1)$$

Onde: f_{CaCO_3} = concentração molar do EDTA x MM $CaCO_3$

c) Cálcio: Foi determinado por titulação complexométrica, utilizando-se como titulante uma solução padrão de EDTA 0,01 mol/L, solução aquosa de trietanolamina 1:4 para eliminar impurezas, solução de NaOH 0,2 N para elevar o pH acima de 12, e o indicador Azul de Eriocromo R ou Calcon.

Procedimento Experimental

- Primeiramente, foi colocado o mesmo volume de amostra utilizado na determinação da dureza total num Erlenmeyer;
- Depois disso, acrescentou-se 2 mL de solução aquosa de trietanolamina 1:4;
- Acrescentou-se 3 mL de NaOH 0,2 N;
- Verificou-se o pH com o papel indicador;
- Acrescentou-se uma pitada do indicador Calcon;
- Iniciou-se a titulação acrescentando-se a solução de EDTA 0,01 mol/L;
- E então, foi verificado o volume de EDTA utilizado quando o ponto de viragem é atingido, e calculou-se o teor de cálcio utilizando a equação 2.

Obs.: A coloração inicial é rosa e a coloração quando atinge o ponto de viragem é azul.

$$Ca(mg/L) = \frac{V_{gastoEDTA} (ml) \times f_{Ca} \times 1000}{V_{amostra} (ml)} \quad (2)$$

Onde: f_{Ca} = concentração molar do EDTA x MM Ca

d) Magnésio: Foi estabelecido através da diferença do volume gasto de EDTA na dureza total pelo volume gasto de EDTA na determinação do cálcio, sendo calculado sua quantidade em mg/L, utilizando a equação 3.

$$Mg (mg/L) = \frac{(V_{gastoEDTA} na DT - V_{gastoEDTA} no Ca) \times f_{Mg} \times 1000}{V_{amostra} (ml)} \quad (3)$$

Onde: f_{Mg} = concentração molar do EDTA x MM Mg

e) Alcalinidade parcial e total: As variáveis foram determinadas por titulação potenciométrica, utilizando como titulante solução padrão de H_2SO_4 0,05 mol/L e um pHmetro de bancada.

Procedimento Experimental

- A princípio, foi colocada 50 mL da amostra a ser analisada em um béquer de 50 mL;
- Colocou-se a barra magnética para a agitação;
- Foi medido o pH da amostra. Iniciou-se a titulação adicionando a solução padronizada de ácido sulfúrico 0,05 mol/L até pH 5,75. Anotou-se o volume gasto (V_1);
- Continuou-se adicionando o ácido sulfúrico 0,05 mol/L até pH 4,3 (V_2);
- Anotou-se o volume gasto (V_2);
- Para a realização dos cálculos, utilizou-se as equações 4 e 5.

$$Ap \text{ (mg/L)} = \frac{V_1 \times \text{Molaridade } H_2SO_4 \times 10000}{V_{amostra}} \quad (4)$$

Onde: V_1 = volume, em mL, de ácido gasto na titulação até pH 5,75;

$$At \text{ (mg/L)} = \frac{V_2 \times \text{Molaridade } H_2SO_4 \times 10000}{V_{amostra}} \quad (5)$$

Onde: V_2 = volume, em mL, de ácido gasto na titulação até pH 4,3.

f) Cloreto: Foi determinado através de titulação por precipitação, utilizando como titulante solução padrão de nitrato de prata ($AgNO_3$) 0,1 N, e como indicador, cromato de potássio (K_2CrO_4).

Procedimento Experimental

- Acrescentou-se 10 mL da amostra em um Erlenmeyer;
- Acrescentou-se 15 gotas de indicador cromato de potássio;
Obs: Com o acréscimo do indicador a amostra fica amarelo claro.
- Sendo assim, a titulação foi iniciada com o acréscimo do titulante ($AgNO_3$ 0,1N);

Obs: O ponto final da titulação é detectado pelo aparecimento do precipitado de cromato de prata (Ag_2CrO_4) avermelhado.

- Ao atingir o ponto final verificou-se o volume gasto de nitrato de prata e ele foi utilizado para o cálculo do teor de cloreto utilizando a equação 6.

$$Cl^{-}(ppm) = \frac{(V_g - V_b) \times f_{Cl} \times 1000}{V_{amostra}} \quad (6)$$

Sendo: $f_{Cl^{-}}$ = normalidade $AgNO_3 \times Eq\ Cl^{-}$

V_g = volume gasto de $AgNO_3$ na titulação da amostra

V_b = volume do branco

$Eq\ Cl^{-}$ = equivalente-grama do cloreto

Obs.: O volume do branco é utilizado com referência inicial para a titulação, podendo servir para corrigir quaisquer desvios incoerentes ou interferências causadas por impurezas presentes.

g) Sódio e potássio: Para análise de sódio e potássio utilizou-se um fotômetro de chama, calibrando-o com uma solução de Na^{+} e K^{+} padrão nas concentrações de 140 mmol/L e 5,0 mmol/L, respectivamente.

h) Sólidos Dissolvidos Totais, Orgânicos e Inorgânicos: A determinação destes parâmetros foi feita pelo método gravimétrico, utilizando cadinhos de porcelana, estufa de aquecimento e mufla elétrica, utilizando-se a amostra previamente filtrada com os papeis filtro tipo qualitativo e quantitativo.

Procedimento Experimental

- Primeiramente, lavou-se bem os cadinhos;
- Para o tratamento adequado, os cadinhos foram aquecidos em uma mufla à temperatura de 600 °C por 2 horas;
- Resfriou-se eles na própria mufla até 100 °C e depois foram transferidos para o dessecador contendo sílica gel para que fossem resfriados até temperatura ambiente sem contato com o ar;
- Pesou-se os cadinhos numa balança analítica;

Obs.: Este peso para efeito de cálculo é chamado de M_c (massa do cadinho).

- Em seguida, transferiu-se 50 mL da amostra para os cadinhos sem nenhum contato manual com eles;
- Transferiu-se os cadinhos para a estufa com o auxílio de uma pinça, e eles foram mantidos a uma temperatura de 105 °C até a completa evaporação do líquido (por aproximadamente 12 horas);

- Em seguida, transferiu-se os cadinhos com o uso de uma pinça para o dessecador, e então foram resfriados até temperatura ambiente sem contato com o ar, para posterior pesagem.
- Pesou-se na mesma balança citada anteriormente;

Obs.: Este peso para efeito de cálculo é chamado de M_i (massa do cadinho após evaporação da água a 105 °C).

- Foi transferido então os cadinhos para a mufla e estes foram aquecidos a 600 °C por 2 horas;

Obs.: Durante este procedimento nota-se a saída de matéria orgânica que evapora na forma de fumaça negra e espessa.

- Depois de resfriados, seguindo os mesmos cuidados tomados durante o acondicionamento, os cadinhos foram novamente pesados e a massa obtida foi chamada de M_f .

O cálculo dos sólidos dissolvidos totais (SDT) em mg/L foi feito usando as massas em mg/L obtidas pela equação (7):

$$SDT = (M_i - M_c) \times 20 \quad (7)$$

Já o cálculo dos sólidos dissolvidos totais orgânicos (SDO) em mg/L foi feito usando as massas em miligramas obtidas pela fórmula:

$$SDO = (M_f - M_i) \times 20 \quad (8)$$

E por fim, para o cálculo dos sólidos dissolvidos totais inorgânicos (SDI) em mg/L foi feito usando as massas em miligramas obtidas e a fórmula:

$$SDI = (M_f - M_c) \times 20 \quad (9)$$

i) Nitrato: Este parâmetro foi analisado por espectrofotometria de absorção molecular no UV-Vis. Para o nitrato, as amostras foram lidas em comprimento de onda de 220nm. Inicialmente foi preparada uma curva de calibração utilizando soluções padrão de nitrato conforme Figura 28 do Apêndice B.

Procedimento Experimental

- A princípio, em 10 mL de amostra foi adicionado 1 mL de suspensão de hidróxido de alumínio;
- Após isso, a mistura foi agitada, decantada e filtrada;

Obs.: Se a matéria orgânica não for removida, deve-se repetir o procedimento.

- Por fim, foi feita a leitura no espectrofotômetro com comprimento de onda de 220 nm.

Preparação da Suspensão de Hidróxido de Alumínio

- Primeiramente, em copo de béquer, adicionou-se 125 g de sulfato de alumínio e amônio, $\text{Al}(\text{NH}_4)(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, ou sulfato de alumínio, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ em 1 L de água isenta de nitritos (Milli-Q);
- Aqueceu-se a 60 °C e adicionou-se 55,0 mL de NH_4OH , lentamente e com agitação;
- A mistura foi deixada em repouso por uma hora;
- Por fim, removeu-se o máximo do sobrenadante possível, deixando a solução concentrada.

Obs.: A lavagem do precipitado foi feita até que indicasse ausência do íon NH_4^+ . Esta identificação foi feita utilizando o indicador fenolftaleína.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão abordados os resultados obtidos através das análises realizadas em quatro corpos hídricos, os dois primeiros localizados na cidade de Assú-RN. Ambos os corpos amostrais, foram designados no presente trabalho como pontos 1 e 2, respectivamente. Analogamente, os outros pontos de coleta (3 e 4) se deram na cidade de Itajá-RN, ao qual os mesmos procedimentos foram efetuados na cava de mineração da pedreira inativa e em reservatório próximo a essa localidade. Nois locais, foram feitas análises com a sonda multiparâmetro e coleta da água na cava de mineração das pedreiras e nos reservatórios próximos a essas localidades.

Esse procedimento surgiu da necessidade de se avaliar as supostas influências da atividade mineradora de brita na qualidade físico-química dos corpos hídricos locais, ao mesmo em que se põe em evidência a preposição espacial. Além disso, observa-se a variabilidade desses mesmos parâmetros pondo em questão a comparabilidade desses índices em reservatório de pedreira inativa a cerca de cinco anos e em reservatório próximo a este.

Com o intuito de aferir a qualidade da água, foram adotadas referências de cunho normativo, a exemplo da Resolução Conama nº 357/05 e dos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria nº 518/04 do Ministério da Saúde, além de outras fontes consideradas pertinentes para esse fim.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS LOCAIS DE AMOSTRAGEM

O Vale do Açu é uma microrregião situada no centro do estado do Rio Grande do Norte, que historicamente possui esse nome devido à presença, nesta região, de um extenso rio conhecido como "rio Açu". Ele nasce na Serra de João do Vale e percorre boa parte da região, sendo considerado um dos mais importantes cursos d'água da localidade. Dentre as principais cidades que compõem essa região, estão: Assu, Alto do Rodrigues, Carnaubais, Ipanguaçu, Itajá, Jucurutu, Pendências, Porto do Mangue e São Rafael (ALBANO; SÁ, 2008). Cada uma dessas cidades possui características distintas que as distinguem umas das outras, mas todas são fundamentais para o desenvolvimento econômico e cultural da região.

A região em questão destaca-se, ademais, pela existência de corpos hídricos, a exemplo de rios e lagoas, que são fundamentais para a economia local, notadamente para a atividade pesqueira. Acresce-se, ainda, a presença de rochas de embasamento cristalino do domínio hidrológico fissural, que abrangem o subdomínio de rochas metamórficas, incluindo o

Complexo Caicó e a Formação Jucurutu, e o subdomínio de rochas ígneas, como a Suíte Poço da Cruz e os Granitóides (BELTRÃO *et al.*, 2005).

Considerando as localidades das pedreiras ativa e inativa estarem situadas na mesma microrregião, características semelhantes podem, de alguma forma, serem observadas, como é o caso da presença notória de corpos rochosos e de mineradoras de rochas graníticas e gnáissicas na região. Assim, todas as fontes hídricas em questão estão situadas em áreas de mineração, sendo elas nas próprias cavas (pontos 1 e 3), como também em localização próxima a elas (pontos 2 e 4).

O primeiro ponto a ser analisado é o ponto 1, referente a água acumulada na cava de mineração da pedreira ativa. Neste local, observa-se que o acúmulo hídrico é bastante inferior aos demais pontos, isso porque, como dito anteriormente, a água acumulada é indesejável devido ao fato de dificultar o acesso dos maquinários e veículos que trafegam pelo local. Constantemente são mobilizadas bombas de drenagem para a retirada da água. A Figura 4 ilustra claramente o ponto a ser analisado.

Figura 4: Corpo hídrico da cava de mineração ativa (ponto 1).



Fonte: Autoria própria (2023).

Em análise visual desse corpo hídrico, observa-se uma coloração um pouco mais azulada. Isso, deve-se ao espalhamento Rayleigh da luz azul, que ocorre quando as partículas presentes na água são menores do que o comprimento de onda da luz azul. Resultando-se então, em uma maior reflexão da luz azul pelo mineral principal das rochas cristalinas, o quartzo, conferindo uma tonalidade azulada à água (SILVEIRA; SARAIVA, 2008).

Com relação ao processo produtivo mineral, presencia-se na pedreira uma movimentação constante de caminhões basculantes, que são usados para o transporte da matéria-prima ao britador de mandíbulas. Bem como, movimentação de terra e rochas

desempenhadas por escavadeira hidráulica, além da atividade constante do equipamento perfuratriz (utilizado para perfuração rochosa e posterior instalação dos explosivos na cavidade). Isso tudo, pode ser observado nas Figuras 5 e 6, respectivamente.

Figura 5: Atividade de beneficiamento e transporte mineralário.



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 6: Perfuração rochosa para atividade explosiva.



Fonte: Autoria própria (2023).

Em relação ao odor, no ponto 1 em específico, não houve afloramento perceptível de odores característicos, não distinguindo-se do comum esperado por água pluvial sobre um solo cristalino.

No ponto 2 (Figura 7), referente ao açude próximo a cava de mineração ativa, observa-se um acúmulo hídrico bem mais relevante que o ponto 1. Isso porque, ao contrário deste último, a reservatório foi construído artificialmente pela empresa de mineração com o intuito de

proporcionar o acúmulo de água pluviométrica para usos posteriores diversos, como irrigação de plantas e umidificação do solo para minimização de poeira.

Figura 7: Reservatório próximo a cava de mineração ativa (ponto 2).



Fonte: Autoria própria (2023).

Por ser um local relativamente próximo a cava de mineração ativa, localizando-se no mesmo terreno da empresa, os maquinários e veículos inevitavelmente passam sempre ao lado do açude, fazendo com que, indiretamente, sejam lançados sedimentos particulados do solo seco na água. Em períodos de fogo (explosão controlada para a segregação da rocha matriz), é possível que os fragmentos de rocha cheguem a atingir facilmente este corpo hídrico. A turbulência no solo e o tremor nesta localidade é inevitável nestas ocasiões.

Em análise visual desse ponto, observa-se uma coloração um pouco mais esverdeada. Essa coloração, deve-se provavelmente pela presença de maiores quantidades de nutrientes, especialmente nitrogênio e fósforo na água, o que possibilita (graças a inexistência de manipulação de terra no local e drenagem) desenvolvimento de plantas e outros organismos vivos (LONGLEY *et al.*, 2019).

Percebe-se também neste ponto, a afloramento de plantas rasteiras e arbóreas, o que permite o uso deste como um habitat natural temporário (quando não está havendo explosões) para determinadas espécies de aves e animais rastejantes.

No tocante ao odor, no ponto 2 em específico, há uma pequena diferença perceptível em relação ao ponto 1. Neste, é possível notar um odor um pouco mais forte e característico de açude com matéria orgânica.

Partindo para outra localização geográfica, dessa vez em uma pedreira inativa localizada na cidade de Itajá-RN, mais dois pontos foram analisados para a obtenção de dados pertinentes a respeito do tema em questão. No ponto 3, que consiste no lago de mineração inativa, ao fazer-

se a inspeção visual do local, nota-se um volume hídrico maior que o ponto 1, porém menor que os pontos 2 e 4. Apesar da interrupção do processo minerário a cerca de cinco anos, sem nenhuma drenagem no local, por ser uma pedreira de menor porte e cava de mineração menor, em conjunto a escassez de chuvas no período das análises, torna o acúmulo hídrico neste, um pouco mais limitado comparado aos pontos 2 e 4.

No referido ponto, observa-se uma cor esverdeada muito mais intensa, isso remete a presença de algas, ao qual pode estar diretamente relacionado a um processo de eutrofização mais vigoroso. Essas algas, no geral, são microrganismos fotossintetizantes (como cianobactérias), e se beneficiam da luz solar, oxigênio e nutrientes como o nitrogênio (PAERL; OTTEN, 2013).

De forma ampla, a Figura 8 ilustra o terceiro ponto em questão.

Figura 8: Corpo hídrico da cava de mineração inativa (ponto 3).



Fonte: Autoria própria (2023).

Devido o cessamento do processo exploratório, a fauna típica da região potiguar se faz presente no local, como aves, animais rastejantes e bovinos. Porém, sabe-se que ao ser retomado, isto infelizmente não será mais uma realidade, tendo em vista que a exploração mineral, principalmente a manipulação dos maquinários e atividades explosivas, esses animais acabam sendo afastados.

No que se refere à percepção olfativa, no ponto 3 em particular, nota-se um odor mais forte de matéria orgânica. Apesar de ser um parâmetro subjetivo, o odor desencadeado pela água faz-se condizente sensorialmente com o observado visualmente.

No ponto 4, referente ao reservatório próxima a cava de mineração inativa, nota-se um acúmulo hídrico intermediário em comparabilidade com os pontos 2 e 3. Isso, pode ser explicado por conta de a cava, gerada por manipulações de terra passadas, ser um pouco mais

funda e larga que o ponto 3, porém mais rasa e estreita que o ponto 2. Tornando propício o acúmulo da água pluvial. A ilustração do ponto em questão está representada pela Figura 9.

Figura 9: Reservatório próximo a cava de mineração inativa (ponto 4).



Fonte: Autoria própria (2023).

Este local, tem seu surgimento natural ou antrópico (através de manipulação de terra a muitos anos atrás), e diferentemente do ponto 3, durante o processo minerário permanece sem sofrer alterações espaciais por ação antrópica. Contudo, assim como o ponto 2, em períodos de atividade da empresa, este sofreu indiretamente a influência da emissão de particulados, extinção local de animais, e outras consequências relacionadas ao tráfego de veículos pesados.

No ponto supracitado, constata-se uma coloração um pouco mais escura e menos turva que o ponto 3. A coloração mais escura dar-se como forma de explicitar a presença de matéria orgânica na água, assim como também a tipologia do solo. Já a aparência menos turva e menor presença visual de microrganismos fotossintetizantes, podem ser explicadas pela maior presença de água no local, o que consequentemente (considerando a constante evaporação) aumenta a concentração de nutrientes, matéria orgânica, partículas sedimentosas e notoriedade da floração de algas.

No que tange a percepção olfativa do ponto em questão, foi notado sensorialmente uma semelhança com ponto 2, onde pode-se observar um aroma típico de açudes que contêm matéria orgânica.

Ademais, até aqui, algumas características físicas dos pontos analisados foram discutidas. A partir deste momento, serão abordados parâmetros físico-químicos diretamente relacionados a influência do processo minerário.

5.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA COMPARATIVA SOBRE INFLUÊNCIA DO PROCESSO MINERÁRIO DE BRITA

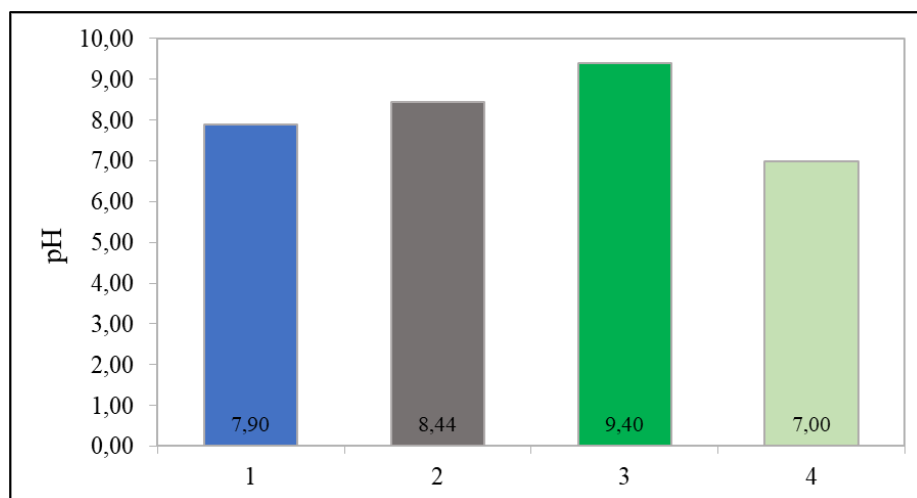
As propriedades físico-químicas da água estão intimamente associadas ao processo de lixiviação dos solos e às ações antrópicas decorrentes das atividades humanas que ocorrem ao longo do seu trajeto (LIMA *et al.*, 2014). Levando-se em consideração uma análise geral dos pontos protagonistas, observa-se que o processo de lixiviação natural (principalmente nos pontos 1 e 3) prevalece diante das demais influências. Isso porque uma das principais influências antrópicas para as águas, que é o lançamento de efluentes, até o momento é inexistente.

As cavas resultantes de materiais quimicamente inertes, como areia, minério de ferro, bauxita, cascalho, calcário e argila, tendem a refletir as características químicas do meio ambiente ao seu redor (GAMMONS *et al.*, 2009). Portanto, é comum que os lagos formados em tais cavas não apresentem riscos ambientais, a depender da forma como o processo minerário tenha sido feito.

Destaca-se ainda que para facilitar o entendimento dos comportamentos apresentados, foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de significância. Esse teste só é possível de ser aplicado aos parâmetros os quais foram realizadas réplicas em suas análises. Portanto, o teste não foi aplicado para os parâmetros analisados *in loco*. Assim, considerando os gráficos apresentados, destaca-se que as médias de cada parâmetro que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Médias seguidas por diferentes letras diferem entre si ao nível de 5% de significância.

5.2.1 pH

No que diz respeito a este parâmetro, conforme ilustra a Figura 10, nos pontos 2 e 3 nota-se um aumento considerável do pH se comparados aos demais pontos. Esse aumento, pode ter como principal influência a dissolução de minerais rochosos advindos do próprio solo, como o carbonato de cálcio (CaCO_3), um dos compostos provenientes de rochas calcárias.

Figura 10: Resultados de pH.

Fonte: Autoria própria (2023).

Segundo Silva e Araújo (2017) o aumento ou diminuição do pH dar-se principalmente em virtude de origens naturais, como a dissolução de rochas, a absorção de gases, a oxidação de matéria orgânica e a fotossíntese, ou pode ser causada por influências antropogênicas.

Os pontos 1 e 4 demonstraram-se tendentes a serem mais neutros. No ponto 1, provavelmente por ser um corpo hídrico pluvial bem mais recente, e no Ponto 4 devido as condições provenientes do próprio solo e equilíbrio entre os níveis de matéria orgânica e atividade fotossintética.

Consoante aos resultados obtidos por Jardim (2011), em análise da variação dos parâmetros avaliados nas estações de amostragem situadas ao longo do curso do rio das Velhas - RJ, a presença de florações de cianobactérias e algas pode ocasionar a elevação do pH em virtude do processo fotossintético que ocorre nesses organismos, no qual o gás carbônico é retirado da água, propiciando assim um meio alcalino. Em acordo, em sua discussão sobre processos químicos que ocorrem em lagos de cavas de mineração, Gammons *et al.* (2009) afirmam que a fotossíntese por algas, ciano-bactérias e plantas é um dos fatores responsáveis pelo aumento do pH da água em lagos de mineração.

Todos os pontos estão dentro dos intervalos estipulados pela legislação vigente quanto à qualificação e apropriação hídrica para o consumo humano, conforme ilustrado na Figura 10. A legislação em vigor para a potabilidade da água, especificamente a Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde, estabelece limites para os valores de pH, os quais devem estar compreendidos em uma faixa entre 6 e 9,5, a fim de que possa ser considerada potável.

No que se refere a possibilidade de uso das águas analisadas, o Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade (INCTSal) estabelece valores de determinados parâmetros físico-químicos que podem exercer influência no surgimento de problemas de obstrução em sistemas de irrigação localizada.

Assim, para o parâmetro de pH, Holanda *et al.* (2016) designam graus de restrição ao uso da água na irrigação (devido ao risco de obstrução em sistemas de irrigação localizada). Diante disso, observa-se que os pontos 1 e 4, apresentam pH de grau moderado de restrição ao uso para a irrigação, sendo considerados índices normais pelos autores. Já os pontos 2 e 3, sobressai o limite estipulado e apresenta grau severo de restrição ao uso para irrigação.

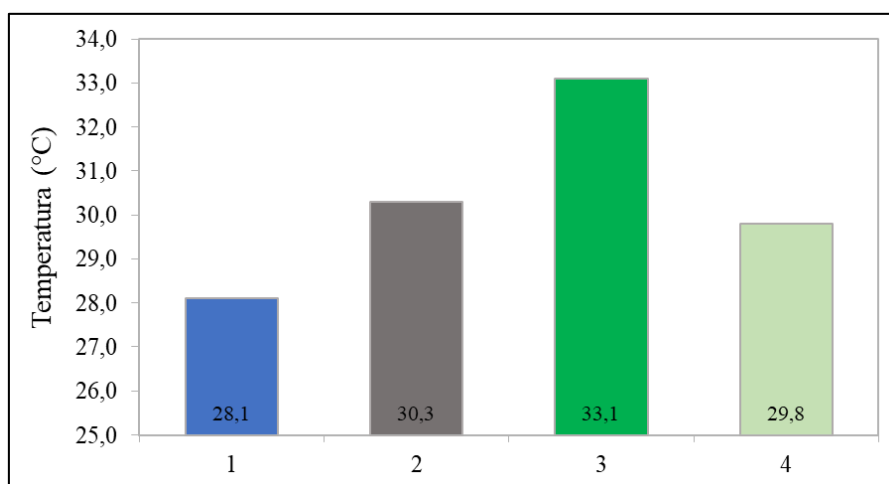
5.2.2 Temperatura

No parâmetro de temperatura, os horários de coleta demonstraram concordância com os valores obtidos. Assim, como os pontos 1 e 2 foram analisados um pouco mais cedo, a irradiação solar na região semiárida ainda não havia apresentado significância no aumento de temperatura das águas.

Já no ponto 3, nota-se um aumento considerável na temperatura, isso devido ao horário de coleta no mesmo (aproximadamente 12h) e também a influência rochosa de reflexão e condução da radiação solar (FIGUEIREDO *et al.*, 2008). O ponto 4, apesar de ser próximo do ponto 3, apresentou-se com uma temperatura menor, isso devido a menor concentração rochosa e ser de uma área mais fechada e com menos exposição solar superficial.

A Figura 11 ilustra os valores obtidos nos pontos de amostragem.

Figura 11: Resultados de temperatura em °C.

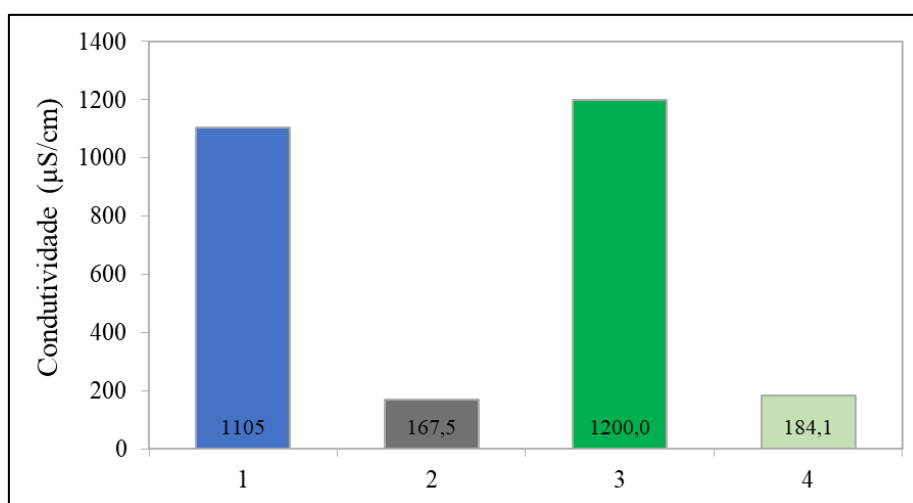


Fonte: Autoria própria (2023).

5.2.3 Condutividade e Salinidade

A presença da matriz rochosa em uma determinada região pode exercer uma considerável influência nos níveis de condutividade e salinidade da água. Tal influência decorre do fato de que a composição das rochas pode afetar tanto a quantidade quanto a natureza dos sais dissolvidos na água, além de sua capacidade de conduzir eletricidade (GAMMONS *et al.*, 2009). Esse fator, torna-se evidente na análise dos pontos, como ilustra a Figura 12, no qual os pontos 1 e 3 (referentes as cavas de mineração) apresentaram valores extremamente maiores quem os pontos 2 e 4.

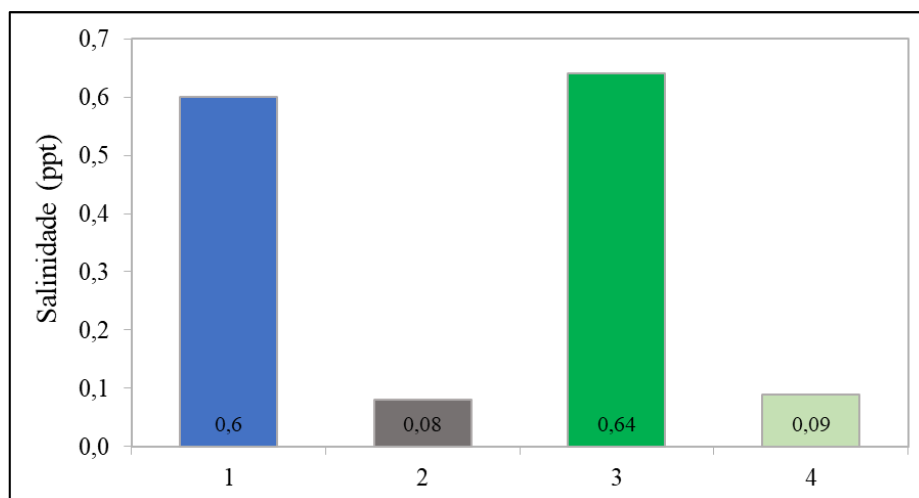
Figura 12: Resultados de condutividade em $\mu\text{S}/\text{cm}$.



Fonte: Autoria própria (2023).

Os resultados obtidos referentes aos parâmetros de condutividade e salinidade nos quatro pontos de amostragem apresentaram os mesmos comportamentos, tanto em relação da natureza da análise (concordância dos índices de condutividade e salinidade), como na especificidade característica de cada ponto.

Na Figura 13 segue os resultados obtidos para o parâmetro de salinidade.

Figura 13: Resultados de salinidade em ppt.

Fonte: Autoria própria (2023).

Andrade Jr. *et al.* (2006) concluíram, após avaliar 225 poços de água em 29 municípios do Piauí, que os poços situados na formação Serra Grande são propícios para uso em irrigação devido à sua alta vazão e baixa concentração de sais. Em contrapartida, os poços situados no embasamento cristalino do município de Simões apresentaram alta salinidade, o que os torna impróprios para este fim (HOLANDA *et al.*, 2016). Assim, a depender da região e influências do meio, observa-se certa tendência dos sais acumulados das rochas, juntamente a evaporação, aumentar significativamente os níveis de salinidade da água (GAMMONS *et al.*, 2009).

Na Resolução CONAMA n° 357/05 e na Portaria 518/04 do Ministério da Saúde, não há menção a um limite específico para estes parâmetros. Contudo, em termos de salinidade, conforme as classificações estabelecidas na resolução CONAMA n° 357/05 os corpos hídricos se encaixam no inciso “T”, como águas doces (BRASIL, 2005).

Sabe-se que o alto teor de salinidade pode prejudicar o crescimento das plantas. Em virtude disso, é fundamental verificar a qualidade da água utilizada para a irrigação, a fim de garantir que os níveis de salinidade sejam mantidos dentro dos limites adequados (Holanda *et al.*, 2009).

Quanto a este parâmetro, e consequentemente o de condutividade, a classificação elaborada pelo Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos, situado em Riverside, Califórnia, e liderado por Richards (1954), apesar de possuir certas limitações sobressai em relação a outras e permanece sendo a mais empregada até os dias atuais. Diante das interpretações expostas por Holanda *et al.* (2016), tem-se que os pontos 1 e 3 enquadram-se na categoria C2 de média salinidade, ou seja, apresentam riscos moderados quanto a geração de problemas decorrentes de salinidade. Já os pontos 2 e 4, diante dos intervalos mencionados, demonstram valores abaixo

do mínimo para a classificação, o que induz a conclusos de que são pontos que não apresentam riscos de problemas gerados por estes parâmetros.

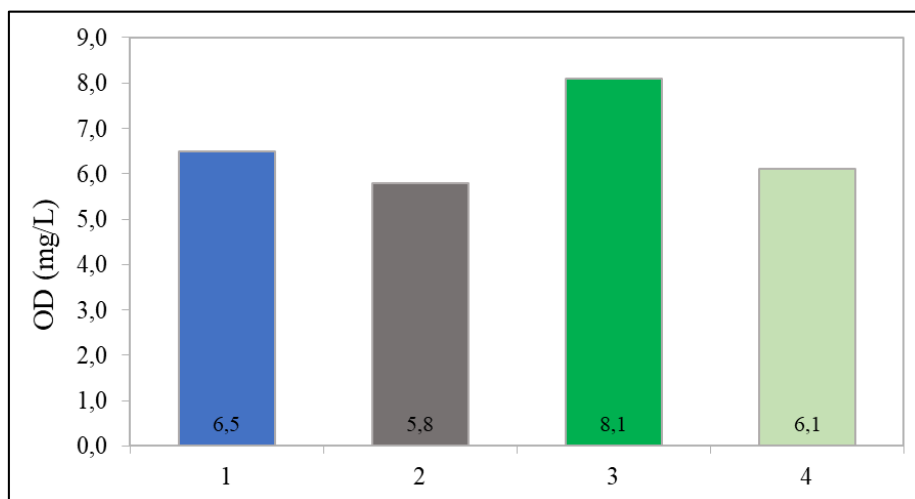
Como solução possível para a correção de índices mais elevados de salinidade, pode ser mobilizada a mistura ou diluição da água com uma água de baixa salinidade, com o intuito de deixá-la dentro do limite adequado. Assim, tornando em conformidade a água para o uso na irrigação.

5.2.4 Oxigênio Dissolvido

Na análise dos resultados deste parâmetro (Figura 14), mediante aos fatores que possivelmente podem infringir nos resultados obtidos, nota-se que no ponto 3 há um aumento considerável do oxigênio dissolvido na água. Isso, pode ser consequência de maiores taxas de fotossíntese no local, tendo em vista este ser o de maior concentração de algas e cianobactérias (SPERLING, 2014). Sabe-se que no processo de fotossíntese há a constituição como subproduto o oxigênio, o que consequentemente pode afetar sua concentração no corpo hídrico.

Os demais pontos apresentam-se com taxas mais próximas, demonstrando paralelamente concordância com as proximidades de suas altitudes, que variam entorno de 80-90m.

Figura 14: Resultados de oxigênio dissolvido em mg/L.



Fonte: Autoria própria (2023).

De acordo com as disposições estabelecidas na Resolução CONAMA nº 357/05, é estipulado que o VMP para o oxigênio dissolvido em qualquer amostra de águas doces de Classe 2 não deve ser inferior a 5 mg/L. Diante disso, fica evidente que os valores obtidos em todos os pontos estão de acordo com o que estabelece a norma.

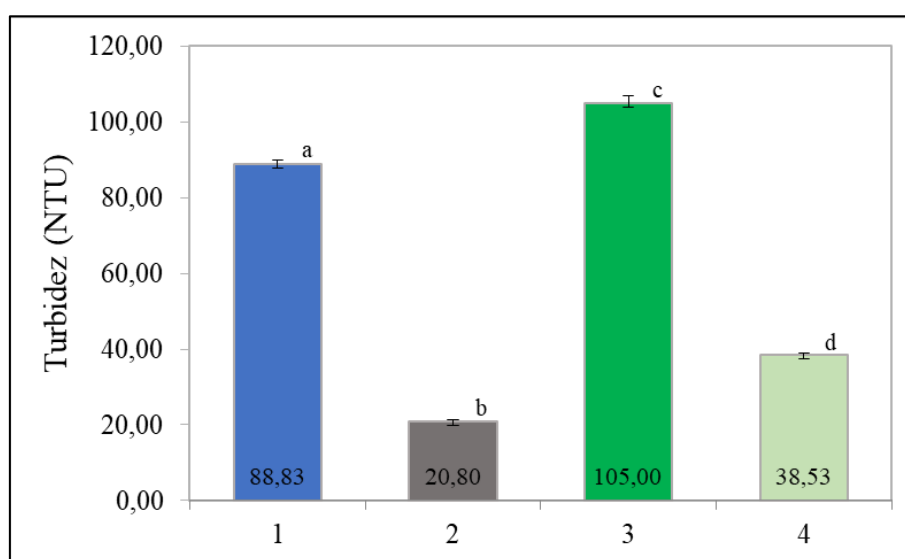
Não há legislação específica que estipule limites de oxigênio dissolvido na água para a irrigação. Porém, sabe-se que este parâmetro é bastante importante, tendo em vista que as raízes das plantas necessitam de oxigênio para a realização da respiração celular e absorção de nutrientes (PAULILO; VIANA; RANDI, 2015).

5.2.5 Turbidez

O parâmetro de Turbidez analisado nos corpos hídricos condiz com o observado visualmente (Figura 15). No ponto 1, por exemplo, os efeitos gerados pela mineração nas áreas de extração são influentes no aumento da turvação do corpo hídrico receptor, no qual este, por sua vez, apresenta uma turbidez maior que os ponto 2 e 4.

Já o ponto 3, apresenta o maior índice comparado aos demais. Contudo, diferentemente do ponto 1, a principal causa desse efeito é outra. Neste caso, o principal percussor é a quantidade de matéria orgânica e concentração de algas e cianobactérias. Os pontos 2 e 4 vêm seguidamente, em ordem condizente com a de sólidos suspensos de cada corpo.

Figura 15: Resultados de turbidez em NTU.



* As médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Fonte: Autoria própria (2023).

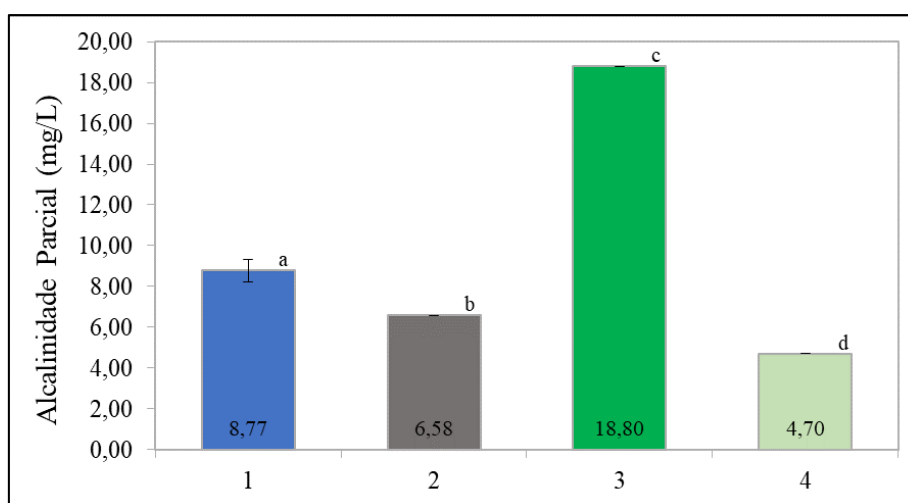
A Resolução nº 357/05 do CONAMA estabelece que as águas doces de Classe 2 devem apresentar um VMP (Valor Máximo Permitido) de 100 NTU (Nephelometric Turbidity Unit). Portanto, constata-se que os pontos 1, 2 e 4 estão dentro das conformidades com esta norma, porém o ponto 3 apresenta uma margem excedente de aproximadamente 5 NTU. Na Figura 15 estão expressos os resultados para esse parâmetro.

Não há uma legislação específica que estipule limites de turbidez da água para a irrigação, e, portanto, para este parâmetro, todos os pontos estão aptos a serem mobilizados.

5.2.6 Alcalinidade Parcial e Total

Referente a Alcalinidade parcial, conforme ilustrado na Figura 17, os pontos 1 e 3 apresentam valores mais significativos que os demais pontos, porém ambos expressam condições e motivações distintas quanto a inerência destes valores. No caso do ponto 1, a dissolução de minerais rochosos pode deduzir influência significativa (GAMMONS *et al*, 2009). No ponto 3, caracterizado por ser o de maior índice, o destaque vai para processo de decomposição da matéria orgânica e a alta taxa respiratória dos microrganismos, através da dissolução do gás carbônico na água (SPERLING, 2014). Já nos pontos 2 e 4, observa-se a prevalência de matéria orgânica advinda principalmente da decomposição de plantas aquáticas e excrementos urinários e fecais de animais dispostos nos locais.

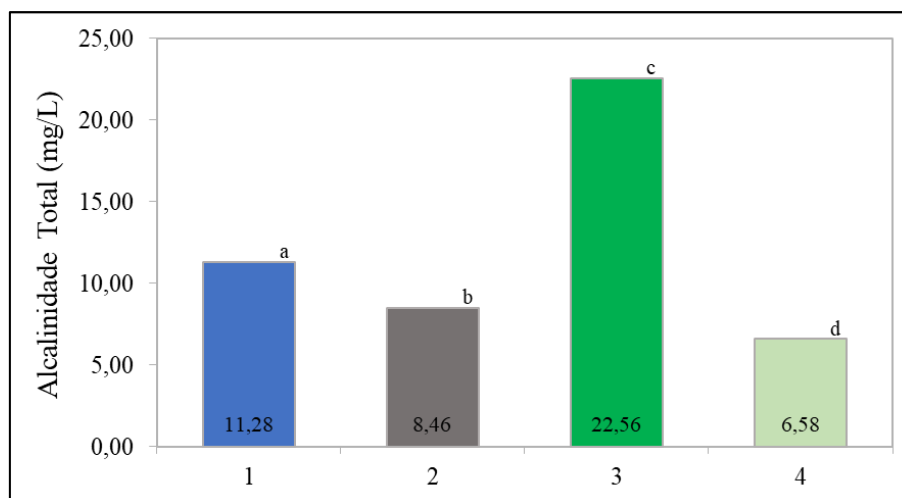
Figura 16: Resultados de alcalinidade parcial em mg/L.



* As médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Fonte: Autoria própria (2023).

Vale salientar que os índices de alcalinidade total apresentaram o mesmo comportamento dos da alcalinidade parcial. A Figura 17 ilustra os dados obtidos de alcalinidade parcial e total para cada ponto.

Figura 17: Resultados de alcalinidade total em mg/L.

* As médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Fonte: Autoria própria (2023).

Como já mencionado, a alcalinidade da água pode ser afetada por diversos fatores, tais como a presença de minerais solúveis como bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos, os quais apresentam a propriedade de neutralizar ácidos, e porventura, de fosfatos e silicatos (GARCIA; BARRETO, 2011).

No caso dos pontos de amostragem, a influência principal para este parâmetro nos corpos hídricos é a própria natureza do solo e indiretamente outros fatores secundários derivados dele. A dedução para isso está no fato da inexistência de deposição de efluentes nestas águas por ação antropogênica.

Elevados níveis de alcalinidade estão ligados ao processo de decomposição da matéria orgânica e à alta taxa respiratória dos microrganismos, bem como à liberação e dissolução de dióxido de carbono na água. Por outro lado, baixos níveis de alcalinidade estão relacionados à capacidade limitada de tamponar a água, o que pode levar a variações significativas no pH (GARCIA; BARRETO, 2011).

Tanto na Resolução do Conama n° 357/05 quanto na Portaria 518/04 do Ministério da Saúde, não é mencionado um limite máximo específico para esse parâmetro. Assim como também, Holanda *et al.* (2016) não englobam em suas discussões os parâmetros de alcalinidade parcial e total, mas destacam a relação do pH para a qualificação da água para irrigação.

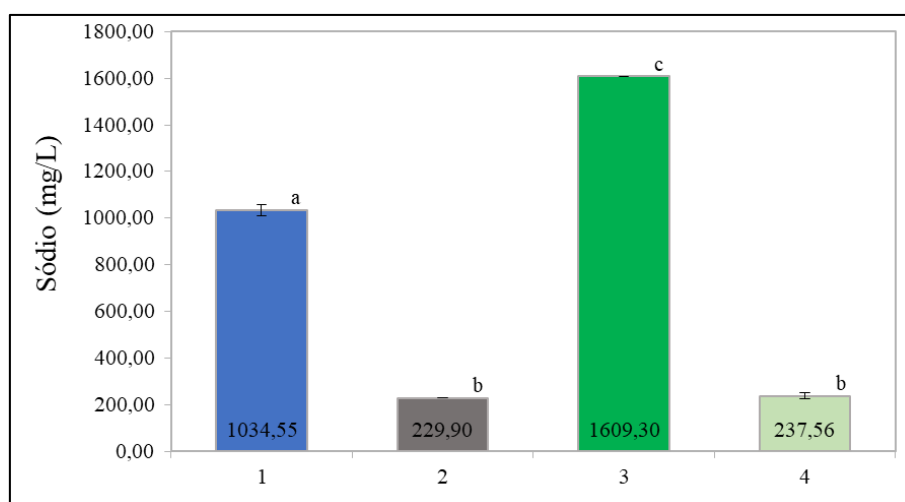
5.2.7 Sódio, Potássio e Cloreto

A origem dos íons de Sódio (Na^+), Potássio (K^+) e Cloreto (Cl^-) podem ser diversas, contudo, em termos situacionais dos pontos em questão, suas principais fontes são a lixiviação e dissolução de minerais que compõe as rochas (SPERLING, 2014).

Na apuração gráfica desses parâmetros através dos dados obtidos, observa-se uma relação direta destes com a condutividade e salinidade da água. Estas últimas, por sua vez, designam-se pela quantidade de íons presentes na água. Na^+ , K^+ e Cl^- são íons comumente encontrados na água e que contribuem para a condutividade e salinidade (composição de sais a partir da prevalência desses íons no meio). À medida que a concentração desses íons aumenta na água, maior será a salinidade e, consequentemente, maior será a condutividade elétrica. Logo, não é à toa a semelhança de comportamento dos gráficos gerados para todos estes parâmetros.

Para o Sódio (Figura 18), os pontos 1 e 3 se sobressaíram com os maiores índices (ultrapassando os 1000 mg/L). O ponto 3, em específico, demonstrou um alto excedente se comparado aos demais pontos, devido ser o ponto que mais sofreu com os processos de lixiviação e processos intempéricos naturais sem a influência humana. Em consequência disso, esse ponto demonstra ter os maiores índices não só dos parâmetros analisados nesse item, como também na maioria dos demais. Seguidamente, os pontos 2 e 4 apresentam valores consideravelmente próximos, não diferindo estatisticamente entre si.

Figura 18: Resultados de sódio em mg/L.



* As médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Fonte: Autoria própria (2023).

Conforme explica Nascimento (2020), é importante levar-se em consideração a sodicidade da água a ser mobilizada, que é a concentração de sódio na água e que por sua vez tem grandes potenciais a causar a toxidade das plantas.

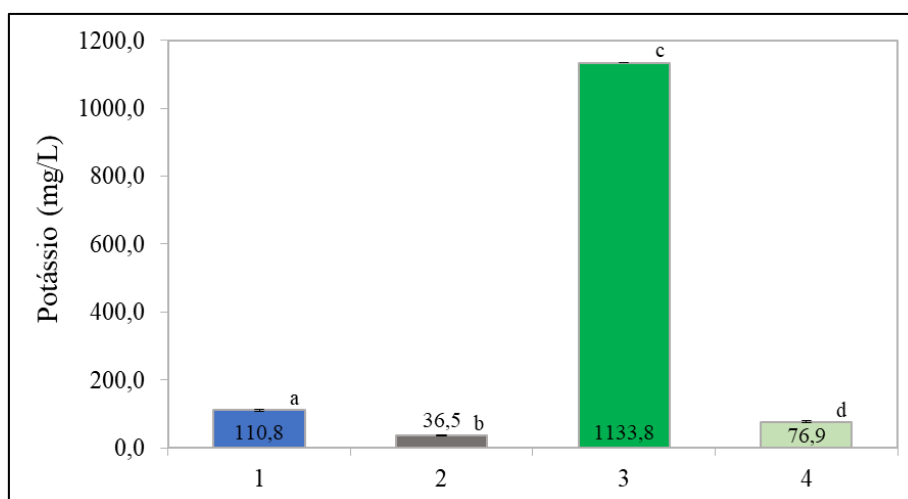
Consoante a Portaria nº 518/04 do Ministério da Saúde, o VMP (valor máximo permitido) de sódio para consumo humano é de 200 mg/L. Logo, todos os pontos mostram-se excedentes a esse limite e não atendem o requisito para consumo humano.

Holanda *et al.* (2016) estipulam um limite para a concentração de sódio na água destinada para irrigação de 920 mg/L. Nota-se então, que os pontos 1 e 3 ultrapassam o valor estabelecido, o que constitui um ponto negativo perante a qualidade hídrica para este uso. Já os pontos 2 e 4 estão dentro do limite estabelecido.

Com relação ao potássio (Figura 19), especialmente no ponto 3, constata-se neste corpo hídrico uma elevadíssima concentração de potássio, o que condiz com a quantidade de plantas aquáticas no local. Por ser um macronutriente absorvido em grande quantidade pelas plantas, o um elemento essencial para o crescimento e metabolismo das plantas. Nas plantações, ele é preferido em relação aos demais metais alcalinos devido ao seu comportamento caotrópico (FERREIRA *et al.*, 2023). Além disso, solos originados a partir do granito apresentam elevadas concentrações de potássio devido à presença do mineral mica (SILVA, 2005).

A presença de matéria orgânica mineralizada, também é um dos principais fatores que podem influenciar no índice de Potássio na água (FERNANDES, 2020).

Figura 19: Resultados de potássio em mg/L.



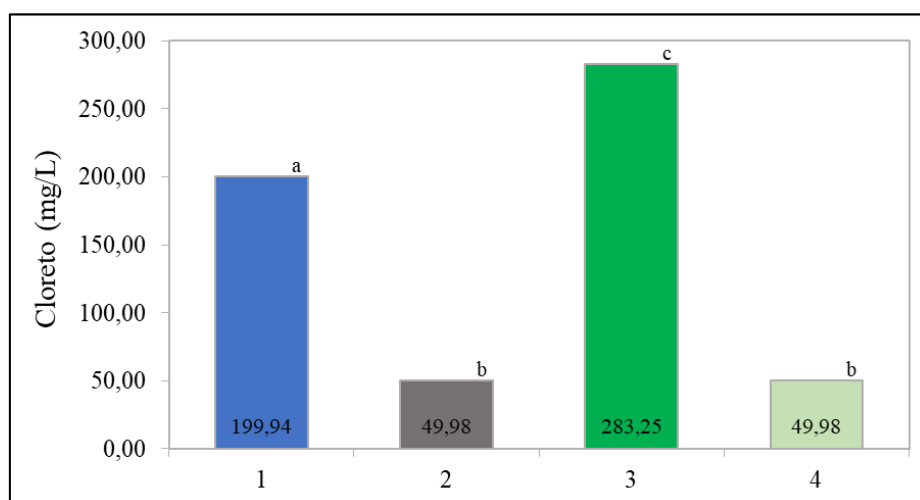
* As médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Fonte: Autoria própria (2023).

A Resolução do Conama n° 357/05 e a Portaria 518/04 do Ministério da Saúde não estabelecem limites para este parâmetro. Para fins de irrigação, Holanda *et al.* (2016) delimitam um valor máximo de potássio de 78,2 mg/L. Diante dos valores obtidos, observa-se que todos os pontos 1 e 3 ultrapassam este valor. Entretanto, os pontos 2 e 4 estão dentro deste limite.

E por fim, em relação ao cloreto (Figura 20), tem-se que, consoante a mesma legislação, o VMP é de 250mg/L. Neste caso, todos os pontos estão dentro do limite, permitindo-se concluir que para este parâmetro eles poderiam ser consumidos por seres humanos.

Figura 20: Resultados de cloreto em mg/L.



* As médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Fonte: Autoria própria (2023).

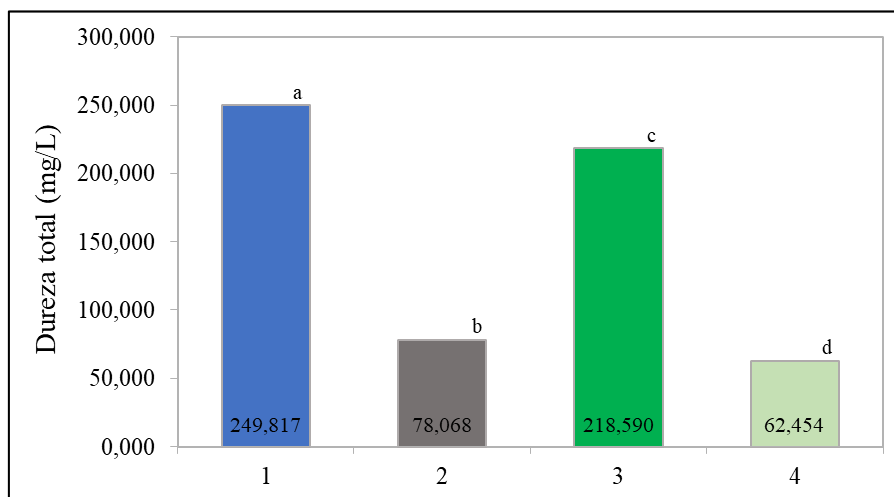
Segundo Nascimento (2020), o excesso de Cl^- gera clorose e necrose nas bordas das folhas, e, portanto, é necessário levar-se em consideração os níveis deste parâmetro na água utilizada para irrigação. Holanda *et al.* (2016) destacam para valores normais de cloreto um limite de 1.063,6 mg/L, o que consequentemente constata-se que todos os pontos estão dentro desse limite correspondente.

5.2.8 Dureza total, Cálcio e Magnésio

O cálcio (Ca^{2+}) e o magnésio (Mg^{2+}) são dois íons bastante presentes em águas naturais, cuja elevada concentração os torna responsáveis pela "dureza" da água. A presença desses íons na água pode ter benefícios para a saúde, porém, quando em excesso, podem causar diversos transtornos, tais como a precipitação de incrustações nas tubulações e equipamentos e a interferência na ação de detergentes (SPERLING, 2014).

A Dureza total (DT), é resultado da ocorrência predominante de sais alcalinos terrosos, como o Ca^{2+} e o Mg^{2+} , ou outros metais bivalentes, em uma intensidade relativamente menor (SILVA *et al.*, 2011). A Figura 21 expressa graficamente os dados obtidos para dureza total.

Figura 21: Resultados de dureza total em mg/L.



* As médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

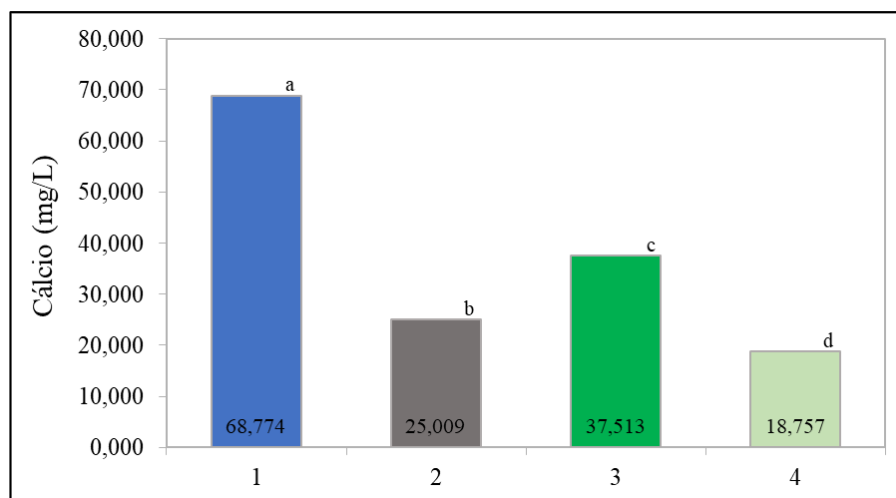
Fonte: Autoria própria (2023).

De acordo com a classificação das águas, em termos de dureza (em CaCO_3), designada por Sperling (2014), tem-se que os pontos 1 e 3 se enquadram como águas duras. Já os pontos 2 e 4, diante dos valores obtidos, se encaixam como águas com dureza moderada.

A Resolução nº 357/05 do CONAMA não estabelece um limite para a variável de dureza total. No entanto, a Portaria nº 518/04 do Ministério da Saúde determina um limite de 500 mg/L de CaCO_3 para que a água possa ser considerada adequada para consumo humano. Com base nesse padrão, todas as amostras analisadas estão dentro dos limites estabelecidos.

Com relação ao cálcio, tem-se que ele é um nutriente essencial para a vida animal e sua presença em concentrações elevadas é pouco prejudicial ao organismo. Esse íon é encontrado abundantemente em águas naturais, sendo proveniente de rochas calcárias e de minerais presentes em rochas (GARCIA; ALVES, 2006).

A Figura 22, ilustra os dados obtidos para este parâmetro.

Figura 22: Resultados de cálcio em mg/L.

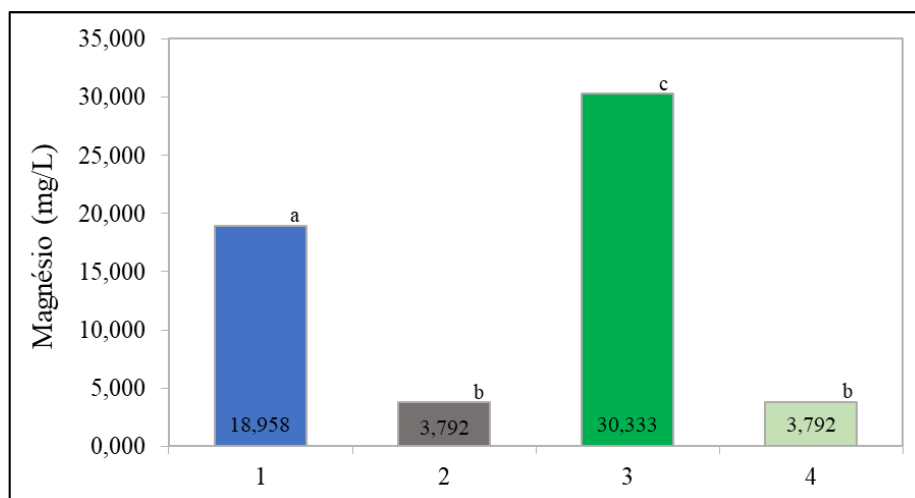
* As médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Fonte: Autoria própria (2023).

Na legislação brasileira, não existe um valor máximo fixado por lei para a concentração de cálcio em águas destinadas ao consumo humano. Contudo, para fins de irrigação, Holanda *et al.* (2016) destacam para valores normais um limite de 801,6 mg/L. Diante disso, constata-se que todos os pontos estão dentro das condições normais para este parâmetro segundo os autores.

Com relação ao magnésio, tem-se que elevadas concentrações dele não representam riscos à saúde e à vida aquática, sendo avaliadas principalmente por meio da palatabilidade da água, já que quando presentes em quantidades elevadas, conferem um sabor amargo (GARCIA; ALVES, 2006). Na análise dos valores obtidos para este parâmetro, nota-se um comportamento semelhante ao de cloreto. Isso induz hipóteses de que há uma correlação entre estes valores, bem como as formas de origem destes sais, e até mesmo a prevalência de composições entre eles, como é o caso do Cloreto de Magnésio ($MgCl_2$) (MARTINS, 2022).

A Figura 23 ilustra os dados obtidos para este parâmetro.

Figura 23: Resultados de magnésio em mg/L.

* As médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Fonte: Autoria própria (2023).

Assim como o cálcio, a legislação brasileira não estipula limites para o parâmetro de magnésio. Porém, sabe-se que em excesso, ele tem o potencial de causar incrustações em tubulações (GARCIA; ALVES, 2006). Na avaliação da qualidade da água para irrigação, Holanda *et al.* (2016) expõem um valor limite de aproximadamente 121,5 mg/L. Á vista disso, nota-se que todos os pontos, para este parâmetro e finalidade, estão dentro das conformidades.

5.2.9 Sólidos Dissolvidos Totais

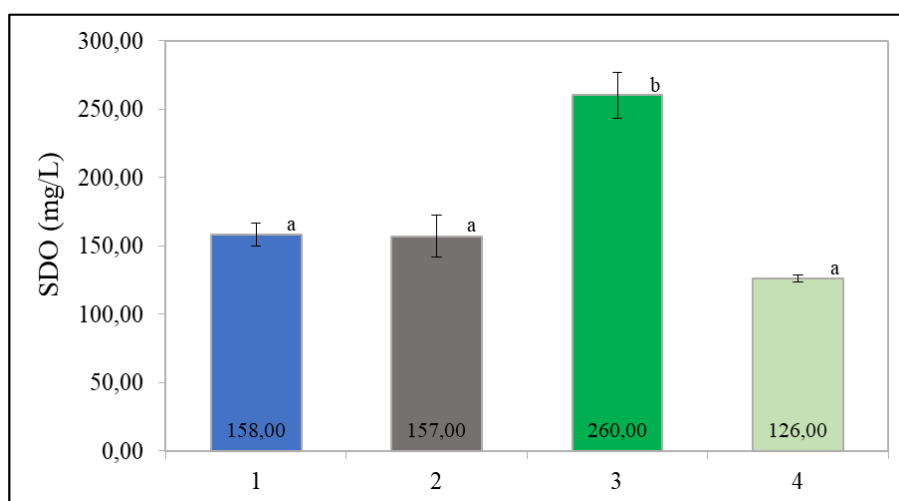
Os sólidos dissolvidos totais presentes na água consistem em todas as substâncias que se encontram em solução, tais como sais, minerais, metais, compostos orgânicos e inorgânicos, ácidos e bases. Essas substâncias podem ser naturalmente dissolvidas na água a partir de fontes como rochas, solo, material orgânico em decomposição, atividades humanas e poluição (SPERLING, 2014). A avaliação dos sólidos dissolvidos totais é essencial para a determinação da qualidade da água, uma vez que altas concentrações podem impactar negativamente o seu sabor, odor, cor e, potencialmente, afetar a saúde humana e a vida aquática do local.

Diante da apuração dos dados obtidos, constata-se um comportamento geral semelhante na quantidade de sólidos dissolvidos com os comportamentos dos gráficos gerados para cada tipologia de nutriente. Claramente, possuindo algumas variâncias devido à natureza do meio ambiente, porém essa semelhança é cabível de ser considerada.

Apesar de desvios padrões acentuados (de aproximadamente 10%), a coerência físico-química dos valores obtidos é notória, até mesmo levando-se em consideração a percepção

visual de cada ponto. A exemplo disso, como ilustrado na Figura 24, tem-se a quantidade de SDO do ponto 3 maior que os demais pontos, evidenciando ainda mais a proposição de ser o local que contém maior quantidade de matéria orgânica. Já os pontos 1,2 e 4, possuem valores estatisticamente iguais perante o índice de SDO.

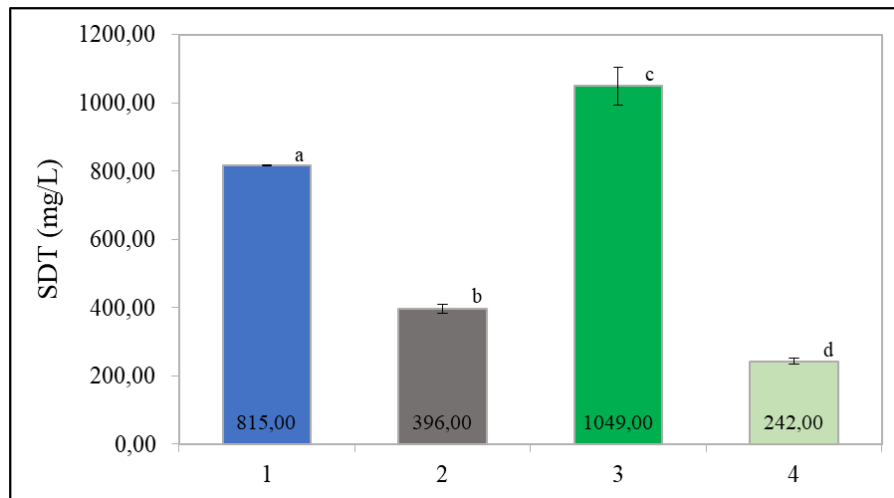
Figura 24: Resultados de SDO em mg/L.



* As médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

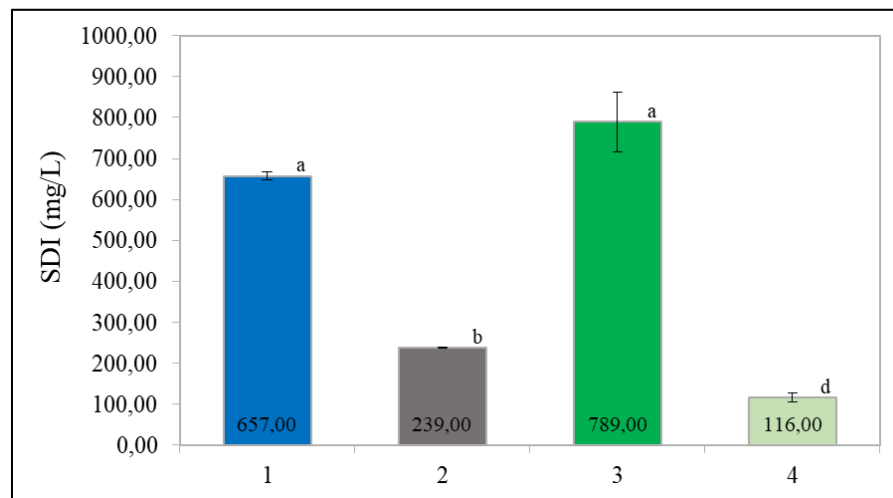
Fonte: Autoria própria (2023).

Em relação os índices de SDT e SDI (Figuras 25 e 26, respectivamente), há um comportamento semelhante entre os gráficos gerados. Consta-se a ordem do ponto 3 prevalecendo com a maior índice, devido à alta concentração de nutrientes advindos da presença de matéria orgânica e influência da lixiviação de substâncias do solo. Em seguida, vem o ponto 1, em correspondência ao índice de turbidez observado (ao qual denota-se a presença de sedimentos particulados finos advindos do solo exposto ao processo extrativista). E Por fim, os pontos 2 e 3 representantes da influência natural do meio ao qual estão expostos.

Figura 25: Resultados de SDT em mg/L.

* As médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 26: Resultados de SDI em mg/L.

* As médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Fonte: Autoria própria (2023).

A Portaria nº 518/04 do Ministério da Saúde estipula um limite de sólidos dissolvidos totais, para consumo, de 1000 mg/L. Já o a Resolução CONAMA nº 357/05 esse valor é de 500 mg. Para fins de irrigação, Holanda *et al.* (2016) demonstram um limite de 2000 mg/L. Com base nisso, nota-se que todos os pontos estão dentro intervalo de valores normais para o uso na irrigação.

5.2.10 Nitrato

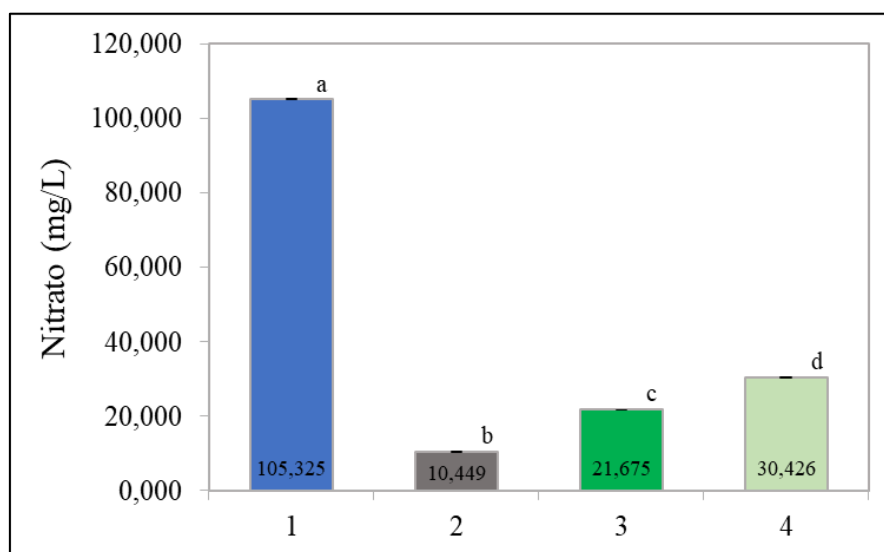
O nitrato (NO_3^-) é uma importante fonte de nitrogênio para as plantas e, por essa razão, é amplamente utilizado na agricultura como fertilizante. Além disso, ele pode ser encontrado naturalmente no solo, na água subterrânea e na atmosfera (SPERLING, 2014).

O aumento significativo do teor de nitrato em lagos provenientes de cava de mineração pode ser explicado pelo processo de lixiviação dos compostos explosivos que contêm nitrato, bem como pela utilização de fertilizantes nitrogenados em prováveis áreas agrícolas circunvizinhas. Além disso, é possível que a escavação da mina possa interferir no fluxo de água subterrânea, contribuindo para a lixiviação de nitrato presente nas rochas (devido aos resquícios explosivos) e solos.

Em análise deste parâmetro nos pontos de amostragem (Figura 27), constata-se um alto nível de nitrato no ponto 1, referente a cava de mineração ativa. Isso, torna evidente a influência direta do processo de mineração de brita na composição química da água exposta neste local, tendo em vista que o ANFO (material explosivo) é composto por 95% de nitrato de amônio.

Nos pontos 2,3 e 4, as motivações para os valores obtidos decaem para a lixiviação do solo e da decomposição da matéria orgânica presente no local (PARRON; MUNIZ; PEREIRA, 2011). Ao se decompor, a matéria orgânica libera ao meio íon amônio (NH_4^+) que por sua vez pode ser sucessivamente oxidada até gerar-se o nitrato.

Figura 27: Resultados de nitrato em mg/L.



* As médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Fonte: Autoria própria (2023).

Na Portaria nº 518/04 do Ministério da Saúde, em concordância com a Resolução CONAMA nº 375/05, o VMP do nitrato é de 10mg/L. Á vista disso, analisando os dados obtidos para este parâmetro, todos os pontos mostram-se excedentes ao limite estipulado para consumo humano. Em especial, o ponto 1, ao qual chega a ser, aproximadamente, dez vezes maior que o limite designado pela legislação vigente.

Conforme especifica Ayers e Westcot (1991), concentrações de nitrogênio (ou nitrato) na água acima de 30 mg/L exercem riscos severos de desequilíbrio nutricional nas plantas exigem atenção redobrada no ato de utilizar a água para este fim.

Desse modo, a partir da apuração e discussão dos resultados obtidos até o momento, foi possível verificar a viabilidade de uso dessas águas para determinados fins.

6. CONCLUSÕES

Diante de todos os procedimentos realizados e resultados obtidos, foi observado a influência espacial nos parâmetros físico-químicos de diferentes pontos de amostragem. Estes que, por sua vez, estão situados em cavas de mineração de brita (ativa e inativa) e reservatórios próximas a elas. Portanto, verificou-se a variabilidade nos parâmetros de pH, condutividade, temperatura, oxigênio dissolvido, salinidade, turbidez, alcalinidade parcial e total, dureza total, cálcio, magnésio, sódio, potássio, cloreto, nitrato e sólidos dissolvidos totais.

Nas análises dos parâmetros supracitados, constata-se que os índices de oxigênio dissolvido, turbidez, condutividade, salinidade, sódio e potássio apresentaram os mesmos comportamentos gerais. Isso mostra que as características individuais de cada ponto permitem a distinção dos diferentes fatores que podem vir a inferir na qualidade hídrica, devido intensidade das influências geradas pelo meio ao qual estão inseridos. Pequenas exceções comportamentais como o cloreto e o magnésio, ocorrem devido a semelhança, em alguns aspectos, dos pontos 2 e 4. A exemplo disso, tem-se que ambos são corpos hídricos próximos a zonas de mineração de brita, possuem maiores quantidades de água, e têm como principal influência a ação da natureza.

Nota-se ainda, no geral, a prevalência de índices maiores nos pontos 1 e 3. Apesar de ambos serem cavas de mineração, os determinantes para a ocorrência desses valores são distintos. O primeiro ponto, de menor quantidade hídrica, sofre a influência direta do processo minerário e dos fatores subjacentes, já o ponto 3, demonstra ser eutrofizado devido ao acúmulo hídrico de alguns anos e constante processo de lixiviação e evaporação. Neste último, a presença de matéria orgânica é bastante notória.

Assim, a verificação de viabilidades de uso das águas dos pontos em questão, para os parâmetros pré-estabelecidos, pode ser obtida através das regências contidas na Tabela 1, constada no Apêndice - A. Vale salientar que, devido às limitações, não é possível a afirmação de adequação integral das águas para os usos instituídos, tendo em vista que o presente trabalho é de natureza investigativa. Para a verificação integral de viabilidade de uso, seria necessário análises complementares, incluindo outros parâmetros físico-químicos (como análises de metais pesados, nitrito, amônia, sulfato, fósforo, dentre outras) e análises microbiológicas (como coliformes totais e coliformes fecais, por exemplo).

Além disso, fatores de correção podem vir a ser mobilizados como forma de adequação dos parâmetros que excedem os limites presentes na legislação, como por exemplo, a diluição, o incremento de substâncias e tratamento com filtros.

REFERÊNCIAS

- ABDALLA, K.V.P., CAVALCANTE, P.R.S., NETO, J.P.C., BARBIERI, R., NETO, M.C.M., 2010. **Avaliação da Dureza e das Concentrações de Cálcio e Magnésio em Águas Subterrâneas da Zona Urbana e Rural do Município de Rosário-MA**. Disponível: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22915/15056>. Acesso: 15 abr. 2023.
- ALBANO, Gleydson Pinheiro; SÁ, Alcindo José de. Políticas públicas e globalização da agricultura no Vale do Açu-RN. **Revista de Geografia**. Recife: UFPE–DCG/NAPA, Vol. 25, Nº. 2, maio/agosto de 2008, p. 58-80.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 18 th ed. Washington: APHA. 2005.
- ANDRADE Júnior, A. S. de; SILVA, E. F. F.; BASTOS, E. A.; MELO, F. B.; LEAL, C. M. Uso e qualidade da água subterrânea para irrigação no Semi-Árido piauiense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p.873-880, 2006.
- ARAÚJO, Bruna Marcela Soares de. **CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DOS CONCENTRADOS METÁLICOS DE ROCHAS PEGMATÍTICAS E SUA EXTRAÇÃO NO SEMIÁRIDO NORDESTINO**. 2016. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mineral, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.
- ARAUJO, Jacqueline Madalena de Melo. **Impactos Sócio Ambientais da Mineração de Brita no Município de Jaboatão dos Guararapes**: estudo de caso da mineração Usibrita. 2011. 85 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. 1. ed. Campina Grande: UFPB, 1991. 218p. FAO Estudos de Irrigação e Drenagem, 29.
- BACCI, Denise de La Corte; LANDIM, Paulo Milton Barbosa; ESTON, Sérgio Médici de. **Aspectos e impactos ambientais de pedreira em área urbana**. Rem: Revista Escola de Minas, [S.L.], v. 59, n. 1, p. 47-54, mar. 2006. FapUNIFESP (SciELO).
- BARRETO, Angélica *et al.* CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Geodiversidade do Estado Do Rio Grande do Norte**: Programa Geologia do Brasil - Levantamento da Geodiversidade. 1. ed. Rio de Janeiro: CPRM, 2010. 227 p. v. 1. ISBN 978-85-7499-082-8.
- BARRETO, Maria Laura. **Mineração e desenvolvimento sustentável: desafios para o Brasil**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2001. 215p.
- BECKER, H. **Controle analítico de águas**. Fortaleza – CE, Versão 4. 2008, p. 46.
- BELTRÃO, Breno Augusto *et al.* CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **PROJETO CADASTRO DE FONTES DE ABASTECIMENTO POR ÁGUA SUBTERRÂNEA ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE**: diagnóstico do município de açu. Recife, 2005.

27 p. SSS. Disponível em: https://rigeo.cprm.gov.br/bitstream/doc/16103/1/rel_acu.pdf. Acesso em: 21 abr. 2023.

BITAR, Omar Yazbek. **Avaliação da recuperação de áreas degradadas por mineração na Região Metropolitana de São Paulo**. Tese - (Doutorado). Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia de Minas. São Paulo 1997,183p.

BONUMÁ, Nadia Bernardi. **AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA SOB IMPACTO DAS ATIVIDADES DE IMPLANTAÇÃO DE GARIMPO NO MUNICÍPIO DE SÃO MARTINHO DA SERRA**. 2006. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

BRASIL. Agência Nacional de Águas - ANA. **Unidade 3: variáveis e parâmetros de qualidade de águas em rios e reservatórios**. In: ANA – Agência Nacional de Águas. Monitoramento da qualidade da água em rios e reservatórios. Brasília: Agência Nacional das Águas, 2020. Disponível em: <https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/handle/ana/2227>. Acesso em: 11 de mar. de 2023.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução CONAMA nº 375 de 17 de março de 2005**. Brasília: CONAMA, 2005. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso em: 11 de mar. de 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo. **Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, DF, 14 dez. 2011. Seção 1, p. 39-46.

BRASIL. Ministério da saúde. **Portaria MS nº 518, de 25 de março de 2004**. Qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade e dá outras providências. Disponível em <http://dtr2001.saude.gov.br/sas/PORTARIAS/Port2004/GM/GM-518.htm>. Acesso em 11 de mar. de 2023.

BRASIL. **Portaria de consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017**. Disponível em: http://portalsinan.saude.gov.br/images/documentos/Legislacoes/Portaria_Consolidacao_5_28_SETEMBRO_2017.pdf. Acesso em: 07 mai. 2023.

CARDOSO, Fernando Henrique. **POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS: lei federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Lei Federal nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997. 1997. Disponível em: <https://defesacivil.uff.br/wp-content/uploads/sites/325/2020/10/PNRH-Lei-9433-8jan97.pdf>. Acesso em: 11 mar. 2023.

CASTENDYK, D. N.; EARY, L. E. **Mine pit lakes: characteristics, predictive modeling and sustainability**. Littleton, Colorado, USA: SME, 2009. p. 304.

CHIOSSI, N., CASADEI, D.S., MAGLIO, I.C., FONTES, J.A.M., POLETTTO, C., FRISCHENBRUDER, M.M., **A degradação ambiental provocada pela exploração mineral na Região Metropolitana de São Paulo, Brasil: diagnóstico e propostas para seu controle e prevenção**. Congresso Latino-Americano de Geologia, 5., 1982, Buenos Aires,V.3, P. 207- 226.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Ficha de Informação Toxicológica**. São Paulo: CETESB, 2016. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2013/11/Pot%C3%A1ssio.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2023.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Índice de Qualidade das Águas**. São Paulo: CETESB, 2005. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguassuperficiais/108-indices-de-qualidade-das-aguas>. Acesso em: 21 abr. 2023.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Qualidade das águas subterrâneas no Estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 2015. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/wp-content/uploads/sites/13/2013/11/Cetesb_QualidadeAguasSubterraneas2015_Web_20-07.pdf. Acesso em: 21 abr. 2023.

CORREIA, Bianca de Souza. **Monitoramento de Parâmetros Físico-Químicos e Microbiológicos do Riacho Araibu no Município de Russas-CE**. 2022. 56 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Russas, 2022.

CRUZ, Fernando. **A importância da análise de cloretos na água**. 2022. Disponível em: <https://baktron.com.br/a-importancia-da-analise-de-cloretos-na-agua/>. Acesso em: 15 abr. 2023.

FERNANDES, C. **Matéria orgânica no solo: o que é e quais são os benefícios**. 2022. Disponível em: <https://rehagro.com.br/blog/os-beneficios-da-materia-organica-no-fornecimento-de-nutrientes/>. Acesso em 15 mai. 2023.

FERNANDES, Laurianny de Sousa. **AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS PROVOCADOS PELA MINERAÇÃO DE BRITA NO SÍTIO MATA DOS GALDINOS, SÃO JOÃO DO RIO DO PEIXE PB**. 2022. 60 f. TCC (Graduação) - Curso de Licenciatura em Geografia, Centro de Formação de Professores - CFP, Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Cajazeiras, 2022.

FERREIRA, Paulo R.G. *et al.* **CORRELAÇÃO LINEAR ENTRE FOSFATO E POTÁSSIO EM IGARAPÉS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO EDUCANDOS, MANAUS-AM**: -. **Revista Contemporânea**, [S.L.], v. 3, n. 5, p. 3507-3520, 3 maio 2023. Semestral. South Florida Publishing LLC. <http://dx.doi.org/10.56083/rcv3n5-006>.

FERREIRA, Pedro Furtado *et al.* **Panorama da produção de potássio e o potencial brasileiro a exploração dos depósitos**. 2016. 58 f. TCC (Graduação) - Curso de Geologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2016. Disponível em: https://bdm.ufpa.br:8443/jspui/bitstream/pre-fix/906/1/TCC_PanoramaProducaoPotassio.pdf. Acesso em: 21 abr. 2023.

FIGUEIREDO, Edgar Romeo H.; GALINDO, Antonio C.; MOREIRA, José Antonio M.; LINS, Fernando Antonio P.L.. Condutividade térmica enrochas silicáticas cristalinas, com ênfase a rochas graníticas da província borborema, NE do Brasil, e sua correlação com parâmetros petrográficos e texturais. **Revista Brasileira de Geofísica**, [S.L.], v. 26, n. 3, p.

293-307, set. 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-261x2008000300003>.

FONSECA, F. 1989. **Os efeitos da mineração sobre o meio ambiente**. Brasil Mineral, v. 7, p. 74-80, 1989.

FONTES, Andrea Sousa. **VULNERABILIDADE À SALINIZAÇÃO DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DA BACIA DO RIO JACUIPE POR MEIO DE TRAÇADORES AMBIENTAIS**. 2008. 193 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2008.

FREITAS, Márcia Eliane Pereira de; MORAIS, Douglas Souza. COMPARAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENTRE OS EXPLOSIVOS EMULSÃO BOMBEADA E ANFO NO PROCESSO DE DESMONTE DE ROCHAS: um estudo de caso. **FINOM: HUMANIDADE & TECNOLOGIAS**, Paracatu - Mg, p. 349-367, jan-jul. 2020. Semestral.

FUNASA. Fundação Nacional da Saúde. **Manual de Controle da Qualidade da Água Para Técnicos que Trabalham em ETAs**. 2014. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/documents/20182/38937/Manual+de+controle+da+qualidade+da+%C3%A1gua+para+t%C3%A9cnicos+que+trabalham+em+ETAS+2014.pdf/85bbdbc-8cd2-4157-940b-90b5c5bcfc87>. Acesso em: 15 abr. 2023.

GAMMONS, C. H.; HARRIS, L. N.; CASTRO, J. M.; COTT P. A.; HANNA, B. W. **Creating lakes from open pit mines: processes and considerations - with emphasis on northern environments**. In CANADIAN TECHNICAL REPORT OF FISHERIES AND AQUATIC SCIENCES 2826, 2009. ISSN 0706-6457.

GARCIA, C. A. B.; ALVES, J. P. H. Qualidade da Água. Relatório de Pesquisa – LQA/UFS. São Cristóvão 2006. In: **Diagnóstico e avaliação da sub-bacia hidrográfica do Rio Poxim**. Relatório de Pesquisa. UFS/FAPESE. São Cristóvão: UFS, 2006.

GARCIA, C. A. B.; BARRETO, P. R. Condições ambientais e qualidade da água do açude Buri - Frei Paulo/SE. In: **Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Maceió: UFSE, 2011.

GONÇALVES, Luciana Viana. **QUALIDADE DA ÁGUA EM LAGOS DE MINERAÇÃO - ESTUDOS DE CASO: águas claras e riacho dos machados**. 2013. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

GUIMARÃES, Alexandre B. (Coord.). **Estudos de Impacto Ambiental - EIA**. São José, 1989. GUIMARÃES, Sílvia. **EXPLORAÇÃO DE PEDREIRAS PARA A PRODUÇÃO DE BRITAS NA REGIÃO DA GRANDE FLORIANÓPOLIS: ASPECTOS SÓCIOECONÔMICOS E AMBIENTAIS**. 1996. 82 f. Monografia (Especialização) - Curso de Ciências Econômicas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1996.

HOLANDA, José S. *et al.* **Manejo da Salinidade na Agricultura: estudos básicos e aplicados**. 2. ed. Fortaleza: Byte Systems - Soluções Digitais, 2016. Editores: Hans Raj Gheyi; Nildo da Silva Dias; Claudivan Feitosa de Lacerda; Enéas Gomes Filho.

JARDIM, Bárbara Fernanda de Melo. **Variação dos parâmetros físicos e químicos das águas superficiais da bacia do Rio das Velhas-MG e sua Associação com as florações de cianobactérias**. 2011. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Saneamento, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

KOPPE, J. C.; COSTA, J. F. C. L. **Operações de lavra em pedreiras**. In: **Manual de agregados para a construção civil**. 2.ed. Cap.7. p.127-145. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2012.

LA SERNA, Humberto Almeida; REZENDE, Márcio Marques. 2009. **Agregados para a construção civil**. In: Rodrigues A.F.S. (Coord.). Economia Mineral do Brasil. Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). Brasília, p. 602-635.

LIMA, J.O.G.; FRANÇA, A. M. M & LOIOLA, H. G. Implicações hidroquímicas da condutividade elétrica e do íon cloreto na qualidade das águas subterrâneas do semiárido cearense. **Revista Virtual de Química**, v. 6, n.2, p. 279-292, 2014.

LONGLEY, Quênia Rolle; WENRUI, Huang; CLAYTON, Clark; JOHNSON, Elias. Effects of nutrient load from St. Jones River on water quality and eutrophication in Lake George, Florida. **Limnologica**. 2019; ISSN:0075-9511.

MACEDO, A.B, BORDIGNON, J.L., NATIVIDADE, H., VALVERDE, F.M., OSTAFIUC, G.B., ANTONINI, S.A., SILVA H.V., COIMBRA, A.M. **A mineração de areia na Região Metropolitana de São Paulo: aspectos econômicos, geológicos e ambientais**. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 5, 1985, São Paulo, SBG, V 1, p 70-89.

MACÊDO, J. A. B. **Águas & águas**. Belo Horizonte: CRQ-MG. 2007. 977p.

MARTINS, Leonardo dos Santos. **Análise dos parâmetros físico-químicos da água do Rio Verde, Goiás**. 2022. 32 f. TCC (Graduação) - Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Ceres, 2022.

MELLO, J. W.V. (Org.) **Recuperação de Áreas Degradadas**. Viçosa: ed. Folha de Viçosa Ltda, 1998. p. 95-105.

MEYER, Fred P.; Barclay, Lee A. editors. **Field Manual for the Investigation of Fish Kills**. U.S. Fish and Wildlife Service. Resour. Publ. 177. 1990.

MOLLE, François. **Marcos históricos e reflexões sobre a açudagem e seu aproveitamento**. Recife: HME, 1994. 198 p. (Brasil SUDENE. Hidrologia N°. 30).

NASCIMENTO, D. M. *et al.* **A importância da qualidade da água para seu uso na irrigação**. Boletim do Tempo Presente, v. 09, n. 01, p 70-92, 2020.

NASCIMENTO, Daniela Macedo. A importância da qualidade da água para seu uso na irrigação. **Boletim do Tempo Presente**, Recife, v. 09, n. 01, p. 70-92, 04 out. 2020.

NASCIMENTO, Paulo Batista do. **Cianobactérias como indicadoras de poluição nos mananciais abastecedores do Sistema Cantareira**. 2010. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

PAERL, Hans. W.; OTTEN, Timothy. G. Harmful cyanobacterial blooms: causes, consequences, and controls. **Microbial Ecology**, v. 65, n. 4, p. 995-1010, 2013.

PARRON, L. M.; MUNIZ, H. F.; PEREIRA, C. M. **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água**. Embrapa Florestas-Documents (INFOTEC-A-E), 2011.

PAULILO, Maria Terezinha Silveira; VIANA, Ana Maria; RANDI, Áurea Maria. **Fisiologia Vegetal**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2015. 182 p.

PFALTZGRAFF, Pedro Augusto dos Santos; CARVALHO, Luiz Moacyr; RAMOS, Maria Richards, L. A. (ed.) Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington: USDA, 1954. 160p. **Agriculture Handbook**, Nº.60.

ROHDE, G.M. **Geoquímica ambiental e estudo de impacto**. São Paulo: Signus Editora, 157 p., 2000.

SILVA, Mayssa Alves; SANTANA, Claudemir Gomes. Reuso da água: possibilidades de redução do desperdício nas atividades domésticas. **Revista do CEDS: Periódico do Centro de Estudos em Desenvolvimento Sustentável da UNDB**, São Luís, v.1, n.1, ago./dez. 2014.

SILVA, Ítalo Nunes; FONTES, Larissa de Oliveira; TAVELLA, Leonardo Barreto; OLIVEIRA, Joaquim Branco de; OLIVEIRA, Alysso Cavalcante de. Qualidade de água na irrigação. **Agropecuária Científica no Semiárido**, Patos, v. 07, n. 03, p. 1-15, 2011.

SILVA, J.R.T. **Nutriente "Potássio"**: macronutriente - k. Acre: Universidade Federal do Acre - Química e Fertilidade do Solo, 2005. 40 slides, color. Disponível em: <https://www.ufac.br/site/ufac/prograd/educacao-tutorial/grupos-pet/pet-agronomia-1/apoio-didatico/quimica-e-ferlidade-do-solo/unidade-6-3-potassio>. Acesso em: 07 de maio de 2023.

SILVA, L. dos S. .; NASCIMENTO, I. A. da S. .; CARVALHO, M. R. de; SILVA NETO, J. SILVA, M. A; ARAÚJO, R. R. Análise temporal da qualidade da água no córrego limoeiro e no rio Pirapozinho no estado de São Paulo-Brasil. **Revista Formação**, São Paulo, v. 1, n. 24, p.182-203, jan./abr. 2017.

SILVA, V. C. **Apostila do Curso de Mineração - Operações Minerais**. Escola de Minas - Universidade Federal de Ouro Preto. Minas Gerais, 2009.

SILVEIRA, Fernando & SARAIVA, Maria de Fátima. (2008). **As Cores da Lua cheia**. Física na Escola. v.9. 2ª ed.

SINTONI, Ayrton. **A mineração no cenário do município de São Paulo: mercado e novas tecnologias**. In: I Encontro de Mineração no Município de São Paulo. Anais... São Paulo: Secretaria das Administrações Regionais da Prefeitura do Municipal de São Paulo, 1994. p. 31-42.

SPERLING, E.V; JARDIM, F. A.; GRANDCHAMP, C. A. P. **Qualidade da água durante a formação de lagos profundos em cavas de mineração**: estudo de caso do lago de Águas Claras – MG. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 9, n. 3, p. 250-259, 2004.

SPERLING, M.V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4ed. Minas Gerais: Departamento de Engenharia Sanitário e Ambiental. UFMG, 2014.

SPERLING, M.V. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 2005.

SPERLING, M.V. **Qualidade da Água em Atividades de Mineração**. In: DIAS, L.E. TEIXEIRA, J.A.G. **Impactos ambientais da atividade mineral na RMSP**. Seminário sobre problemas geológicos geotécnicos na Região Metropolitana de São Paulo, 1, São Paulo, 1982, p 63-75.

TERRELL, Deborah. **Avaliação da qualidade da água subterrânea em área de mineração de caulim**: impactos e perspectivas de remediação, município de Mogi das cruces, SP. 2007. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Recursos Minerais e Hidrogeologia, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

V. .; SILVA, E. A. da . A IMPORTÂNCIA DA ÁGUA DE REUSO NA AGRICULTURA E AS CONSIDERAÇÕES DA VIGILÂNCIA SANITÁRIA SOBRE A PRÁTICA SUSTENTÁVEL: doi.org/10.29327/217514.7.1-13. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, [S. l.], v. 7, n. 1, p. 13, 2021. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/441>. Acesso em: 10 mar. 2023.

VICTORINO, Célia Jurema Aito. **Planeta Água Morrendo de Sede**: uma visão analítica na metodologia do uso e abuso dos recursos hídricos. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007. 101 p.

VILLAIN, L.; SUNDSTRÖM, N.; PERTTU, N.; ALAKANGAS, L.; ÖHLANDER, B. Geophysical investigations to identify groundwater pathways at a small open-pit copper mine reclaimed by backfilling and sealing. **Mine Water – Managing the Challenges**, Aachen-Germany, p. 71-76, IMWA, 2011.

APÊNDICE - A

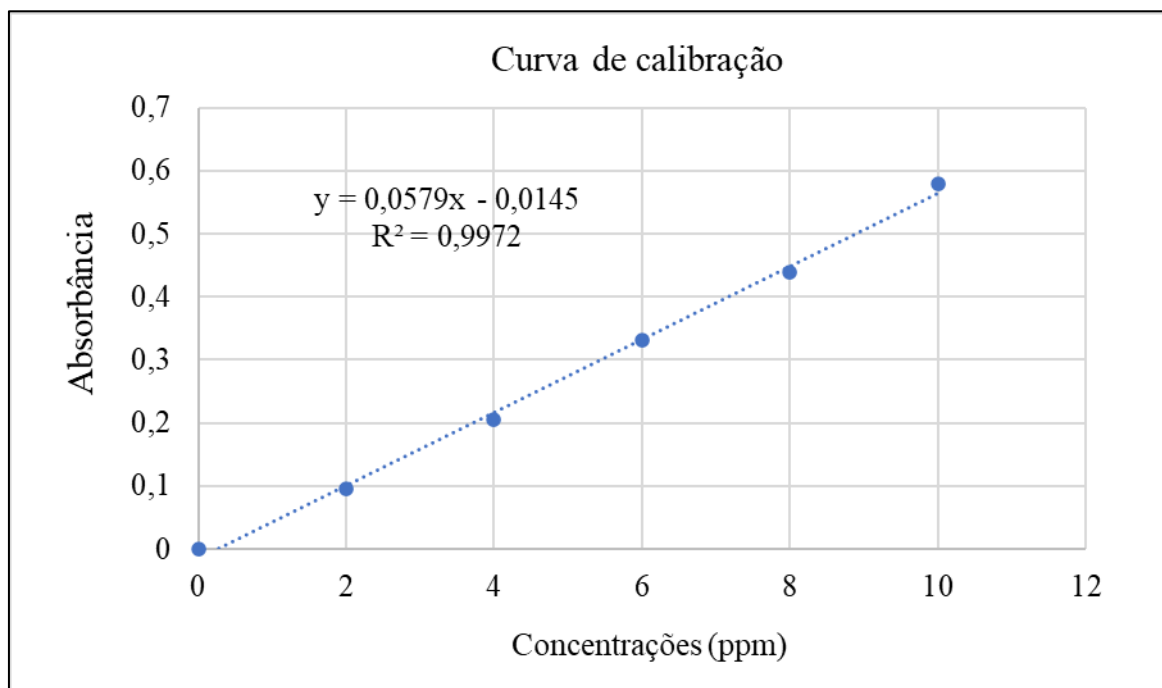
Tabela 1 - Verificação de possíveis viabilidades de uso de acordo com a legislação.

Parâmetros	Unidade	Valores máximos permitidos (VMP)			Pontos de amostragem			
		Portaria n° 518/04	Resolução CONAMA n° 357/05	Holanda <i>et al.</i> (2016)	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4
pH	-	9,5	9,0	8,5	7,90	8,44	9,40	7,00
Condutividade	µS/cm	-	-	3000	1105	167,5	1200	184,1
Salinidade	pet.	-	-	-	0,6	0,08	0,64	0,09
Temperatura	°C	-	-	-	28,1	30,3	33,1	29,8
Oxigênio Dissolvido	mg/L	-	5	-	6,5	5,8	8,1	6,1
Turbidez	NTU	5	100	-	88,83 ± 1,15	20,80 ± 0,44	105 ± 2,00	38,53 ± 0,40
Alcalinidade Parcial e Total	mg/L	-	-	-	A.P = 8,77	A.P = 6,58	A.P = 18,80	A.P = 4,70
					A.T = 11,28	A.T = 8,46	A.T = 22,56	A.T = 6,58
Dureza Total	mg/L	500	-	-	249,817 ± 0	78,068 ± 0	218,590 ± 0	62,454 ± 0
Cálcio	mg/L	-	-	801,6	68,774 ± 0	25,009 ± 0	37,513 ± 0	18,757 ± 0
Magnésio	mg/L	-	-	121,5	18,958 ± 0	18,958 ± 0	30,333 ± 0	3,792 ± 0
Sódio	mg/L	200	-	920	1034,55 ± 22,99	229,90 ± 0	1609,30 ± 0	237,56 ± 13,273
Potássio	mg/L	-	-	2	110,8 ± 2,3	36,5 ± 2,3	1133,8 ± 0	76,9 ± 2,3
Cloreto	mg/L	250	250	1.063,6	199,94 ± 0	49,98 ± 0	283,25 ± 0	49,98 ± 0
Nitrato	mg/L	10	10	10	105,325 ± 0,0997	10,449 ± 0,1727	21,675 ± 0	30,426 ± 0,0997
SDT	mg/L	1000	500	2000	815,0 ± 1,41	396,0 ± 14,14	1049,0 ± 55,15	242,0 ± 8,49
SDO	mg/L	-	-	-	158,00 ± 8,49	157,00 ± 15,56	260,00 ± 16,97	126,00 ± 2,83
SDI	mg/L	-	-	-	657,00 ± 9,90	239,00 ± 1,41	789,00 ± 72,12	116,00 ± 11,31

Fonte: Autoria própria (2023).

APÊNDICE - B

Figura 28: Curva de calibração para a espectrofotometria (Nitrato).



Fonte: Autoria própria (2023).