



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO SEMIÁRIDO
UNIDADE ACADÊMICA DE TECNOLOGIA DO DESENVOLVIMENTO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO E REGULAÇÃO DE
RECURSOS HÍDRICOS**

FABRÍCIA TORREÃO ARAÚJO DE ALCÂNTARA

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO
ALUVIÃO DO RIO SUCURÚ, SUMÉ - PB, QUANTO AO RISCO DE
SALINIZAÇÃO E SODIFICAÇÃO**

**SUMÉ - PB
2024**

FABRÍCIA TORREÃO ARAÚJO DE ALCÂNTARA

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO
ALUVIÃO DO RIO SUCURÚ, SUMÉ - PB, QUANTO AO RISCO DE
SALINIZAÇÃO E SODIFICAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, no Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

Área de Concentração: Regulação e Governança de Recursos Hídricos

Linha de Pesquisa: Segurança Hídrica e Usos Múltiplos da Água.

Orientadora: Prof. Dra. Vera Lucia Antunes de Lima

SUMÉ - PB
2024



A347a Alcântara, Fabrícia Torreão Araújo de.

Avaliação da qualidade das águas subterrâneas do aluvião do Rio Sucurú, Sumé - PB, quanto ao risco de salinização e sodificação. / Fabrícia Torreão Araújo de Alcântara. - 2024.

83f. : il. Collor.

Orientadora: Professora Dra. Vera Lúcia Antunes de Lima.

Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Campina Grande; Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido; Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - PROFÁGUA.

1. Águas subterrâneas. 2. Salinidade da água. 3. Sodicidade da água. 4. Dessedentação animal. 5. Aluvião do Rio Sucurú - Sumé-PB. 6. Poços - qualidade da água. 7. Irrigação. 8. Semiárido brasileiro. 9. Condutividade elétrica. I. Lima, Vera Lúcia Antunes de. II. Título.

CDU: 556.3(043.2)

FABRÍCIA TORREÃO ARAÚJO DE ALCÂNTARA

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO
ALUVIÃO DO RIO SUCURÚ, SUMÉ - PB, QUANTO AO RISCO DE
SALINIZAÇÃO E SODIFICAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, no Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

BANCA EXAMINADORA:

Professora Dra. Vera Lucia Antunes de Lima
Orientadora – UAEA/CTRN/UFCG

Professor Dr. Paulo da Costa Medeiros
Examinador Interno – UATEC/CDSA/UFCG

Dr. Rummenigge de Macêdo Rodrigues
Examinador Externo – UATEC/CDSA/UFCG

Dr. André Alisson Rodrigues da Silva
Examinador Externo – PPGEGRN/CTRN/UFCG

Trabalho aprovado em: 23 de agosto de 2024

SUMÉ - PB

Dedicatória
Ao meu esposo Hugo e as minhas filhas Beatriz e Bianca.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida e pelo milagre de estar aqui concluindo este trabalho.

A minha orientadora, a Professora Dra. Vera Antunes de Lima pelos ensinamentos, compreensão, carinho e apoio em todos os momentos.

Aos examinadores externos Dr. André Alisson Rodrigues da Silva, Dr. Rummenigge de Macedo Rodrigues e ao examinador interno o Dr. Paulo da Costa Medeiros pela contribuição valiosa.

A EEEFM Clementino Procópio, instituição ao qual trabalho pela apoio e compreensão pela liberação para a conclusão deste curso.

Aos alunos PIBIC Leila Maria Simplicio, Raphael Elfen e aos colaboradores terceirizados do CDSA – UFCG que me apoiaram durante os deslocamentos e coletas de campo na área do perímetro irrigado de Sumé, PB.

Agradeço aos meus familiares pelo incentivo em todas as horas, ao meu esposo Hugo Moraes de Alcântara e minhas filhas, Maria Beatriz e Bianca Maria por todo apoio e incentivo em todas as etapas deste trabalho.

A minha amiga Socorro Tavares por todo apoio e orações durante o período de realização deste trabalho.

Agradeço ao Laboratório de Fenômenos de Transporte, Hidráulica, Irrigação e Drenagem – LAFHID / CDSA pela infraestrutura oferecida para a realização deste trabalho e ao seu coordenador, o Dr. Rummenigge de Macêdo Rodrigues, as técnicas de laboratório em Química, Danielle Varela, Agnis Pamela Simões e Morgana de Vasconcellos pela ajuda nos trabalhos de campo e de laboratório.

Ao Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido, o campus de Sumé da Universidade Federal de Campina Grande pelo apoio e infraestrutura oferecida para a realização deste trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, em nível de Mestrado, na Categoria Profissional, Projeto CAPES/ANA AUXPE N°. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

ALCÂNTARA, F. T. A. **Avaliação da qualidade das águas subterrâneas do aluvião do rio Sucurú, Sumé - PB, quanto ao risco de salinização e sodificação**. 2024. 82 f. il. Dissertação (Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) – Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido, Universidade Federal de Campina Grande, Sumé, PB, 2024.

RESUMO

A região do Semiárido brasileiro - SAB, em função dos elevados índices de evaporação e do crescimento das demandas por água, se configura como a de maior ocorrência de escassez hídrica, considerando os aspectos qualitativos e quantitativos, com crescentes conflitos pelo uso da água. Pequenos depósitos aluviais formados em leitos de rios, sobre o embasamento cristalino, assumem importante papel na oferta de água para produção agrícola e dessedentação animal. Objetivou-se avaliar a qualidade da água de poços localizados no aluvião do rio Sucurú, município de Sumé, PB, para aproveitamento na irrigação e dessedentação animal, além dos impactos causados pela poluição difusa. A área de estudo está localizada a jusante de açude público com 45 hm³, em trecho do aluvião que possui 351 ha, largura de 50 a 500 m, profundidade de 0,5 a 15 m e armazenamento estimado em 1,7 hm³, que recebe carga de esgoto doméstico urbano tratado e não tratado. Para realizar a classificação da água subterrânea foram selecionados 8 poços amazonas, localizados a montante, *in situ* e a jusante da zona urbana deste município. Em virtude dos usos múltiplos da água, as reservas subterrâneas são fundamentais para todos os objetivos do desenvolvimento sustentável - ODS, com destaque para o ODS-6. Foram obtidos parâmetros físico-químicos de qualidade da água e calculada a razão de adsorção de sódio - RAS, em função das concentrações de sódio, cálcio e magnésio, associadas aos valores de condutividade elétrica - CE, para classificar a água quanto aos riscos de salinização, sodificação e do uso para a dessedentação animal, nos períodos seco e úmido, por 12 meses. De acordo com os resultados obtidos foi possível obter a RAS e classificar a água contida nos poços monitorados, como sendo de alto risco de salinização e médio risco de adsorção de sódio no solo (C₃ - S₂), e de alto risco de salinidade e baixo risco de sodificação (C₃ - S₁), sendo recomendado o seu uso para irrigação com manejo e drenagem adequados, além do uso em culturas tolerantes aos sais, mas com risco de salinização dos solos e toxicidade das culturas. Houve melhoria da RAS no poço 2, do período seco para o chuvoso, passando de risco extremamente alto de salinização e muito forte risco de adsorção de sódio no solo (C₅ - S₄) para o risco extremamente alto de salinização e médio risco de adsorção de sódio no solo (C₅ - S₂), não sendo recomendado o uso da água para irrigação. Analisando os parâmetros CE, sólidos totais dissolvidos e sódio foi realizada a classificação de uso da água para dessedentação animal de aves, bovinos, caprinos, equinos e suínos. Os poços 2, 3, 4 e 5 apresentaram os piores valores dos indicadores de qualidade da água, em consequência do lançamento de esgoto *in natura*, no leito do rio Sucuru, mas a houve atenuação destes indicadores, a partir do poço 4, em decorrência da mistura do esgoto tratado com o não tratado e da filtração que ocorre ao longo do aluvião, com melhoria da qualidade da água para irrigação e dessedentação animal. Foram classificados os usos recomendáveis para irrigação e dessedentação animal na área de estudo, nos períodos seco e chuvoso.

Palavras-chave: Salinidade; sodicidade; irrigação; dessedentação animal.

ALCÂNTARA, F. T. A. **Assessment of the quality of groundwater in the alluvium of the Sucurú River, Sumé - PB, regarding the risk of salinization and sodification.** 2024. 82 p. il. Dissertation (Master's in Water Resources Management and Regulation) - Center for Sustainable Development of the Semi-Arid, Federal University of Campina Grande, Sumé, PB, 2024.

ABSTRACT

The Brazilian Semi-arid Zone - BSZ, due to high evaporation rates and growing water demands, stands out as the area with the greatest occurrence of water scarcity, considering both qualitative and quantitative aspects, with increasing conflicts over water use. Small alluvial deposits formed in riverbeds over crystalline bedrock play an important role in supplying water for agricultural production and animal watering. The objective of this study was to assess the water quality of wells located in the alluvium of the Sucurú River, in the municipality of Sumé, PB, for use in irrigation and animal watering, as well as to evaluate the impacts caused by diffuse pollution. The study area is located downstream of a public reservoir with a capacity of 45 hm³, in a section of the Sucurú River alluvium, which covers 351 hectares, has a width ranging from 50 to 500 m, a depth of 0.5 to 15 m, and an estimated storage capacity of 1.7 hm³. This section receives treated and untreated urban domestic sewage discharge. To classify the groundwater, eight Amazon-type wells were selected, located upstream, in situ, and downstream of the urban zone of the municipality. Due to the multiple uses of water, underground reserves are fundamental for all Sustainable Development Goals – SDG, with particular emphasis on SDG-6. Physicochemical parameters of water quality were obtained, and the sodium adsorption ratio - SAR was calculated based on the concentrations of sodium, calcium, and magnesium, combined with electrical conductivity (EC) values. This classification aimed to determine the water's risks of salinization, sodification and suitability for animal watering, during dry and wet periods over 12 months. According to the results, the SAR was determined, and the water in the monitored wells was classified as having a high risk of salinization and a medium risk of sodium adsorption in the soil (C₃ - S₂), and as having a high risk of salinity and a low risk of sodification (C₃ - S₁). Therefore, its use for irrigation is recommended only with appropriate management and drainage, in addition to using salt-tolerant crops, given the risk of soil salinization and crop toxicity. An improvement in SAR was observed in well 2, from the dry to the wet period, shifting from an extremely high risk of salinization and a very strong risk of sodium adsorption in the soil (C₅ - S₄) to an extremely high risk of salinization and a medium risk of sodium adsorption in the soil (C₅ - S₂), not being recommended for use of water for irrigation. By analyzing the EC, total dissolved solids, and sodium parameters, the water use classification for animal watering was conducted for poultry, cattle, goats, horses, and swine. Wells 2, 3, 4, and 5 presented the worst water quality indicator values due to the discharge of untreated sewage into the Sucurú river. However, there was an attenuation of these indicators from well 4 onward, due to the mixing of treated and untreated sewage and the filtration occurring along the alluvium, improving the water quality available for irrigation and animal watering. The recommended uses for irrigation and animal watering in the study area were classified, during the dry and rainy seasons.

Keywords: Salinity; sodicity; irrigation; animal watering.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Distribuição dos tipos de aquíferos no Brasil.....	20
Figura 2 - Funcionamento de um aquífero.....	21
Figura 3 - Representação de aquífero aluvial.....	22
Figura 4 - Instrumentos de gestão de recursos hídricos nas políticas públicas..	23
Figura 5 - Objetivos do Desenvolvimento Sustentável.....	24
Figura 6 - Localização da área de estudo.....	34
Figura 7 - Localização dos poços selecionados.....	36
Figura 8 - Diagrama de classificação para água de irrigação.....	41
Figura 9 - Fontes de poluição difusa.....	44
Figura 10 - Pontos de lançamento de esgoto sem tratamento.....	45
Figura 11 - Diagrama do risco de salinização e sodificação das águas de 8 poços localizados no aquífero do rio Sucurú, em 04/01/2023, conforme Richards (1954)	46
Figura 12 - Diagrama do risco de salinização e sodificação das águas de 8 poços localizados no aquífero do rio Sucurú, em 13/01/2023, conforme Richards (1954)	47
Figura 13 - Diagrama do risco de salinização e sodificação das águas de 8 poços localizados no aquífero do rio Sucurú, em 17/03/2023, conforme Richards (1954)	48
Figura 14 - Diagrama do risco de salinização e sodificação das águas de 8 poços localizados no aquífero do rio Sucurú, em 28/04/2023, conforme Richards (1954)	49
Figura 15 - Diagrama do risco de salinização e sodificação das águas de 8 poços localizados no aquífero do rio Sucurú, em 18/05/2023, conforme Richards (1954)	50
Figura 16 - Diagrama do risco de salinização e sodificação das águas de 8 poços localizados no aquífero do rio Sucurú, em 17/03/2023, conforme Richards (1954)	51
Figura 17 - Valores médios da CE, das águas de 8 poços localizados no aquífero do rio Sucurú, para uso da água na irrigação	52
Figura 18 - Valores médios de Sólidos Totais Dissolvidos (STD), das águas de 8 poços localizados no aquífero do rio Sucurú, para uso da água na irrigação	53
Figura 19 - Valores médios de Na ⁺ das águas de 8 poços localizados no aquífero do rio Sucurú, para uso na irrigação	54

Figura 20 - Distribuição da RAS das águas do aluvião do rio Sucurú, analisadas nos meses de janeiro e dezembro de 2023 (período seco)	55
Figura 21 - Distribuição da RAS das águas do aluvião do rio Sucurú, analisadas nos meses de março, abril e maio de 2023 (período úmido)	56
Figura 22 - Distribuição da CE das águas do aluvião do rio Sucurú, analisadas nos meses de janeiro e dezembro de 2023 (período seco)	57
Figura 23 - Distribuição da CE das águas do aluvião do rio Sucurú, analisadas nos meses de março, abril e maio de 2023 (período úmido)	58
Figura 24 - Distribuição do OD das águas do aluvião do rio Sucurú, analisadas nos meses de janeiro e dezembro de 2023 (período seco)	59
Figura 25 - Distribuição do OD das águas do aluvião do rio Sucurú, analisadas nos meses de março, abril e maio de 2023 (período úmido)	60
Figura 26 - Limites de tolerância da CE para uso da água na dessedentação animal.....	61
Figura 27 - Limites de tolerância de STD para uso da água na dessedentação animal.....	62
Figura 28 - Distribuição de Ca ⁺ do aluvião do rio Sucurú no período seco	73
Figura 29 - Distribuição de Ca ⁺ do aluvião do rio Sucurú no período úmido	73
Figura 30 - Distribuição de pH ao longo do aluvião do rio Sucurú no período seco	74
Figura 31 - Distribuição de pH ao longo do aluvião do rio Sucurú no período úmido	74
Figura 32 - Distribuição de Mg ⁺² ao longo do aluvião do rio Sucurú no período seco	75
Figura 33 - Distribuição de Mg ⁺² ao longo do aluvião do rio Sucurú no período úmido	75
Figura 34 - Distribuição de Na ⁺ ao longo do aluvião do rio Sucurú no período seco	76
Figura 35 - Distribuição de Na ⁺ ao longo do aluvião do rio Sucurú no período úmido	76
Figura 36 - Distribuição de STD ao longo do aluvião do rio Sucurú no período seco	77
Figura 37 - Distribuição de STD ao longo do aluvião do rio Sucurú no período úmido	77
Figura 38 - Boletim de orientação ambiental para a irrigação no período seco de 2023	78

Figura 39 - Boletim de orientação ambiental para a irrigação no período chuvoso de 2023	78
Figura 40 - Boletim de orientação ambiental considerando os STD para dessedentação animal no período seco de 2023	79
Figura 41 - Boletim de orientação ambiental considerando os STD para dessedentação animal no período chuvoso de 2023	80
Figura 42 - Boletim de orientação ambiental considerando os valores de CE para dessedentação animal no período seco de 2023	81
Figura 43 - Boletim de orientação ambiental considerando os valores de CE para dessedentação animal no período chuvoso de 2023	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Categorias de classificação adotadas pelo USSL	30
Tabela 2 -	Riscos de infiltração no solo causados pela sodicidade da água	31
Tabela 3 -	Concentrações de íons na água e riscos de toxicidade às plantas	32
Tabela 4 -	Tolerância relativa de algumas culturas a sódio e cloreto	32
Tabela 5 -	Dados dos poços escolhidos para coleta de água.....	36
Tabela 6 -	Valores limites para uso da água na dessedentação animal	38
Tabela 7 -	Valores limites para uso da água na irrigação	39
Tabela 8 -	Classificação da água para irrigação quanto ao risco de salinidade.	43
Tabela 9 -	Fontes de poluição identificadas durante as visitas de campo	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- AESA** – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba
- ANA** – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
- ANZECC** – *Australian and New Zealand Environment and Conservation Council and Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand*
- APHA** – American Public Health Association
- BShw** – Classificação climática de Köppen para o clima do tipo semiárido quente
- CCME** – *Canadian Council of Ministers of the Environment*
- CDSA** – Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido
- CE** – Condutividade elétrica
- CNRH** – Conselho Nacional de Recursos Hídricos
- CONAMA** – Conselho Nacional de Meio Ambiente
- CPRM** – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
- DWAF** – *Department of water affairs and forest*
- ETA** – Estação de tratamento de água
- ETE** – Estação de tratamento de esgoto
- FAO** – *Food and Agriculture Organization of the United Nations*
- FUNCEME** – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
- GPS** – Sistema de Posicionamento Global
- LAFHID** – Laboratório de Fenômenos de Transporte, Hidráulica, Irrigação e Drenagem
- ODS** – Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
- ONU** – Organização das Nações Unidas
- ORP** – *Oxydation Reduction Potential*
- PB** – Estado da Paraíba
- pH** – Potencial Hidrogeniônico
- PNRH** – Política Nacional de Recursos Hídricos
- PST** – Porcentagem de sódio trocável com o solo
- RAS** – Relação de adsorção de sódio
- SAB** – Semiárido brasileiro
- SINGREH** – Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
- STD** – Sólidos totais dissolvidos
- SUDENE** – Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste

UCCC – *University of California Committee of Consultants*

UFCG – Universidade Federal de Campina Grande

USSL – *United States Salinity Laboratory*

VMP – Valor(es) máximo(s) permitido(s)

VRQ – Valor de referência de qualidade

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVOS	17
2.1 OBJETIVO GERAL	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3 REVISÃO DE LITERATURA	18
3.1 TIPOS DE AQUÍFEROS	19
3.2 O ESTADO E A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	22
3.3 IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS PELA POLUIÇÃO DIFUSA	24
3.4 QUALIDADE DE ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO	26
4 MATERIAL E MÉTODOS	34
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	34
4.1.1 Identificação dos pontos de coleta de amostras de água	35
4.2 QUALIDADE DA ÁGUA PARA DESSEDENTAÇÃO ANIMAL	37
4.3 QUALIDADE DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO	38
4.4 CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO	39
4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA	43
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	64
REFERÊNCIAS	65
APÊNDICE I	
Indicadores de qualidade de água no aluvião do rio Sucurú	73
APÊNDICE II	
Produto(s) obtidos(s)	78

1 INTRODUÇÃO

Historicamente, o desenvolvimento das civilizações ocorreu nas proximidades de corpos d'água disponíveis para consumo humano. A presença ou ausência da água foi e ainda é um dos elementos responsáveis por escrever a história do mundo, criar culturas e hábitos, determinar a ocupação de territórios, extinguir e dar vida às espécies (Bozelli *et al.*, 2018).

A vida ocorre sobre aquíferos que provêm sustentação e água para a sociedade e ecossistemas. A maior parte da população não os conhece e não consegue identificar qual aquífero fornece água para a cidade em que reside ou a forma que contribui para manter os principais rios da região (Villar, 2016). Ao considerar as mudanças climáticas, a degradação e escassez dos recursos hídricos, constata-se que a sobrevivência da humanidade depende da construção de um novo pacto com a água, o que certamente inclui os aquíferos. Se a sociedade não os conhecer, não haverá pressão política para implementar ações necessárias para geri-los adequadamente e cobrar a resolução de conflitos de uso da água (ANA, 2022a).

O diagnóstico temático “Serviços de água e esgoto” elaborado pela Secretaria Nacional de Informações sobre Saneamento, com base nos dados de 2022, indicou que havia 84,9% da população brasileira atendida com rede pública de abastecimento de água, uma ampliação de 0,7% e 56% de atendimento com redes públicas de coleta de esgoto, uma ampliação de 0,2% em relação a 2021. Do esgoto coletado, 81,6% são tratados. Nas macrorregiões, o menor índice foi registrado na região Nordeste, com 76,3% e o maior no Centro-Oeste, com 94,3% (Brasil, 2023). Implementar ações em nível local para controle, redução da geração e tratamento de resíduos nos meios urbanos e rural dos municípios brasileiros, atendendo a Política Nacional de Saneamento Básico, instituída pela Lei nº 11.445/2007, alterada pela Lei nº 14.026/2020, conhecido como “Marco Legal do Saneamento Básico”, são essenciais para melhoria da qualidade de vida da população (Brasil, 2020; Barreto *et al.*, 2021).

Na região do Semiárido Brasileiro - SAB, em função do crescimento populacional acelerado nas zonas urbanas, o uso e ocupação do solo sem o devido planejamento associado às condições climáticas locais, a insegurança hídrica se torna frequente, com crescentes conflitos pelo uso da água (Andrade *et al.*, 2022). A economia rural desta região baseia-se na agricultura e pecuária, onde o uso de

tecnologias sociais para o aproveitamento da água assume importante papel para a irrigação, dessedentação animal e consumo humano (Amaral; Ferreira; Navoni, 2021).

O monitoramento da quantidade e qualidade das águas superficiais e subterrâneas no Brasil, tem sido realizado de forma compartilhada entre a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA e os órgãos estaduais gestores de recursos hídricos, para fornecer dados e subsídios para a gestão e governança eficientes dos recursos hídricos, essencial para conceder outorgas com maior segurança e realizar estudos e planos de bacias hidrográficas (ANA, 2020).

No entanto, nem todos os trechos de rios efêmeros e intermitentes possuem informações suficientes, para estabelecer limites realistas de concessão de outorga e o devido enquadramento em classes de uso. Em situações de escassez hídrica, o planejamento e o gerenciamento são essenciais para a implementação dos instrumentos de gestão de recursos hídricos, com objetivo de minimizar os conflitos derivados dos usos múltiplos da água e reduzir a poluição difusa (Melo, 2018). Os rios intermitentes que compõem a bacia hidrográfica do rio Paraíba receberam classificação de enquadramento como sendo de classe 2 (AESAs, 2013).

As informações geradas pelas agências de gestão de recursos hídricos, agências reguladoras, órgãos fiscalizadores, instituições de ensino superior, pesquisa e extensão que atuam nos estados brasileiros desempenham um papel crucial para o estabelecimento de limites de uso da água bruta ou tratada, nos meios urbano e rural, para a redução da geração de resíduos e controle do lançamento de esgoto sem tratamento no solo ou diretamente em rios, na busca de atendimento de preceitos dos objetivos do desenvolvimento sustentável da Agenda 2030 (ONU, 2015).

Alguns pequenos aquíferos aluviais formados em leitos de rios, sobre o embasamento cristalino, assumem importante papel na oferta de água para atividades agropecuárias e de uso doméstico no meio rural, apesar da recarga destes aquíferos ocorrer de forma esporádica e dependente do fluxo superficial (Souza *et al.*, 2022). A ausência de classificação adequada, para a água disponível em aluviões da bacia hidrográfica do rio Paraíba e seus tributários, eleva o risco ocorrência de doenças de veiculação hídrica, da contaminação de verduras, hortaliças, legumes e forragem animal, que continuam sendo produzidas com uso de água de qualidade duvidosa e tipos de irrigação inadequados.

Identificar as diferentes fontes de poluição antes, *in situ* e depois da zona urbana do município de Sumé, na região do perímetro irrigado e estabelecer a

classificação de uso da água adequada para fins agropecuários favorecerá o estabelecimento de estratégias para usos múltiplos da água disponível na região de aluvião localizado na bacia do rio Sucurú, um tributário da bacia hidrográfica do rio Paraíba, onde há necessidade de orientação dos produtores rurais sobre os limites de uso da água dos poços durante períodos de estiagem prolongada e comunicação ao órgão gestor de recursos hídricos do estado da Paraíba, para garantir segurança alimentar dos consumidores e produtores rurais, a melhoria de qualidade de vida da população local, da saúde humana, animal e a conservação ambiental.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a qualidade da água de poços amazonas instalados no aluvião do rio Sucuru, perímetro irrigado de Sumé - PB, visando o aproveitamento para irrigação e dessedentação animal.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar a área de estudo e identificar os principais usos da água dos poços localizados no aluvião do rio Sucuru;
- Selecionar os poços e realizar coletas de água para determinação de parâmetros físico-químicos de qualidade da água do aluvião;
- Analisar os impactos da poluição difusa por meio de parâmetros físico-químicos de qualidade da água dos poços do aluvião;
- Calcular a relação de adsorção de sódio (RAS) e classificar a água dos poços para irrigação;
- Realizar a classificação de uso da água dos poços para dessedentação animal de acordo com as recomendações da legislação brasileira e de outros países;
- Elaborar cartilha ou boletim informativo para comunicação aos produtores rurais e órgão gestor de recursos hídricos no estado da Paraíba sobre os possíveis usos da água para fins de irrigação e dessedentação animal.

3 REVISÃO DE LITERATURA

No semiárido brasileiro um dos desafios da gestão integrada dos recursos hídricos é ofertar água com qualidade para determinado uso, haja vista que o total de precipitação anual é pequeno, a temperatura e evaporação são elevadas, a maioria dos rios são efêmeros ou intermitentes e o subsolo é derivado do embasamento cristalino com alguns depósitos sedimentares. Os processos de uso e ocupação do solo sem planejamento têm favorecido a poluição de aquíferos e o comprometimento da qualidade e equilíbrio dos ecossistemas aquáticos, que associados a elevação do crescimento populacional e as alterações do clima têm elevado o risco da escassez hídrica (Rêgo *et al.*, 2022).

Para minimizar os efeitos da escassez hídrica no SAB, foi fomentado a partir da década de 1970, pelos governos federal e estaduais, a construção de reservatórios superficiais e projetos de irrigação com a justificativa de prover garantia hídrica e a geração de renda para a população residente no Nordeste do Brasil. A ausência de mecanismos de gestão e fiscalização adequados para uso racional dos recursos hídricos e decisões políticas locais, se sobrepondo as recomendações técnicas, favoreceram a construção não regulamentada de pequenos reservatórios a montante dos grandes reservatórios, tendo como consequência a redução do volume de água disponível nos açudes de grande porte e o colapso de vários projetos de irrigação (Tsuyuguchi *et al.*, 2020).

A escassez hídrica é uma realidade para diferentes regiões brasileiras e do mundo. O crescente aumento populacional e a demanda por água para a produção de alimentos, fibras e energia com o objetivo de atender as necessidades do consumo humano, dessedentação de animais e a produção agropecuária, têm causado impactos ambientais negativos sobre os recursos naturais ainda disponíveis no meio ambiente (Silva; Medeiros; Silva, 2012).

A Política Nacional de Recursos Hídricos - PNRH, instituída por meio da Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1977 e a criação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos - SINGREH, tem auxiliado a implementação dos instrumentos de gestão de recursos hídricos, com a gestão compartilhada por órgãos federais, estaduais e municipais (ANA, 2022a; Brasil, 1997).

No estado da Paraíba, apesar de existir a regulamentação e implementação de instrumentos de gestão de recursos hídricos, como por exemplo, a outorga e a

cobrança pelo uso da água bruta, na região do perímetro irrigado de Sumé, sub-bacia do rio Sucurú, são poucos os produtores rurais que detém outorga de uso da água e, mesmo quando possui, se enquadra como sendo de uso insignificante, onde a quantidade de água outorgada pode ser concedida acima do limite do potencial do aquífero.

Há necessidade de obtenção de informações quantitativas e qualitativas da água utilizada para subsidiar a outorga e a cobrança pelo uso da água bruta na área do perímetro irrigado de Sumé, com a verificação das informações fornecidas a Agência de Gestão de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba - AESA, bem como rever e limitar, quando necessário, os volumes de outorga concedidos.

Na região do SAB, os aquíferos aluviais assumem importante papel para a produção agropecuária nos períodos de escassez hídrica, pois a descarga de fundo dos grandes reservatórios que deveriam garantir a recarga superficial é interrompida, ficando dependente da recarga por meio do escoamento superficial, gerada apenas por precipitações intensas ou da água de esgoto, tratado e não tratado, lançado nos rios e riachos que compõem a rede de drenagem de bacias hidrográficas (Rêgo *et al.*, 2022).

3.1 TIPOS DE AQUÍFEROS

O aquífero é uma “formação geológica com capacidade de acumular e transmitir água através de seus poros, fissuras ou espaços resultantes da dissolução e carreamento de materiais rochosos” (Art. 2º, Resolução CNRH nº 202/2018).

As formações geológicas podem ser classificadas quanto a sua capacidade de armazenar e transmitir água em três categorias: aquíferos, aquíferos ou aquícludes. Os aquícludes e aquíferos se relacionam com os aquíferos quando delimitam seu topo e/ou base, mas possuem baixa ou nula capacidade de transferência de água. Os aquícludes são formações geológicas que possuem água em seu interior, sem capacidade de transmissão, impermeáveis. Os aquíferos são formações semipermeáveis que podem conter água, mas sua transmissão ocorre de forma muito lenta (ANA, 2022b). Na prática consideram-se os aquíferos como unidades geológicas capazes de produzir água por meio de poços, em condições economicamente viáveis.

Podem ser classificados conforme os seus tipos de rochas e a pressão a que são submetidos, características que influenciam na capacidade de armazenamento, velocidade do fluxo, taxas de recarga e vulnerabilidade à contaminação (ANA, 2022b).

Em relação aos tipos de rochas, podem ser classificados como granulares, fraturados e cársticos. Os aquíferos e sistemas de aquíferos sedimentares afloram em 53,8%, os fraturados em 44,7% e os cársticos em 1,5% no Brasil (Figura 1).

Figura 1 – Distribuição dos tipos de aquíferos no Brasil



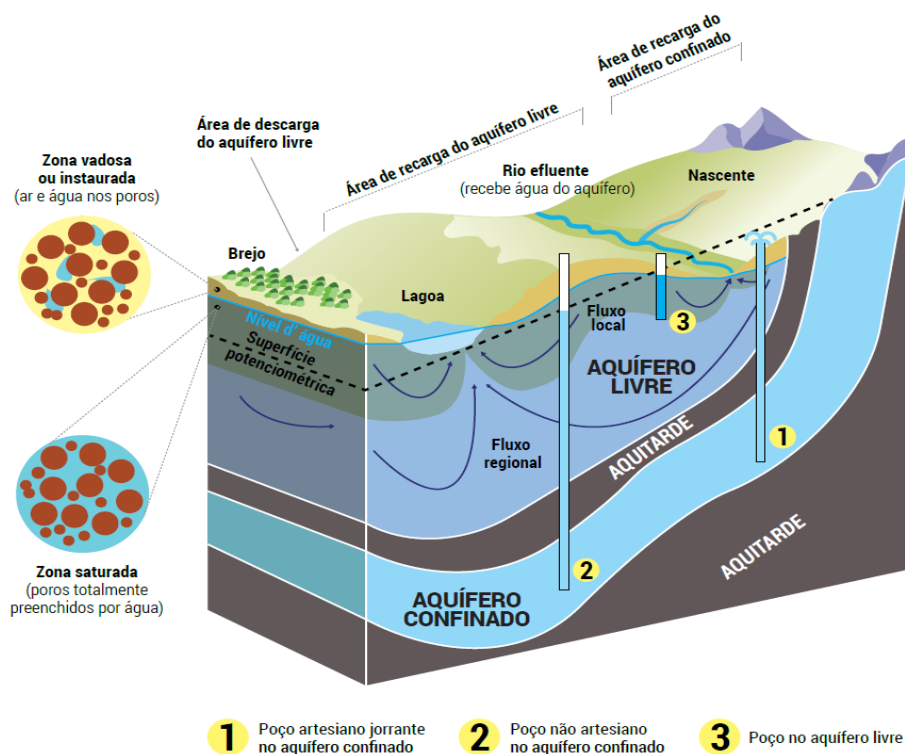
Fonte: Diniz *et al.* (2014)

Em relação à pressão de armazenamento da água a que estão submetidos, os aquíferos são classificados como livres ou confinados, embora existam condições intermediárias entre esses dois tipos, como os semiconfinados, cobertos ou suspensos (ANA, 2022b).

Nos aquíferos livres o limite superior está a superfície freática, constituído pelo nível d'água sob as mesmas condições de pressão atmosférica. Os aquíferos confinados são delimitados na base e no topo por unidades não aquíferas (aquicludes) ou por rochas parcialmente impermeáveis (aquitarde), onde a água é armazenada sob pressão. Também pode ocorrer uma situação intermediária, com aquíferos semiconfinados, onde as camadas limitantes têm baixa permeabilidade (ANA, 2022b).

Na Figura 2 pode-se observar as características de funcionamento de alguns tipos de aquíferos classificados como livres, semiconfinados, confinados, cobertos ou suspensos.

Figura 2 – Funcionamento de um aquífero



Fonte: Cabral (2008), adaptado por Dora Atman.

Os aquíferos aluviais são formações geológicas com depósitos de origem recente (ou quaternária), originários dos processos de desenvolvimento de rios e riachos ocorridos na superfície de uma bacia hidrográfica, formando córregos e planícies de inundação. Definem-se como “pacotes” de sedimentos detríticos, formados de cascalho, areia, silte e argila, das mais variáveis granulometrias, resultantes dos processos erosivos (Salgado, 2016).

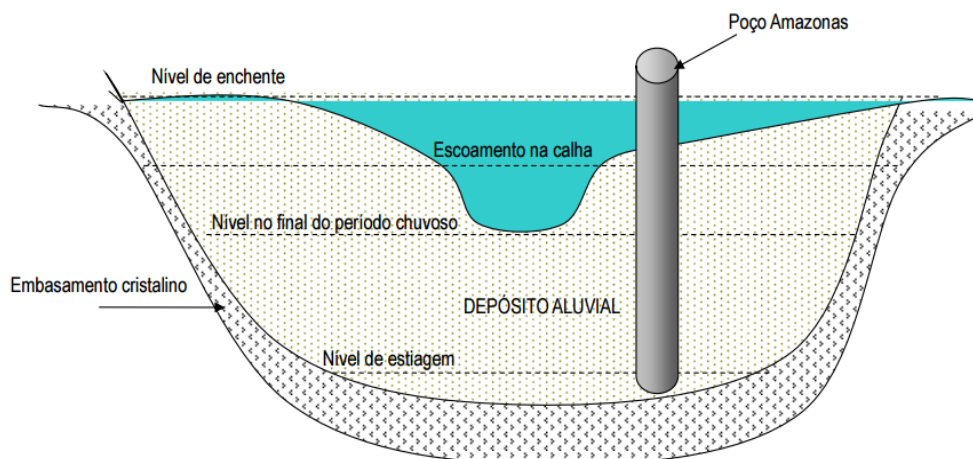
A recarga do aquífero aluvial ocorre através da precipitação sobre o leito aluvial, bem como através do escoamento superficial da sua bacia de captação e da infiltração de rios e lagos. A captação da água de aquíferos aluviais ocorre em poços escavados manualmente, que atravessam as variadas camadas arenosas e pedregulhosas, intercaladas por outras, menos espessas, argilosas ou arenoargilosas (Alves, 2016). Estima-se que o Brasil possui 1,1 trilhão de $\text{m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$ de reservas de águas subterrâneas, com disponibilidade de $14.650 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, no entanto, a distribuição e a produtividade ocorre de forma desigual no território, sendo o 9º maior usuário desse recurso natural no mundo.

Apesar da outorga de uso da água ou o seu cadastro ser obrigatório, o número real de poços não é conhecido, pois a maioria dos usuários permanece de forma

irregular, impedindo se conhecer a real quantidade de água extraída, a sua importância econômica e social (ANA, 2022b; Hirata *et al.*, 2019).

Na Figura 3 pode-se observar a representação de um aquífero aluvial com as mesmas características do encontrado na área do perímetro irrigado de Sumé - PB.

Figura 3 – Representação de aquífero aluvial



Fonte: adaptado de Salgado (2016)

As águas subterrâneas são essenciais para o abastecimento domiciliar e público, nos processos industriais, na prestação de diversos tipos de serviços e na atividade agropecuária (ANA, 2022b).

3.2 O ESTADO E A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Os estados e o Distrito Federal são responsáveis por definir as políticas estaduais e distrital de recursos hídricos, por oferecer a infraestrutura institucional dos sistemas estaduais de gerenciamento de recursos hídricos e implantar os instrumentos de gestão de recursos hídricos previsto na Lei nº 9.433/1997, além de promover estudos sobre aquíferos (Fernandes, 2019).

Essas águas contribuem para o combate à pobreza, a segurança alimentar, hídrica e sanitária de milhares de pessoas, principalmente nas áreas rurais e nas áreas áridas e semiáridas, sendo menos suscetíveis à variabilidade climática (Guppy *et al.*, 2018).

A Lei nº 9.433/1997, as Resoluções do Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH e do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA estabeleceram ou regulamentaram instrumentos de gestão aplicáveis às águas subterrâneas, que devem ser incorporados às políticas estaduais e a realização de estudos técnicos em bacias hidrográficas.

Existem instrumentos de outras políticas públicas de aplicação estadual que podem contribuir com a gestão de aquíferos, como o licenciamento ambiental, o zoneamento econômico-ecológico e agroecológico, os planos de irrigação, os planos estaduais de saneamento, os planos estaduais de resíduos sólidos e o gerenciamento de áreas contaminadas (Villar e Hirata, 2022).

Os instrumentos de gestão de recursos hídricos previstos na Lei nº 9433/1997 devem estar presentes nas políticas públicas estaduais e do Distrito Federal. Os estados e o Distrito Federal devem estimular os municípios a considerarem os aquíferos subterrâneos nos processos de ordenamento territorial, principalmente evitando a expansão de áreas urbanas em áreas de preservação permanente suscetíveis de inundação, implantar aterros sanitários controlados e os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável - ODS, da Agenda 2030, principalmente o ODS-6, que trata de água potável e saneamento (ANA, 2022a).

Em virtude da transversalidade da água, as reservas subterrâneas são fundamentais para todos os ODS, com destaque para o ODS-1, ODS-2, ODS-3, ODS-5, ODS-8, ODS-9, ODS-10, ODS-11, ODS-12, ODS-13 e ODS-15.

Na Figura 4 pode-se observar os instrumentos de gestão, de competência dos órgãos que integram os Sistemas Estaduais de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

Figura 4 – Instrumentos de gestão de recursos hídricos nas políticas públicas



Fonte: Villar e Hirata (2022).

Na Figura 5 pode-se observar os objetivos de desenvolvimento sustentável estabelecidos na Agenda 2030, da Organização das Nações Unidas.

Figura 5 – Objetivos do Desenvolvimento Sustentável



Fonte: adaptado de ONU (2015).

3.3 IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS PELA POLUIÇÃO DIFUSA

Nas zonas urbanas dos municípios brasileiros a disposição inadequada de resíduos e ausência de sistemas de coleta e tratamento de esgotos têm gerado problemas ambientais significativos. São diversas fontes de poluição, entre as quais destacam-se os aterros sanitários, às águas servidas sem o devido tratamento de origem agropecuária, comercial, industrial, residencial e do setor de serviços, pois têm o potencial de gerar grandes quantidades de resíduos, podendo contaminar solo e água. A crescente geração de resíduos favorece o aumento dos impactos ambientais negativos e da saúde no meio urbano e rural (Salgado *et al.*, 2018; Silva; Azevedo; Alves, 2014).

Em áreas urbanas e industrializadas é comum a poluição orgânica associada ao uso e ocupação do solo (Damasceno *et al.*, 2015). Na região do alto curso do Rio Iguaçu, foi identificada elevada concentração de poluentes à montante, *in situ* e a jusante da região metropolitana de Curitiba, PR, onde peixes de espécies nativas da região foram utilizados como bioindicadores, com consequente mortalidade em alguns períodos do ano, associado a redução de vazão e aumento da carga de poluentes (Souza-Bastos *et al.*, 2017).

Como a escassez hídrica é uma realidade no SAB, alguns pequenos depósitos aluviais formados em leitos de rios, sobre o embasamento cristalino, assumem importante papel para oferta de água para uso doméstico e, em atividades produtivas, no meio rural, apesar da recarga destes aquíferos ser esporádica e dependente do fluxo superficial e do crescente aumento da carga poluidora de efluentes não tratados (Salgado *et al.*, 2018).

Diversos estudos apontam a agricultura e pecuária, como atividades de alto potencial de degradação e poluição do meio, principalmente quando não existe planejamento adequado de uso do solo e da água, com consequente elevação da concentração de nutrientes em águas superficiais, como por exemplo, de fósforo e nitrogênio, o que promovem a alteração da qualidade da água e aceleram o processo de eutrofização da água armazenada e disponível sobre a superfície do solo (Menezes *et al.*, 2016).

Na parte média da bacia hidrográfica do rio Sucurú, localizada no município de Sumé, PB, houve o desenvolvimento de atividades agrícolas, fomentado pelo início do funcionamento do perímetro irrigado de Sumé, na década de 1970. Por mais de uma década, o município de Sumé permaneceu como grande produtor de verduras e hortaliças, com geração de emprego e renda para produtores instalados nos lotes do perímetro irrigado e população de seu entorno. A ausência de gestão e governança de recursos hídricos, o manejo inadequado da água e do solo, favoreceram a salinização, redução da produtividade e decadência da produtividade das áreas dos lotes na década de 1990, quando foi observado o início um longo período de estiagem no Nordeste do Brasil (Alves, 2016).

A avaliação da poluição na região do perímetro irrigado, do município de Sumé, PB, se faz necessária para identificar as possíveis fontes de poluição e os usos múltiplos da água, haja vista que é utilizada para consumo humano, irrigação de diversos tipos de culturas agrícolas e dessedentação animal. No entanto, a classificação para enquadramento de corpos hídricos adotada pela AESA-PB (2013), enquadrou como classe 2, às águas superficiais dos rios intermitentes da bacia hidrográfica do rio Paraíba. A ausência de classificação adequada, para a água disponível no aluvião da bacia hidrográfica do rio Sucurú, uma sub-bacia do rio Paraíba, região do perímetro irrigado de Sumé, eleva o risco ocorrência de doenças de veiculação hídrica, além da contaminação de verduras, hortaliças e forragem

animal, que continuam sendo produzidas com uso de água de qualidade duvidosa e tipos de irrigação inadequados.

Esse fato evidencia a necessidade de uma análise quanti-qualitativa da água disponível na área do perímetro irrigado de Sumé, pois em regiões semiáridas, as secas prolongadas e as altas taxas de evaporação tendem a aumentar os níveis de nutrientes e o tempo de residência da água dos mananciais, o que pode chegar a inviabilizar o uso da água para consumo humano e irrigação (Castro, 2018). Esse município também possui uma baixa cobertura de ações de saneamento básico, como a maior parte dos municípios do Brasil (Bezerra *et al.*, 2020).

As principais atividades econômicas no município de Sumé estão concentradas em serviços, agricultura e pecuária, causando impactos negativos sobre os recursos naturais e impõem uma grande demanda por irrigação e abastecimento de água na zona urbana, bem como pela diluição de efluentes domésticos, com 85% da demanda de água sendo destinada para irrigação, 11% para abastecimento humano e 4% para a pecuária. No município de Sumé apenas 1/3 do esgoto coletado é tratado por meio de lagoas de estabilização, sendo 2/3 lançado *in-natura* no riacho da Pedra Comprida, um tributário do rio Sucurú, que infiltra e/ou escoia superficialmente no aluvião (Abels *et al.*, 2018).

A análise da poluição difusa em área urbana é complexa e de difícil mensuração. O escoamento superficial pode transportar resíduos sólidos, sedimentos e poluentes provenientes de áreas vizinhas à montante, havendo interferência também de ligações clandestinas de esgoto doméstico nos sistemas de drenagem urbanas (Righetto; Gomes; Freitas, 2017).

3.4 QUALIDADE DE ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO

Em regiões áridas e semiáridas a precipitação é escassa, variável no tempo e no espaço, o que limita a disponibilidade de água no solo para a produção agrícola. Os efeitos das crescentes alterações do clima e o estresse térmico observado nestas regiões tem afetado negativamente a sustentabilidade agrícola nos cultivos de sequeiro, sendo importante o uso de técnicas apropriadas de irrigação no meio rural (Dastranj *et al.*, 2019; Razmavaran *et al.*, 2024).

A irrigação é responsável por aproximadamente 90% do consumo da água no mundo e espera-se que o aumento da procura por alimentos cresça em 70% até o ano de 2050 (McDermid *et al.*, 2023; Tilman *et al.*, 2011).

No Brasil a área irrigada cresceu 3,8 vezes no período de 1985 a 2021, passando de $8,04 \times 10^5$ ha para $3,2 \times 10^6$ ha, conforme levantamento do mapeamento anual da cobertura e uso da terra no Brasil de 1985 a 2021, realizado pelo projeto MapBiomas. Bahia, Goiás e Minas Gerais possuem 64% da área mapeada por pivô central, sendo que 31% deste percentual encontra-se em Minas Gerais. Na região do SAB o polo de irrigação Petrolina/Juazeiro apresentou maior área em 2021, com cerca de 7×10^4 ha, aumentando 4,5 vezes em 37 anos (Projeto MapBiomas, 2022).

Apesar da prática da irrigação ser milenar, com evolução mundial das áreas irrigadas de 8×10^6 ha em 1880 para $2,75 \times 10^8$ ha em 2000 (Christofidis, 2002), a importância da qualidade da água para a irrigação começou a ser reconhecida no início do século XX (Holanda *et al.*, 2016). De acordo com Ayers & Wescot (1991), devido à abundância de água, em geral, de boa qualidade e de fácil uso, não se deu a devida atenção aos aspectos da qualidade da água.

Em decorrência do crescimento da população mundial, da produção de alimentos e do descarte de resíduos sem tratamento sobre o solo e água, o manejo racional da irrigação deve contemplar os aspectos qualitativos e a economia de água para prevenção dos problemas causados pela salinidade associados aos demais fatores produtivos, de modo a maximizar o rendimento agrícola.

As principais fontes de recursos hídricos para irrigação são águas de superfície, que são abastecidas pela água da chuva e subterrâneas abastecidas por infiltração lenta das águas superficiais, através dos solos, acomodando-se sobre, sob ou entre camadas rochosas, podendo ser mantidas sob pressão a diferentes profundidades.

Além da disponibilidade hídrica limitada de água doce em rios, lagos e lençóis freáticos para consumo humano, dessedentação animal e irrigação existe o agravante de que águas superficiais recebem elevada carga de poluição difusa (Hawken *et al.*, 1999; Holanda *et al.*, 2016).

A água subterrânea ocorre no subsolo quando se preenche e satura com água os espaços vazios existentes entre as partículas sólidas, grãos e rochas, nas falhas geológicas, fissuras abertas, formações geológicas, consolidadas ou não, denominadas de aquíferos. A disponibilidade de água, em termos de quantidade e qualidade tem dependência significativa da sua interação com o solo (Salgado, 2016).

A qualidade da água destinada para irrigação deve ser considerada como um fator importante para limitar o seu uso, mas não se pode desconsiderar a quantidade de sais dissolvidos na água superficial ou subterrânea, as condições climáticas locais,

os atributos físico-químicos dos solos, a tolerância das culturas a serem produzidas, as técnicas de irrigação e de drenagem (Holanda *et al.*, 2016).

Em zonas áridas e semiáridas a concentração de sais presentes na água subterrânea é maior do que em rios e reservatórios superficiais. A composição da água subterrânea pode ser alterada por influência das propriedades químicas do solo e das rochas durante o seu percurso até o armazenamento em regiões mais profundas, enquanto para águas de superfície pode haver influência da precipitação e da evaporação, pois as perdas de água por evaporação causam a elevação progressiva da concentração de sais (Leprun, 1983; Molle & Cadier, 1992).

As águas subterrâneas apresentam algumas propriedades que tornam o seu uso mais vantajoso em relação ao das águas superficiais dos rios e reservatórios, pois são filtradas e purificadas naturalmente por meio da percolação, não ocupam espaço em superfície, possuem temperatura constante, podem ter maior quantidade de armazenamento, sofrem menor influência das variações do clima, apresentam proteção contra agentes poluidores e podem ser extraídas próximo ao local de uso (Wrege, 1997). Seu uso está condicionado a fatores quantitativos, qualitativos e econômicos, pois os aquíferos possuem diferentes taxas de recarga, composição de rochas, condições climáticas e de renovação da água, além de depender da profundidade e das condições de operação para bombeamento (Leal *et al.*, 2014).

Alguns tipos de solos da bacia hidrográfica são mais afetados por sais presentes na água de irrigação, com destaque para os Solonetz e Planossolos, que possuem maior risco de salinização, com valores de condutividade elétrica média da água de superfície de rios, em função do tipo de solo, variando de $0,621 \text{ dS.m}^{-1}$ a $4,596 \text{ dS.m}^{-1}$, respectivamente (Leprun, 1983).

Como o interesse na classificação da qualidade da água é para fins agrícolas ou agrônômicos, a cultura é o mais importante fator a ser considerado (Holanda *et al.*, 2016). A avaliação da qualidade da água deve ser realizada levando-se em consideração a tolerância de uma cultura específica ao conteúdo total de sais ou concentração de um íon específico, como sódio, magnésio, potássio e cloreto (Hoorn, 1971). Existem culturas tolerantes a sais, como o algodão e outras muito sensíveis, como as hortaliças e espécies frutíferas, devendo-se levar em consideração o nível de tolerância de acordo com o estágio de desenvolvimento das culturas, haja vista que alterações que ocorrem nas plantas são frutos da intensidade do estresse, do tipo de sal na água e de diferentes mecanismos de tolerância em indivíduos (Sá *et al.*, 2015).

O clima atua como um dos fatores mais importantes na adequação das plantas para suportar maiores concentrações de sais presentes na água, pois sob clima frio e úmido irão suportar maiores concentrações de sais do que sob clima quente e seco, que possui baixa umidade relativa do ar (Maas, 1986). A evapotranspiração e a precipitação são elementos climáticos e hidrológicos que devem ter atenção especial para avaliação da qualidade da água para irrigação (Kovda *et al.*, 1973). Maior evapotranspiração requer maior quantidade de água irrigada e, conseqüentemente, maior quantidade de sais, maior salinidade do solo, embora parte possa ser lixiviado (Hoorn, 1971).

Chuvas que ocorrem de forma distribuída uniformemente no período de crescimento das culturas diluem a solução do solo, mas não afetam a lixiviação do perfil, como na ocorrência da mesma quantidade de chuva em um curto espaço de tempo (Kovda *et al.*, 1973). Sob condição de baixa umidade relativa do ar, altas temperaturas e velocidade do vento, a toxicidade causada pela irrigação por aspersão é intensificada com a redução do limite de tolerância das culturas (Ayers & Westcot, 1991).

A escolha do manejo da irrigação e drenagem são essenciais para que se possa conseguir o equilíbrio entre a concentração salina da água e do solo. No entanto, em uma área sem possibilidade de ocorrência de drenagem, a ocorrência de lençol freático elevado provocará ascensão capilar da água subterrânea e, conseqüentemente, o aumento da salinidade do solo (Kovda *et al.*, 1973). Tanto o método quanto a frequência de irrigação interferem na adequação da água e tolerância das espécies cultivadas à salinidade (Holanda, 2016).

A prática da irrigação se torna indispensável em regiões áridas e semiáridas em decorrência da existência de déficit hídrico em períodos prolongados de estiagem e secas. A acumulação da água no período chuvoso alternado com o aumento da evaporação na estação seca promove uma variação quantitativa e qualitativa no teor de sais da água, com implicações no uso para irrigação, o que pode favorecer a salinização dos solos quando não houver manejo adequado da irrigação e drenagem, sendo necessária a avaliação da qualidade da água como medida preventiva dos processos de salinização pelo acúmulo de sais decorrentes de irrigações sucessivas (Holanda *et al.*, 2016; Nunes Filho *et al.*, 1991).

A qualidade da água usada para irrigação deve ser avaliada quanto ao risco de salinidade, problemas associados a infiltração e toxicidade de íons específicos. A

salinidade reduz a absorção de água pelas plantas e afeta o rendimento das culturas. A quantidade de sódio presente na água eleva a sua porcentagem trocável com o solo, altera suas propriedades físico-químicas e pode dificultar a infiltração. O excesso de cloro, sódio e boro pode gerar efeitos de toxidez sobre as plantas, afetando o rendimento das culturas, independente do efeito osmótico (Holanda *et al.*, 2016).

O parâmetro mais usado para expressar a concentração de sais solúveis na água é a condutividade elétrica - CE. A água pura tem condutividade elétrica baixa, da ordem de $0,05 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, podendo aumentar com a dissolução de substâncias e se tornar um bom condutor elétrico. A razão de adsorção de sódio – RAS, da água usada para irrigação é o parâmetro de melhor correlação com a porcentagem de sódio trocável com o solo - PST. Valores elevados de PST, sob condições de baixa salinidade, causam a dispersão de partículas com redução da condutividade da condutividade hidráulica do solo (Holanda *et al.*, 2016).

A classificação de água para irrigação proposta pelo Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos (*United States Salinity Laboratory - USSL*) ainda é a mais utilizada, mesmo apresentando algumas limitações. A avaliação é realizada de forma qualitativa por meio de quatro classes de salinidade, à medida que aumenta a concentração de sais e, conseqüentemente, sua condutividade elétrica, com denominações de C₀, C₁, C₂, C₃, C₄ e C₅ (FUNCEME, 2014; Richards, 1954), também adotados como índices de salinidade por Frenkel (1984).

Tabela 1 – Categorias de classificação adotadas pelo USSL

Categoria de risco de salinidade	Salinidade da Água	Categoria de risco de sódio	Presença de Sódio
C ₀	Fraquíssima	S1	Fraca
C ₁	Fraca	S2	Mediana
C ₂	Média	S3	Alta
C ₃	Alta	S4	Extremamente Alta
C ₄	Muita Alta		
C ₅	Extremamente Alta		

Fonte: adaptado de Salgado (2016).

A Salinidade pode afetar o crescimento das plantas, a produtividade e qualidade do produto, se manifestando na redução da população e desenvolvimento das culturas, com sintoma parecido ao causado pelo estresse hídrico, mas cada cultura tem comportamento diferente em relação a tolerância aos sais presentes na água de irrigação, desde as mais tolerantes como o algodão até as mais sensíveis como as hortaliças (Holanda *et al.*, 2016; Rhoades *et al.*, 1992).

A classificação de Richards (1954) foi e continua sendo usada como guia para a classificação de água para irrigação. Existem relatos de inconvenientes desta classificação, como a suposição de que o cálcio e magnésio tem a mesma seletividade iônica, o que não corresponde à realidade, pois para uma mesma RAS a adsorção de sódio cresce ao aumentar a relação de Mg/Ca, devido a menor energia de adsorção do magnésio. Também não se levou em conta a possibilidade de precipitação de sais, o que pode aumentar o risco de sodicidade, haja vista que o cálcio é o cátion mais sujeito a reação, precipitando na forma de carbonato e sulfato que são de baixa solubilidade (Pizarro, 1985).

Pizarro (1985) e Ayers & Wescot (1991) identificaram um erro conceitual na classificação de Richards (1954), devido aos sais presentes na solução do solo possuírem um efeito floculante, oposto ao efeito dispersante do sódio trocável, dessa forma, para uma mesma RAS o risco de sodicidade será menor quanto maior for a condutividade elétrica da água. Das dezesseis classes previstas por meio da combinação da salinidade com sodicidade, na classificação de Richards (1954), seis não existem sob condições naturais (Bhumbla, 1977).

No semiárido do Nordeste do Brasil há ocorrência de bacias sedimentares ou de embasamento cristalino, onde os reservatórios de maior capacidade volumétrica possuem água de melhor qualidade para irrigação, mas apresentam variação na composição nos períodos secos e chuvosos (Holanda *et al.*, 2016).

A recomendação de Ayers & Wescot (1991) é restringir a três classes de sodicidade, relacionando-se a RAS com a condutividade elétrica da água (Tabela 2).

Tabela 2 – Riscos de infiltração no solo causados pela sodicidade da água

RAS (mmol.L ⁻¹) ^{1/2}	Classes de sodicidade		
	S ₁ Sem problemas	S ₂ Problemas crescentes	S ₃ Problemas severos
0 - 3	> 0,70	0,70 - 0,20	< 0,20
3 - 6	> 1,20	1,20 - 0,30	< 0,30
6 - 12	> 1,90	1,90 - 0,50	< 0,50
12 - 20	> 2,90	2,90 - 1,30	< 1,30
20 - 40	> 5,00	5,00 - 2,90	< 2,90

Fonte: adaptado de Ayers & Wescot (1991)

Sódio, cloro e boro são os elementos mais propensos a causar toxidez nas plantas, em decorrência de concentrações elevadas na água de irrigação (Ayers & Wescot, 1991). Podem ser classificadas três classes de risco de toxidade (Tabela 3).

Tabela 3 – Concentrações de íons na água e riscos de toxicidade às plantas

Íon	Classes de toxicidade da água		
	T ₁ Nenhum problema	T ₂ Problema moderado	T ₃ Problema severo
Sódio ou Cloreto (mmol.L ⁻¹)			
Irrigação por aspersão	< 3,0	> 3,0	
irrigação por superfície	< 3,0	3,0 - 9,0	> 9,0
Boro (mg.L ⁻¹)	< 0,7	0,7 - 3,0	> 3,0

Fonte: adaptado de Ayers & Westcot (1991)

Nos estados do Ceará, Paraíba e Rio Grande do Norte constatou-se que existem variações consideráveis na qualidade da água usada para irrigação no período de um ano, principalmente daquelas oriundas de pequenos e médios açudes, poços amazonas, lagoas, leitos de riachos e rios que são mais sujeitos a variação da composição química em relação ao clima local (Medeiros, Gheyi e Nascimento, 2012).

Os problemas de toxicidade tendem a se intensificar quando se utiliza a irrigação por aspersão foliar, pois há exposição direta da parte mais sensível da planta quando à água contém elevados teores de sais e as culturas se subdividem quanto ao limite de tolerância de sódio e cloreto (Tabela 4).

Tabela 4 – Tolerância relativa de algumas culturas a sódio e cloreto

Concentração de Na ⁺ ou Cl ⁻ que causa dano foliar (mmol.L ⁻¹)			
< 5,0	5,0 - 10,0	10,0 - 20,0	> 20,0
Ameixa	Batata inglesa	Alfafa	Algodão
Amêndoa	Pimentão	Cartamos	Beterraba-açucareira
Citros	Tomate	Cevada	Couve-flor
Damasco	Uva	Gergelim	Girassol
		Milho/sorgo	Morango
		Pepino	

Fonte: adaptado de Maas (1985).

Pesquisas realizadas na Universidade Federal Rural do Semiárido, no período de 1990 a 1995, verificaram que 73,08% que a qualidade da água possuía classe de salinidade de média a baixa, porém 60% das amostras apresentaram risco de toxidez de sódio ou cloreto, o que requer manejo e tipo de irrigação adequados (Morais; Maia; Oliveira, 1998).

Em relação à água subterrânea, Medeiros, Gheyi e Nascimento (2012) afirmaram que, em áreas produtoras de melão nos estados do Ceará e Rio Grande do Norte apresentaram níveis elevados de salinidade, altas concentrações de cloreto

e alcalinidade, mas baixa sodicidade. Vale ressaltar que a água disponível em poços perfurados em rochas possui maior conteúdo salino do que as de litologia sedimentar.

De acordo com essas características espera-se não haver problemas de acumulação de sais, mas essa não é a realidade na região do semiárido brasileiro. Estima-se entre 25% a 30% dos perímetros irrigados do Nordeste são salinizados. Ressalta-se que os solos destes perímetros irrigados possuíam problemas de salinidade, porém o manejo inadequado da irrigação causou a acumulação gradativa dos sais por ausência de drenagem, com elevação do lençol freático, com consequente aumento das áreas salinizadas (Holanda *et al.*, 2016).

Os riscos potenciais de salinidade, sodicidade e toxicidade de íons específicos sobre os solos e as culturas são os principais critérios de avaliação da qualidade da água utilizada para irrigação (Holanda *et al.*, 2016).

A classificação da qualidade da água para uso na irrigação estabelecida por Richards (1954), tornou-se mundialmente utilizada, embora apresente alguns inconvenientes e erros conceituais. Essa classificação deve ser usada como uma diretriz para estabelecer e definir práticas de manejo adequado da água salina, devendo-se levar em consideração as características edafoclimáticas da área a ser irrigada. A classificação proposta pelo Comitê de Consultores da Universidade da Califórnia é menos rigorosa, onde sugere-se que os riscos de salinidade, sodicidade e toxicidade iônica sejam representados pelas letras C, S e T, respectivamente, com subscritos numéricos para designar o grau do problema (Holanda *et al.*, 2016).

4 MATERIAL E MÉTODOS

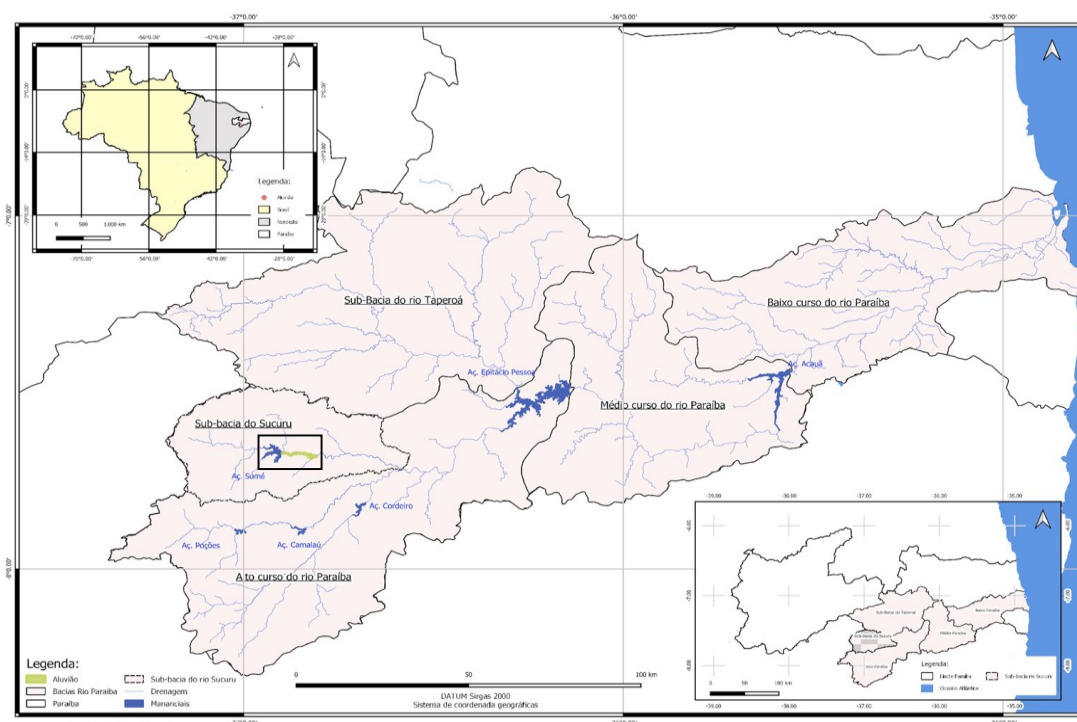
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada no aluvião do rio Sucurú, possui 351 ha, largura de 50 a 500 m, profundidade de 0,5 a 15 m e capacidade de armazenamento estimada em 1,7 hm³ (Tsuyuguchi *et al.*, 2020).

Esse aquífero recebe elevada carga de esgoto doméstico urbano e rural, tratado e não tratado (Alcântara *et al.*, 2022). Situa-se a jusante de reservatório público, que possui 45 hm³, construído para atender as demandas de abastecimento urbano e do perímetro irrigado do município de Sumé, PB, que por sua vez está localizado na parte média da bacia hidrográfica do rio Sucurú, região do alto curso do rio Paraíba (Figura 6).

De acordo com os dados demográficos do censo populacional do IBGE (2022), o município de Sumé, PB, possui uma população estimada de 17.166 habitantes, densidade demográfica de 20,6 hab.km⁻² e média de 2,58 moradores por residência.

Figura 6 – Localização da área de estudo.



Fonte: adaptado de IBGE (2022) e AESA (2013)

Em termos geográficos, está situado na região do Cariri, mesorregião do Planalto da Borborema, inserido no Polígono das Secas, possui área de 838 km² e

clima do tipo semiárido quente (BSHW), com chuvas de verão, segundo a classificação de Köppen (Francisco *et al.*, 2015; CPRM, 2000).

O clima caracteriza-se pela alternância de duas estações definidas, a chuvosa, denominada inverno, e a da seca, chamada de verão. As temperaturas são elevadas, com média anual de 26°C, variando de 21° C a 31° C, a umidade é baixa no período seco, com variação de 15% a 50% e no período chuvoso de 28% a 82%, com chuvas que apresentam variabilidade espacial e temporal, comumente denominadas de irregulares, com total precipitado anual médio de 584,9 mm (Sena; Morais Neto; Lucena, 2019; CPRM, 2000; SUDENE, 1990).

A vegetação predominante é do tipo Caatinga, comum do sertão nordestino, sendo representada por Bromeliáceas e Cactáceas, conhecidas popularmente como macambira, marmeleiro, umburana, catingueiro, xique-xique, facheiro, jurema etc. As árvores de médio porte são encontradas nas proximidades de rios, devido à maior umidade desses locais (CPRM, 2000).

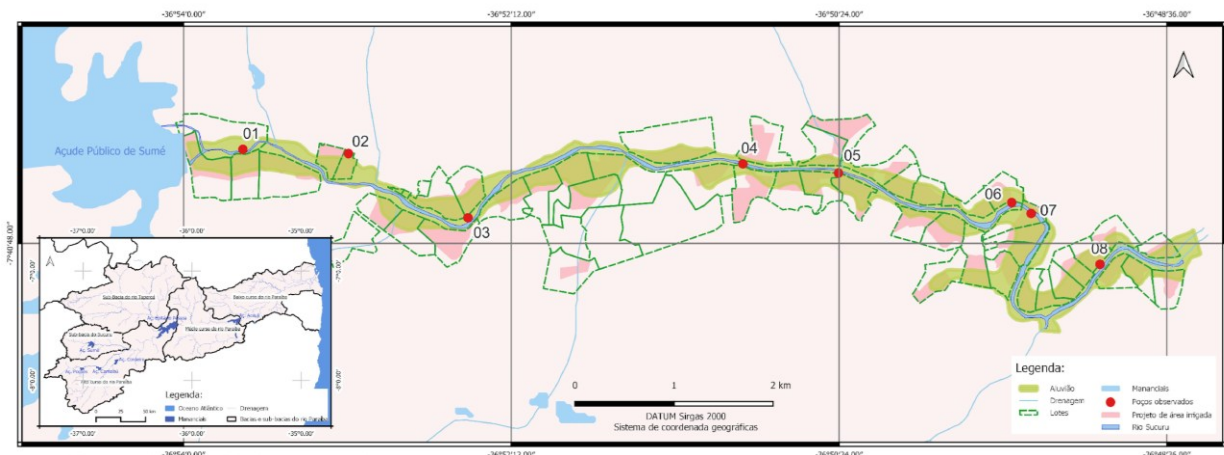
A rede hidrográfica é constituída, principalmente, pela bacia do rio Paraíba e seus afluentes, os quais caracterizam-se por serem efêmeros ou intermitentes e, em geral, têm seus leitos comandados pela rede de fraturamento da área (CPRM, 2000).

A identificação das fontes de poluição na zona urbana do município, dos poços, locais de amostragem e dos usos múltiplos da água, na área de estudo foi realizada por meio de visitas de campo registradas com GPS de localização com auxílio da infraestrutura oferecida pelo Campus de Sumé da UFCG.

4.1.1 Identificação dos pontos de coleta de amostras de água no aluvião do Rio Sucuru

Na Figura 7 pode-se observar a localização dos poços selecionados durante as visitas de campo para obtenção de parâmetros físico-químicos por meio da sonda HI 9829, coletas de amostras de água para realização de análises em laboratório e classificação de uso da água na irrigação e dessedentação animal.

Figura 7 – Localização dos poços selecionados



Fonte: autoria própria

Foram selecionados 8 dos 32 poços amazonas existentes no aquífero aluvial do rio Sucurú, na área do perímetro irrigado de Sumé, levando em consideração o tipo construtivo e condição física dos poços, a segurança e facilidade de acesso para a realização das coletas de dados e amostras de água dos poços, uso da água contida no poço para irrigação e/ou dessedentação animal, atividades antropogênicas nas proximidades dos poços e a localização em relação a zona urbana do município de Sumé para avaliação dos efeitos da poluição difusa.

Na Tabela 5 pode-se observar as características dos poços escolhidos para realização do monitoramento qualitativo da água subterrânea disponível para uso na irrigação e dessedentação animal.

Tabela 5 – Dados dos poços escolhidos para coleta de água

Poço	Margem do rio	Nível estático (m)	Profundidade do poço (m)	Diâmetro externo (m)	Altura do topo em relação ao solo (m)	Material das paredes	Possui tampa	Finalidade	Situação	Latitude	Longitude
1	Esquerda	1,02	3,44	3,00	0,23	Tijolo de barro	Não	Irrigação e dessedentação animal	Inativo	7°40'17,1" S	36°53'40,5" O
2	Esquerda	0,98	4,11	2,16	0,92	Tijolo de barro	Não	Irrigação	Inativo	7°40'18,5" S	36°53'05,7" O
3	Direita	0,60	5,7	2,15	0,60	Tijolo de barro	Não	Irrigação	Ativo	7°40'39,6" S	36°52'26,3" O
4	Direita	5,20	9,50	2,00	0,45	Tijolo de barro	Sim	Irrigação e dessedentação animal	Ativo	7°40'21,9" S	36°50'55,7" O
5	Direita	4,40	6,7	2,00	0,55	Anéis de concreto	Não	Irrigação	Ativo	7°40'24,9" S	36°50'24,2" O
6	Centro	2,32	4,10	2,45	0,60	Anéis de concreto	Não	Irrigação e dessedentação animal	Ativo	7°40'34,6" S	36°49'27,1" O
7	Direita	1,70	4,52	2,50	1,70	Tijolo de barro	Não	Irrigação e dessedentação animal	Ativo	7°40'38,2" S	36°49'20,7" O
8	Esquerda	2,24	8,40	2,00	0,8	Tijolo de barro	Não	Irrigação e dessedentação animal	Ativo	7°40'54,9" S	36°48'58,0" O

Fonte: autoria própria (2024).

No período de janeiro a dezembro de 2023, foram realizadas 6 visitas de campo aos 8 poços selecionados para obtenção de 336 valores dos parâmetros físico-químicos de qualidade da água, por meio da Sonda Hanna HI 9828 e coletas de amostras para obtenção dos valores médios das concentrações de cálcio, magnésio, sódio e potássio, após 576 análises laboratoriais em triplicata e 48 valores de concentração da dureza, somatório dos valores de cálcio e magnésio.

Por meio da sonda de qualidade de água Hanna HI9829 foram obtidos os parâmetros de temperatura (°C), pH, ORP (mV), condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), resistividade ($\Omega\cdot\text{cm}$), sólidos totais dissolvidos (ppm), salinidade (psu), pressão (psi), oxigênio dissolvido (% e ppm), turbidez (FNU) e localização geográfica, cujos registros foram transferidos por meio do software HI 929829-v.1.0.16 para laptop ou PC do Laboratório de Fenômenos de Transporte, Hidráulica, Irrigação e Drenagem - LAFHID, do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido - CDSA, o campus de Sumé da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG.

As amostras de água foram coletadas a jusante e a montante da zona urbana do município de Sumé, com periodicidade bimensal, considerando os períodos seco e chuvoso. Após a ocorrência de precipitações que geraram escoamento superficial e recarrega o aquífero aluvial foram realizadas coletas quando foi possível acessar os locais de medição, devido a inundação de alguns poços escolhidos para monitoramento da qualidade de água para usos na agropecuária, não sendo possível manter a periodicidade de coleta a cada 2 meses.

4.2 QUALIDADE DA ÁGUA PARA DESSEDENTAÇÃO ANIMAL

Para identificar a qualidade físico-química da água subterrânea para uso na irrigação e dessedentação animal foram usadas as normativas contidas na Resolução CONAMA nº 396/2008 e as diretrizes internacionais empregadas na África do Sul (DWAF, 1996), Austrália e Nova Zelândia (ANZECC, 2000), Canadá (CCME, 1993) e documentos gerados por meio da *“Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO”* (Ayers & Wescot, 1985).

Os valores dos parâmetros recomendados pela África do Sul, Austrália e Nova Zelândia, Canadá e FAO para a dessedentação animal usados neste trabalho estão listados na Tabela 6.

Tabela 6 – Valores limites para uso da água na dessedentação animal

Parâmetros	Dessedentação animal		
	Brasil	Outros países	FAO
CE ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	-	-	5.000 - aves
	-	-	8.000 - bovinos, caprinos, ovinos e suínos
STD (mg.L^{-1})	-	2.000 - aves (AU/NZ; AS)	3.000 - aves
	-	4.000 - bovinos, equinos, ovinos e suínos (AU/NZ; AS)	7.000 - bovinos, caprinos, ovinos e suínos
Cálcio (mg.L^{-1})	-	1.000 (CA; AS)	-
Magnésio (mg.L^{-1})	-	1.000 (AS)	250 - aves, caprinos jovens, equinos, vacas lactantes, suínos
	-	600 (AU/NZ)	400 - bovinos
	-	-	500 - caprinos e ovinos adultos

Fonte: adaptado de Amaral; Ferreira; Navoni (2021)

4.3 QUALIDADE DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO

Na região do semiárido brasileiro é comum o uso da água subterrânea para irrigação e dessedentação animal, por meio do bombeamento para sistemas de irrigação e de armazenamento.

As coletas de amostras de água nos 8 poços selecionados foram realizadas em triplicata para a realização das análises laboratoriais e obtenção da concentração dos parâmetros cálcio, magnésio, potássio e sódio foram seguidos os procedimentos descritos no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012).

Na determinação de sódio e potássio foi utilizado o método da fotometria de chama e o método titulométrico do EDTA para obtenção dos valores das concentrações de cálcio e magnésio.

Na Tabela 7 pode-se verificar os parâmetros utilizados neste trabalho e seus limites de restrição de uso para irrigação na área de estudo.

Tabela 7 – Valores limites para uso da água na irrigação

Parâmetros	Irrigação		
	Brasil	Outros países	FAO
pH	-	-	6,5 - 8,5 adequado
CE ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	-	-	< 700 (nenhum)
			700 - 3.000 (moderado)
			> 3.000 (severo)
STD (mg.L^{-1})	-	-	< 450 (adequado)
			450 - 2.000 (moderado)
			> 2.000 (severo)
Na (mg.L^{-1})	-	< 115 - lesão a plantas sensíveis (AU/NZ) 115 - 230 - lesão em plantas moderadamente sensíveis (AU/NZ) 230 - 460 - lesão em plantas moderadamente tolerantes (AU/NZ) > 460 - lesão em plantas tolerantes (AU/NZ)	Irrigação de superfície
			> 68 (adequado)
			68 - 206 (moderado)
			> 206 (severo)
			Irrigação por aspersão
			> 68 (moderado)

Fonte: adaptado de Amaral; Ferreira; Navoni (2021)

4.4 CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO

A relação de adsorção de sódio (RAS) foi calculada com base nas concentrações de sódio, cálcio e magnésio que associado aos valores de condutividade elétrica (CE) para fornecer a classificação da água quanto aos riscos de salinização e de sodificação, considerando as classificações adotadas pelo United States Salinity Laboratory (USSL, 1954), por Ayers & Westcot (1991) e FUNCEME (2014), os critérios mais aceitos para fins de irrigação (Braga *et al.*, 2020; Holanda *et al.*, 2016). As águas foram divididas em classes segundo a (RAS), após cálculo usando a equação 1.

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} \quad (1)$$

Onde:

RAS é a relação de adsorção de sódio;

Na^+ é o íon cátion de sódio;

Ca^{2+} é o íon cátion de cálcio e

Mg^{2+} é o íon cátion de magnésio.

De acordo com a classificação recomendada por Richards (1954), podem ser identificadas quatro classes (S_1 a S_4), dependendo dos valores da RAS e da CE.

S_1 – Água com baixo teor de sódio: pode ser usada para irrigação em quase todos os solos, com pouco risco de desenvolvimento de problemas de sodificação.

S_2 – Água com médio teor de sódio: só deve ser usada em solos de textura arenosa ou em solos ricos em matéria orgânica e de boa permeabilidade. Não deve ser usada para irrigação em solos de textura fina, como os argilosos.

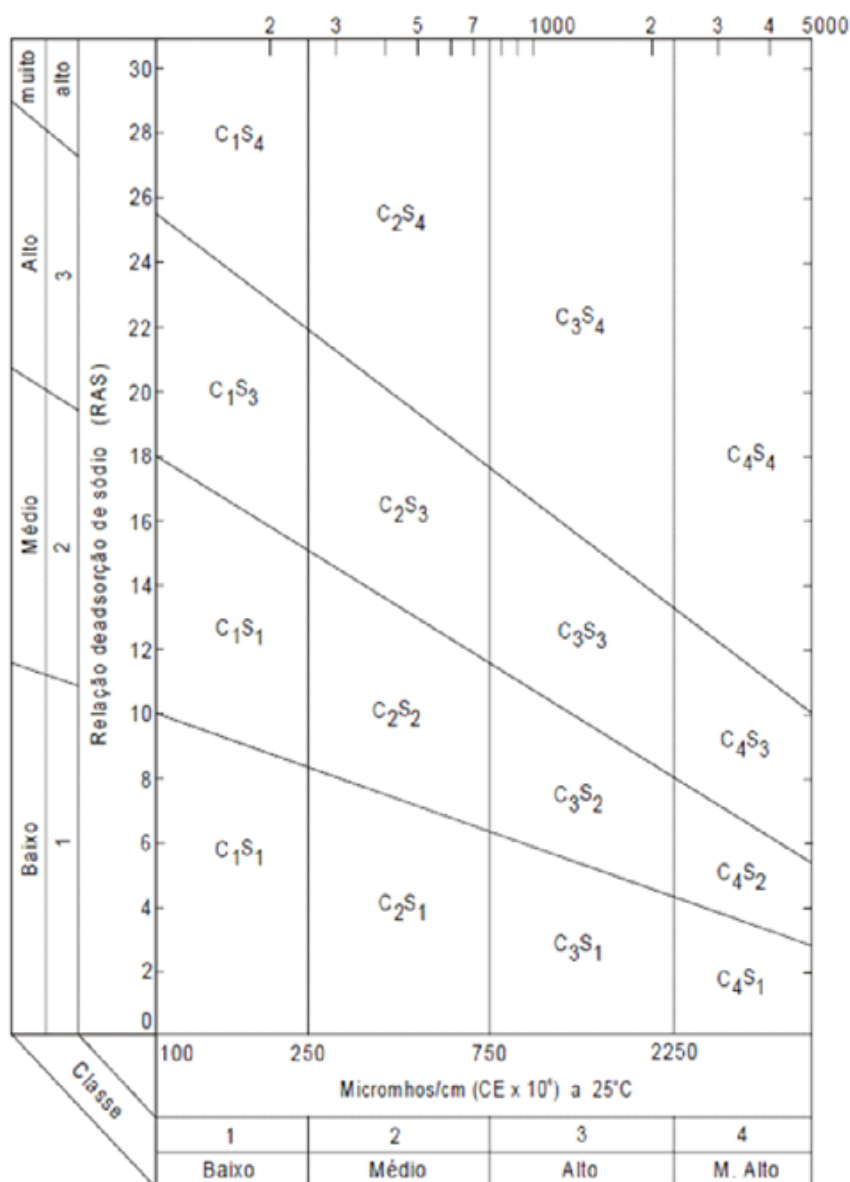
S_3 – Água com alto teor de sódio: pode produzir níveis tóxicos de sódio trocável, onde a troca catiônica ocorre entre o sódio e potássio ou amônio, onde há risco de formação de teores nocivos de sódio na maioria dos solos, salvo os gipsíferos.

S_4 – Água com teor muito alto de sódio: geralmente, inadequada para irrigação.

A classificação adotada pelo Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos (USSL, 1954 p. 79-82) apresenta um diagrama de classificação para água utilizada em áreas irrigadas, onde se combina o risco de salinidade (C_1 a C_4), também adotados como índices de salinidade por Frenkel (1984) e, a Razão de Adsorção de Sódio (RAS), variando de S_1 a S_4 , para formar 16 classes (Figura 8).

A proporção de sódio considerada prejudicial na irrigação é estabelecida em função dos teores conjuntos de cálcio e magnésio, pois estes elementos agem no sentido de deslocar o sódio contido no solo, por meio de troca catiônica. Caso a água possua elevado teor de sódio ou teor reduzido dos elementos cálcio e magnésio, há tendência de influenciar a redução da permeabilidade do solo, favorecendo o encharcamento das raízes e dificultando o desenvolvimento das plantas.

Figura 8 – Diagrama de classificação para água usada na irrigação



Fonte: Richards (1954)

O risco de salinidade foi obtido em função da condutividade elétrica (CE) e dividida em classes, variando de C₀ a C₅, complementando a classificação do USSS (1954). A condutividade elétrica é a expressão numérica da capacidade de conduzir corrente elétrica, expresso em $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, sendo dependente da concentração iônica e da temperatura.

C₀ – Água de salinidade fraquíssima (condutividade menor que $100 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), que podem ser utilizadas sem restrições para irrigação (FUNCEME, 2014).

C₁ – Água de salinidade baixa (condutividade entre 100 e $250 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$): pode ser usada para irrigação na maior parte dos cultivos em quase todos os tipos de solo, com pouca probabilidade de desenvolver problemas de salinidade. Se necessário

alguma lixiviação de sais, pode-se conseguir em condição normal de irrigação, exceto para solos de baixíssima permeabilidade.

C₂ – Água de salinidade média (condutividade entre 250 e 750 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$): pode ser usada para irrigação de cultivos com moderada tolerância a sais e sempre que houver um grau moderado de lixiviação. Em quase todos os casos se adequa ao cultivo de plantas moderadamente tolerante aos sais, sem a necessidade de práticas especiais de controle de salinidade (Holanda *et al.*, 2016).

C₃ – Água de salinidade alta (condutividade entre 750 e 2250 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$): deve ser usada apenas para irrigação de cultivos com alta tolerância a sais. Não deve ser utilizada em solos com drenagem deficiente, em solos de drenagem adequada pode ser necessária práticas especiais de controle de salinidade. Pode ser utilizada para irrigação de culturas vegetais com alta tolerância aos sais.

C₄ – Água de salinidade muito alta (condutividade entre 2250 a 5000 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$): não é apropriada para irrigação. Ocasionalmente pode ser usada em circunstâncias especiais, como solos muito permeáveis com adequada drenagem, devendo-se aplicar um excesso de água para uma boa lixiviação e só utilizar em culturas altamente tolerantes a sais.

C₅ – Água de salinidade extremamente alta, CE entre 5.000 e 20.000 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. São águas utilizáveis apenas em solos excessivamente permeáveis e muito bem cuidados. A única exceção é o cultivo de palmeiras. Pode-se usar o diagrama da Figura 7 com extrapolação (FUNCEME, 2014).

Conforme sugerido por Medeiros & Gheyi (1994), para classificação das águas de irrigação dos poços selecionados, quanto ao risco de salinidade, foram utilizadas as faixas propostas pelo USSL (1954) adaptados por sugestões propostas pela FUNCEME (2014) e por meio da classificação sugerida pelo Comitê de Consultores da Universidade da Califórnia (Frenkel, 1984; Pizarro, 1985), por não ser conservadora como a de Richards (1954), nem generalista como apresentada por Ayers & Westcot (1991). Foi utilizado o software Qualigraf, versão 1.17, para a obtenção do diagrama do risco de salinização e sodificação (FUNCEME, 2014).

Na Tabela 8 é possível observar diferenças entre os valores das classificações para o risco de salinidade propostas por Richards (1954), pelo University of California Committee of Consultants - UCCC (Frenkel, 1984; Pizarro, 1985) e por Ayers & Westcot (1991).

Tabela 8 – Classificação da água para irrigação quanto ao risco de salinidade

Classe de salinidade	Richards (1954)	UCCC	Risco de salinidade	Ayers & Westcot (1991)	
	Faixas de CE ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)			Faixa de CE ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	Risco de salinidade
C ₁	< 250	< 750	Baixo	< 700	Nenhum
C ₂	250 - 750	750 - 1.500	Médio	700 - 3000	Moderado
C ₃	750 - 2.250	1.500 - 3.000	Alto	> 3.000	Severo
C ₄	> 2.250	> 3.000	Muito alto	-	-

Fonte: adaptado de Frenkel (1984), Pizarro (1985), Ayers & Westcot (1991).

Com respeito a sodicidade e a toxicidade iônica, as diretrizes apresentadas por Ayers & Westcot (1991) são adequadas (Holanda *et al.*, 2016).

A classificação das águas subterrâneas foi realizada por meio da resolução CONAMA nº. 396/2008 (BRASIL, 2008), Portaria do Ministério da Saúde nº. 2914/2011 (BRASIL, 2011), a Portaria de Consolidação nº. 5/2017 (BRASIL, 2017) e a Portaria nº. 888/2021 (BRASIL, 2021), que alterou o anexo XX da Portaria de Consolidação nº. 5/2017.

A classificação do uso da água na irrigação realizada por meio dos parâmetros de qualidade de água e da RAS favorecem a identificação do risco de salinização na produção agrícola e agronômica, bem como do risco de toxicidade para irrigação de determinadas culturas e dessedentação animal, bem como a garantir a saúde dos consumidores, avaliar as consequências da poluição difusa, em consequência da ausência de sistemas adequados de tratamento de resíduos gerados no município de Sumé, PB.

A informação dos limites de tolerância para uso da água para irrigação e dessedentação animal foi comunicada aos produtores rurais, considerando as alterações de qualidade da água nos períodos chuvoso e seco, por meio de cartilha ilustrada, bem como comunicada ao setor de fiscalização da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – AESA/PB.

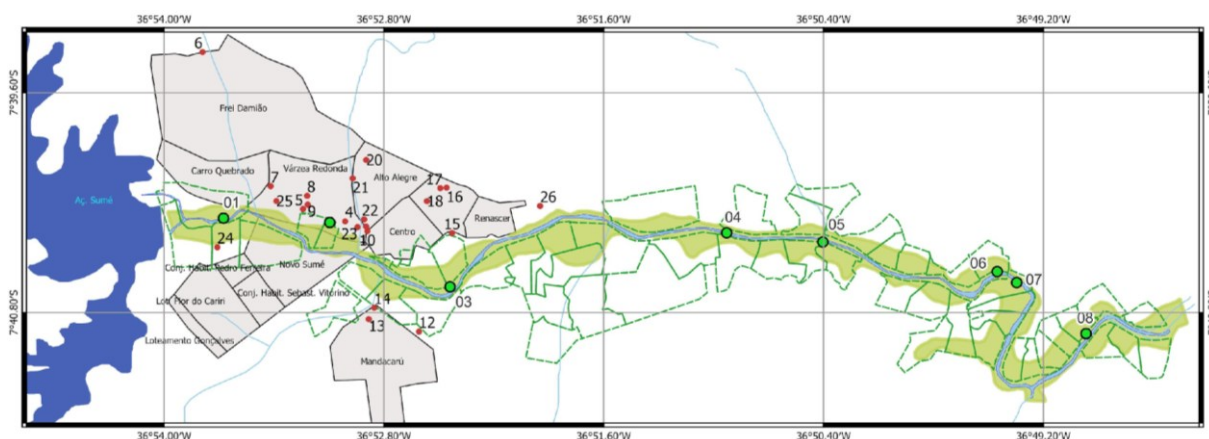
4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para a análise dos dados foi realizada análise estatística descritiva por meio de medidas de tendência central, posição e dispersão dos valores das variáveis analisadas (Triola, 1999).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As visitas de campo realizadas entre os meses de dezembro de 2022 e janeiro de 2023, permitiram identificar 8 poços no aquífero aluvial do rio Sucurú, com características adequadas para realização do monitoramento da qualidade da água além de 26 pontos de fontes de poluição difusa na zona urbana do município de Sumé, PB, utilizando GPS Garmin Etrex 4.0, entre os poços 01 e 03 (Figura 9).

Figura 9 – Fontes de poluição difusa



Fonte: autoria própria

Na Tabela 9 pode-se observar a descrição dos locais de atividades antrópicas que possuem potencial de poluição do aquífero aluvial do rio Sucurú, após descarte ou despejo de resíduos sobre o solo e transporte por meio do escoamento superficial, subsuperficial e subterrâneo.

Tabela 9 – Fontes de poluição identificadas durante as visitas de campo

Local	Quantidade	Ponto(s)
Cemitério	1	20
Estação de Tratamento de Água - ETA da CAGEPA	1	12
Estação de Tratamento de Esgotos - ETE da CAGEPA	1	26
Fábrica de pré-moldados	1	25
Fossa séptica de fábrica de confecções	1	14
Indústria de ração de frango	1	24
Indústria de alimentos (fábrica de biscoitos)	1	13
Lançamento de esgoto sem tratamento	3	10, 15 e 22
Lava a jato	9	1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9 e 16
Lixão sobre o solo desativado	1	6
Lixo lançado sobre o solo	1	11
Pocilga	1	19
Postos de abastecimento de combustíveis	3	17,18 e 23
PV de coleta de esgoto	1	21
Total	26	

Fonte: de autoria própria

Foi possível localizar nove postos de lavagem de veículos automotores, os pontos 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 13 e 16. Apenas o lava-jato localizado no ponto 5 faz tratamento dos resíduos antes do lançamento no riacho da Pedra Comprida. Os efluentes produzidos por lavagens dos veículos são lançados sem tratamento diretamente nos rios ou riachos que são tributários do rio Sucurú, apesar da legislação ambiental brasileira condicionar o tratamento dos resíduos gerados por esse tipo de atividade (Asevedo; Jerônimo, 2012).

Os pontos 17, 18 e 23 são postos de armazenamento e comercialização de combustíveis fósseis, gasolina e diesel, que possuem potencial de poluição devido aos reservatórios de armazenamento enterrados que podem contaminar a água subterrânea por meio dos hidrocarbonetos benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos, além de Etanol, considerado como um biocombustível.

Nos bairros do Alto Alegre e centro da cidade do município de Sumé, PB, localizam-se os pontos 10, 15 e 22 que lançam esgoto doméstico sem tratamento em riachos, como o da Pedra Comprida e no rio Sucurú (Figura 10).

Figura 10 – Pontos de lançamento de esgoto sem tratamento



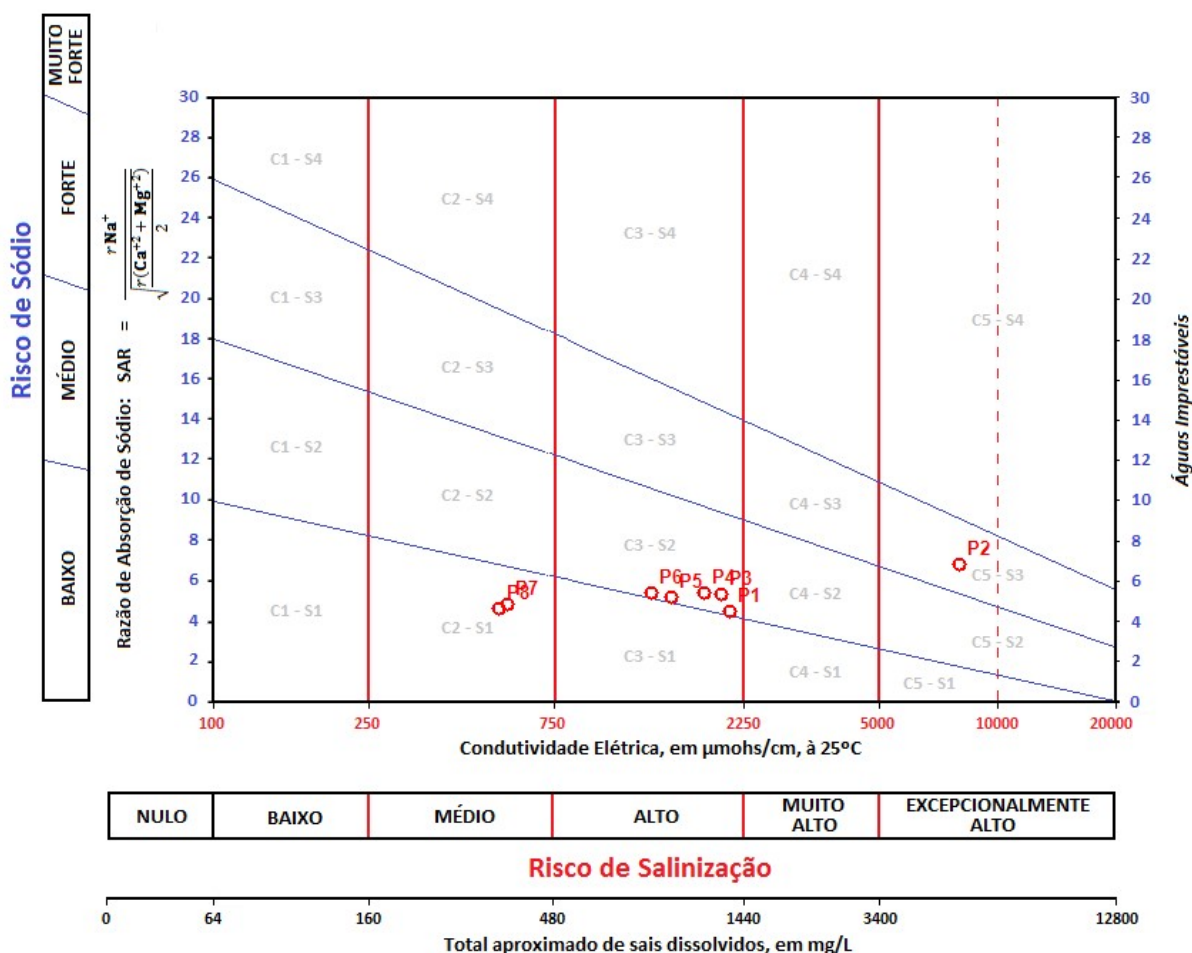
Fonte: autoria própria (2024).

Utilizando os valores obtidos das concentrações de sódio, cálcio, magnésio e condutividade elétrica foi possível obter os valores da RAS e realizar a classificação do risco de salinização e de adsorção de sódio por meio da água coletada nos 8 poços escolhidos no período de 12 meses.

Após realização das análises de água coletadas no dia 04 de janeiro de 2023, período considerado como seco na área de estudo, pois neste ano, ainda não havia ocorrido precipitação pluviométrica com conseqüente geração de escoamento superficial, foi possível classificar 12,5% das amostras com risco extremamente alto

de salinização e forte risco de adsorção de sódio no solo (C₅ - S₃), 62,5% das amostras possuíam alto risco de salinização e médio risco de adsorção de sódio no solo (C₃ - S₂), 25% com risco médio de salinização e baixo risco de sodificação (C₂ - S₁) caso fossem utilizadas para irrigação (Figura 11). Verifica-se que foi criada uma categoria de risco excepcionalmente alto tendo em vista o elevado nível de salinização das águas. O mesmo diagrama foi adotado nas Figuras 12 a 16.

Figura 11 – Diagrama do risco de salinização e sodificação das águas de 8 poços localizados no aquífero do rio Sucurú, em 04/01/2023, adaptado de Richards (1954)



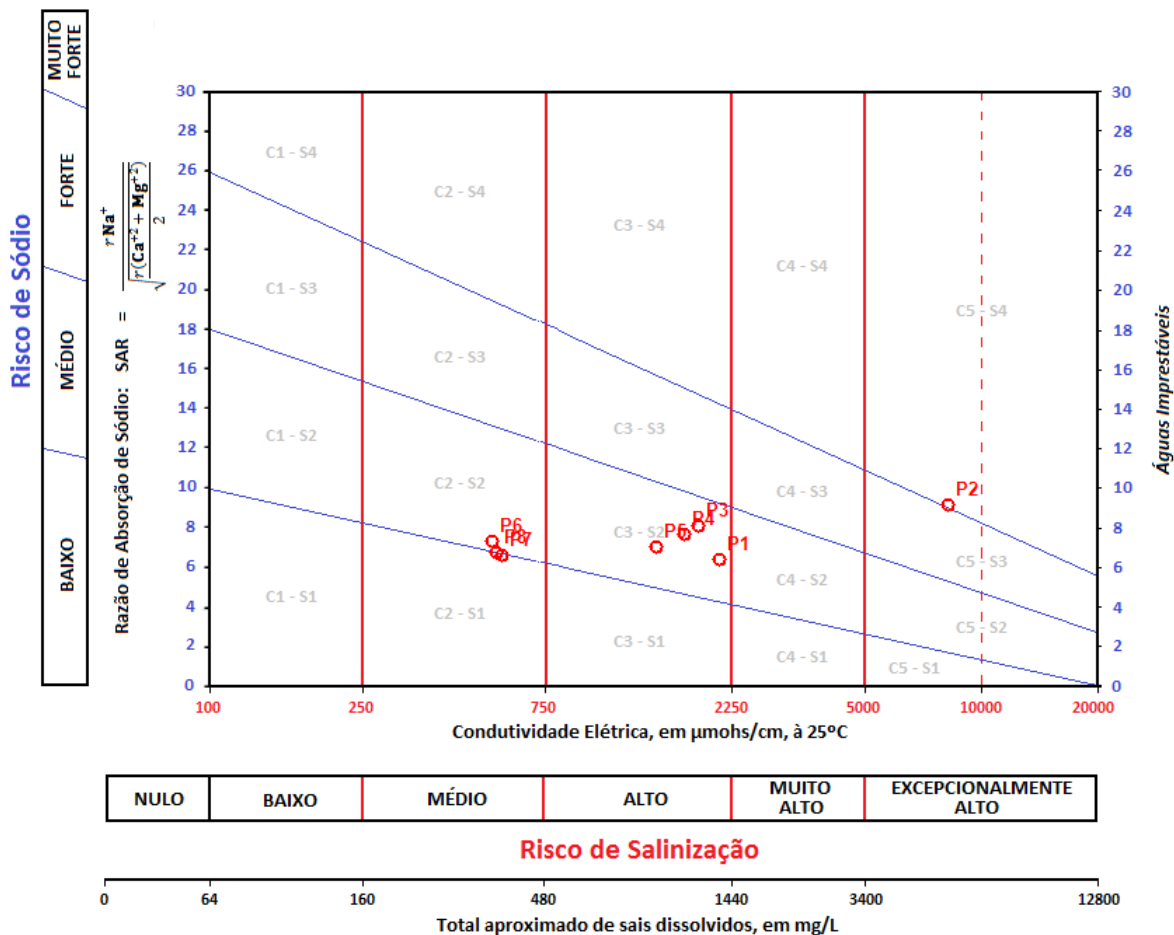
Fonte: autoria própria (2024).

Na Figura 12 pode-se observar a classificação do risco de salinização e adsorção de sódio no solo, após análises laboratoriais das amostras de água coletadas nos 8 poços monitorados, no dia 13 de janeiro de 2023, período ainda considerado como seco, devido à ausência de chuvas com consequente escoamento no município de Sumé, PB.

Foi possível identificar que 12,5% das amostras possuem risco extremamente alto de salinização e médio risco de adsorção de sódio no solo (C₅ - S₄), 50,0% possuem alto risco de salinização e baixo risco de sodificação do solo (C₃ - S₂), 25%

com médio risco de sodificação e salinização (C₂ - S₂) e 12,5% com risco médio de salinização e baixo risco de adsorção de sódio (C₂ - S₁).

Figura 12 – Diagrama do risco de salinização e sodificação das águas de 8 poços localizados no aquífero do rio Sucurú, em 13/01/2023, adaptado de Richards (1954)



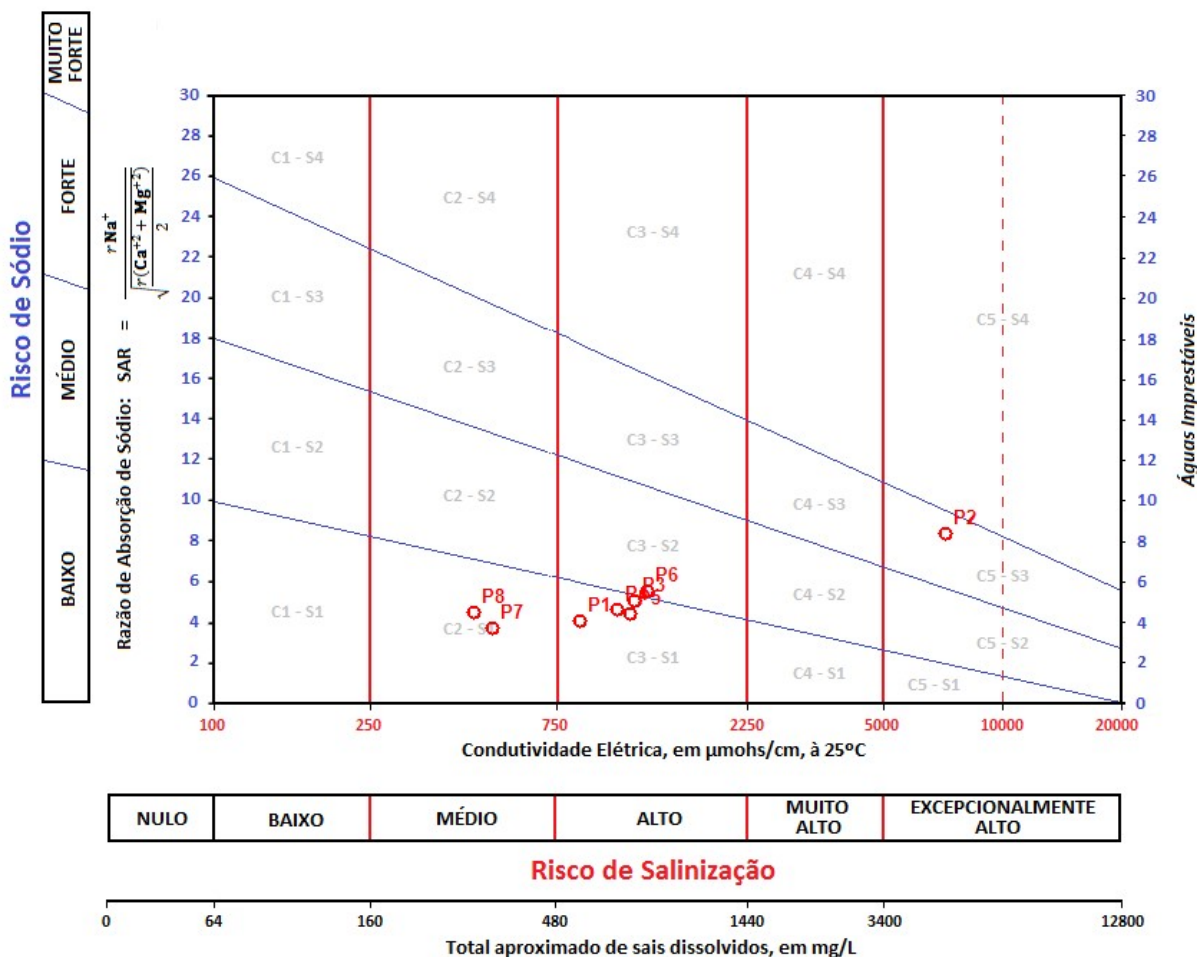
Fonte: autoria própria (2024).

No dia 25 de fevereiro de 2023, foi observado o total de chuva de 231,0 mm, no posto da secretaria de agricultura do município, e registrado 195,4 mm, no pluviômetro automático instalado no Campus de Sumé da UFCG, o que permitiu a recarga do aluvião do rio Sucurú e inundação dos poços 1, 6 e 8, sendo possível a realização das coletas de amostras nos poços, a partir do dia 17 de março de 2023.

Na Figura 13 pode-se observar a classificação do risco de salinização e adsorção de sódio no solo, após análises laboratoriais das amostras de água, coletadas nos poços monitorados, no dia 17 de março de 2023, período chuvoso ou úmido. Foi possível identificar que 12,5% das amostras possuem risco extremamente alto de salinização e alto risco de adsorção de sódio no solo (C₅ - S₃), 50,0% possuem alto risco de salinização e baixo risco de sodificação do solo (C₃ - S₁), 12,5% das

amostras possuem alto risco de salinização e médio risco de sodificação ($C_3 - S_2$) e 25,0% com risco médio de salinização e baixo risco de adsorção de sódio ($C_2 - S_1$).

Figura 13 – Diagrama do risco de salinização e sodificação das águas de 8 poços localizados no aquífero do rio Sucurú, em 17/03/2023, adaptado de Richards (1954)



Fonte: autoria própria (2024).

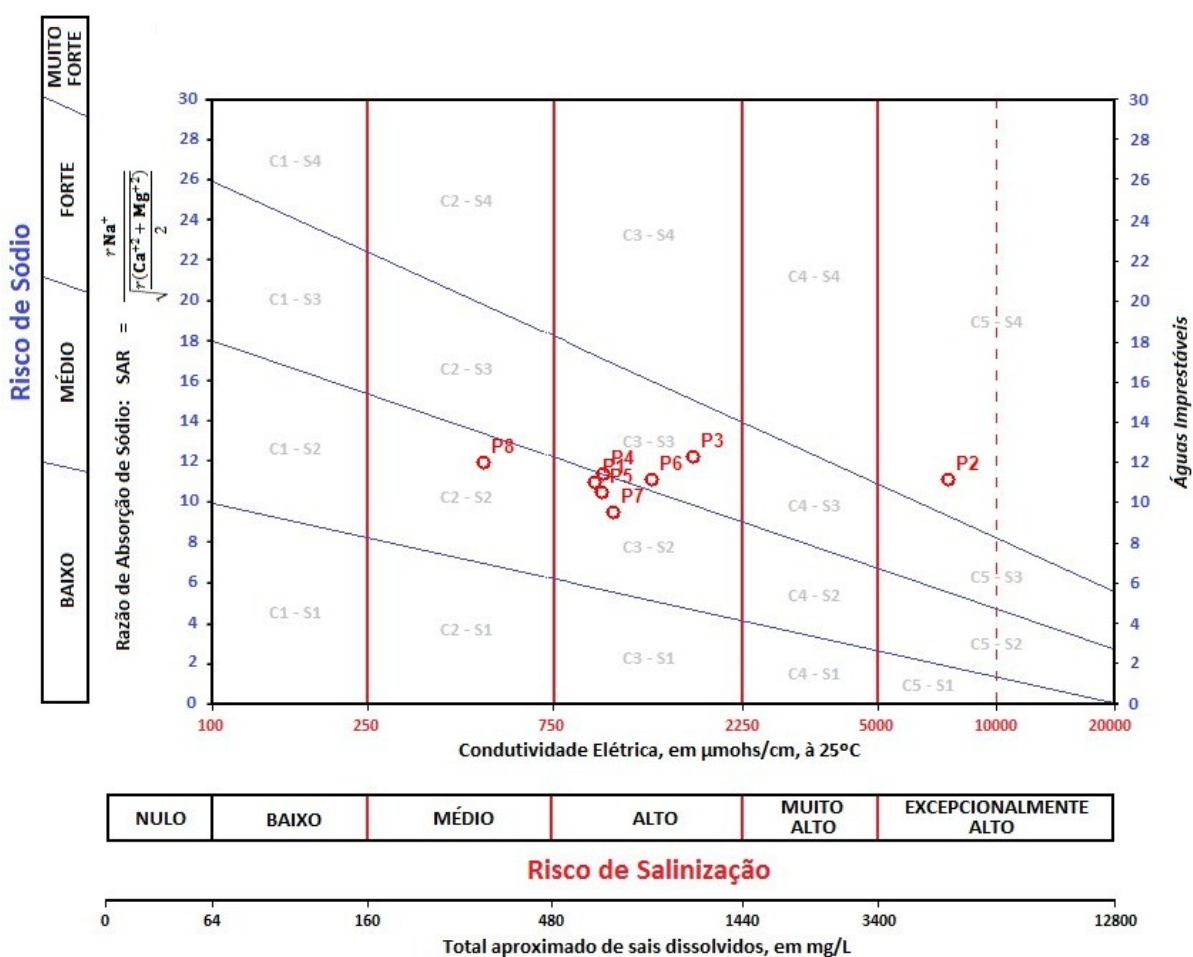
Não há recomendação de uso da água contida no poço 2 para irrigação, que possui risco extremamente alto a salinização e alto risco de sodicidade do solo ($C_5 - S_2$), pois a infiltração da água no solo pode ser prejudicada devido a sodificação, o que não favorece ao processo de infiltração da água no solo.

A água contida nos poços 1, 3, 4 e 5 possuem alto risco de salinização e baixo risco de sodicidade ($C_3 - S_1$), sendo consideradas de qualidade regular, devido ao baixo teor de sódio e altos teores de sais, sendo possível o uso para irrigação com restrições, não sendo recomendado em planossolos, gleissolos, organossolos, plintossolos e vertissolos, devido às condições restritas de drenagem natural destes solos. À água coletada nos poços 7 e 8, de acordo com a classificação obtida por meio da RAS e condutividade elétrica, possuem médio risco de salinização e baixo risco de

sodicidade (C₂ - S₁), podendo ser usada para irrigação em solos que permitam moderada lixiviação de sais, como os siltosos, areno-argilosos e silto-arenosos.

Na Figura 14 pode-se observar a classificação do risco de salinização e adsorção de sódio no solo, após análises da água coletadas no dia 28 de abril de 2023, período chuvoso. Foi possível identificar que 12,5% das amostras possuem risco extremamente alto de salinização e muito alto de adsorção de sódio (C₅ - S₄), 37,50% possuem altos riscos de salinização e de sodificação (C₃ - S₃), 37,5% possuem alto risco de salinização e médio risco de sodificação (C₃ - S₂) e 12,5% com riscos médios de salinização e de adsorção de sódio (C₂ - S₂).

Figura 14 – Diagrama do risco de salinização e sodificação, das águas de 8 poços localizados no aquífero do rio Sucurú, em 28/04/2023, adaptado de Richards (1954)

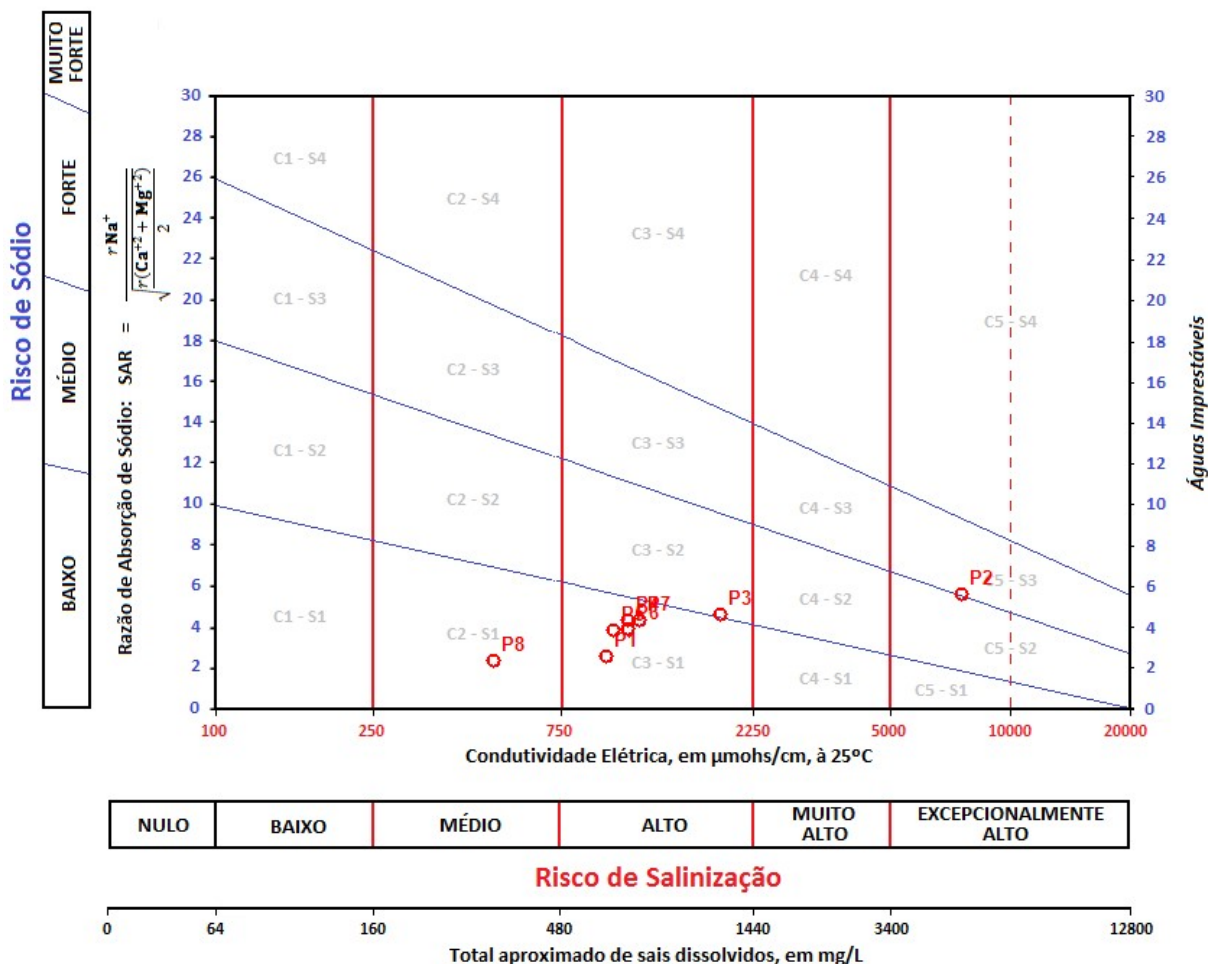


Fonte: autoria própria (2024).

Na Figura 15 pode-se observar que 12,5% das amostras possuem risco excepcionalmente alto de salinização e alto risco de sodificação (C₅ - S₃), 62,5% das amostras de água analisadas possuem alto risco de salinização do solo e baixo risco de sodificação (C₃ - S₁), 12,5% com alto risco de salinização e risco médio sodificação

(C₃ - S₂) e 12,5% com risco médio de salinização e baixo risco de sodificação (C₂ - S₁).

Figura 15 – Diagrama do risco de salinização e sodificação, das águas de 8 poços localizados no aquífero do rio Sucurú, em 18/05/2023, adaptado de Richards (1954)



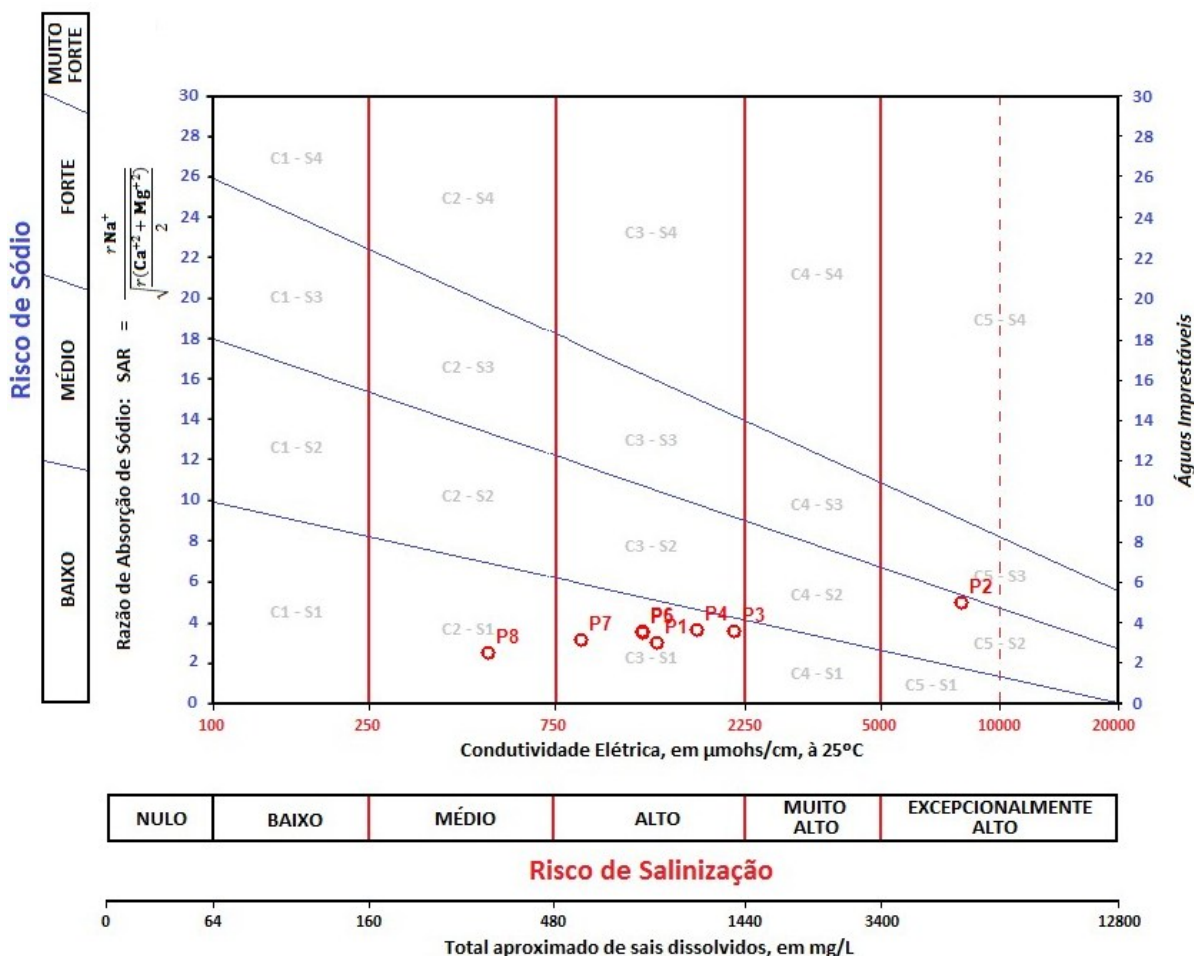
Fonte: autoria própria (2024).

A água contida nos poços 1, 4, 5, 6 e 7 foi classificada como C₃ - S₁, no dia 18 de maio de 2023, possuindo alto risco a salinização do solo e baixo na sodicidade, pois possui alto teor de sais e baixo teor de sódio, podendo comprometer o crescimento, rendimento das culturas e aspectos morfológicos, caso não exista significativa drenagem natural ou artificial, não sendo recomendada para irrigar os em planossolos, gleissolos, organossolos, plintossolos e vertissolos devido suas condições restritas de drenagem natural. No poço 2, a água foi classificada como C₅ - S₃, cujo risco de salinização do solo é extremamente alto, não sendo recomendada para uso na irrigação, o que sugere a contaminação deste poço por lançamento de efluentes não tratados, pois está localizado na zona urbana do município de Sumé, PB. A classificação da água no poço 8 foi a C₂ - S₁, ou seja, possui médio risco de

salinização e baixo risco de sodicidade, podendo ser usada para irrigação de solos com moderada lixiviação de sais, como os siltosos, areno-argilosos e silto-arenosos.

Na Figura 16 pode-se observar a classificação do risco de salinização e sodificação do solo, após realização de análises da água, coletadas no dia 08 de dezembro de 2024, período seco que ocorreu após recarga do aluvião do rio Sucurú.

Figura 16 – Diagrama do risco de salinização e sodificação, das águas de 8 poços localizados no aquífero do rio Sucurú, em 08/12/2023, adaptado de Richards (1954)



Fonte: autoria própria (2024).

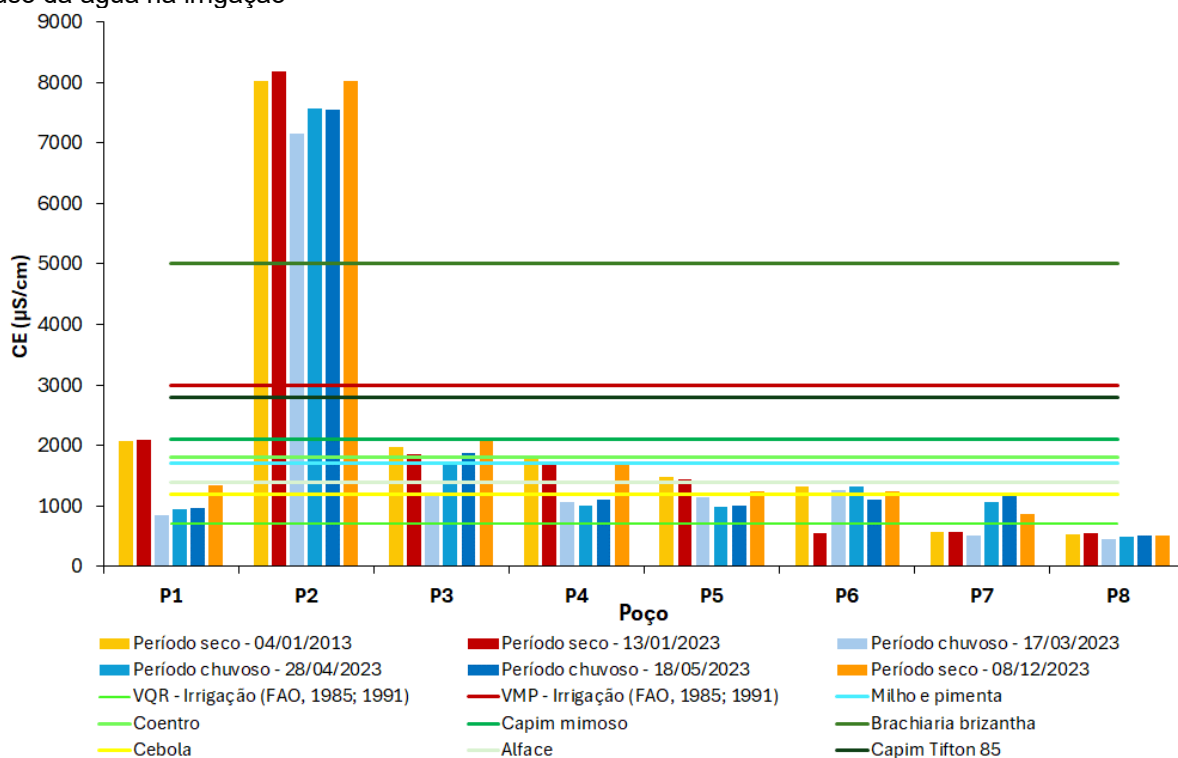
Foi possível identificar que 12,5% das amostras possuem risco extremamente alto de salinização e médio risco de adsorção de sódio (C5 - S2), 75,0% possuem alto risco de salinização e baixo risco de sodificação (C3 - S1) e 12,5% com risco médio de salinização e baixo risco de adsorção de sódio (C2 - S1).

Nos períodos seco e chuvoso, os valores de pH estão compreendidos dentro da faixa de 6,0 a 8,25, ou seja, sem restrição de uso para irrigação na maioria dos poços, excetuando o poço 7, no dia 08/12/2023, que apresentou valor de pH igual a 6. No período de 01 de janeiro a 24 de fevereiro de 2023, não houve precipitação com consequente escoamento, não havendo recarga do aquífero aluvial do rio Sucurú,

perímetro irrigado de Sumé, PB. De acordo com os VMPs de CE e STD, após análise das amostras de água dos poços, coletadas no dia 13 de janeiro de 2023, foi possível identificar que não há restrição de uso da água para irrigação contida nos poços 6, 7 e 8, mas com restrição moderada uso da água dos poços P1, P3, P4 e P5.

Na Figura 17 pode-se observar as faixas dos valores da CE usados para classificação de uso da água na irrigação, no ano de 2023, quanto aos riscos de salinidade, recomendados por Ayers & Westcot (1991). Algumas culturas como s capins mimoso (*Eragrostis pilosa*), Tifton 85 (*Cynodon dactylon cv*) e o braquiarião (*Brachiaria brizantha marandu*) podem ser irrigados nos períodos seco e chuvoso com as águas do aluvião excetuando o P2, que possui valores de CE superiores aos limites de tolerância destas espécies, mas o capim braquiarião supera o VMP recomendado pela FAO (Ayers & Westcot, 1991).

Figura 17 – Valores médios da CE, das águas de 8 poços localizados no aquífero do rio Sucurú, para uso da água na irrigação



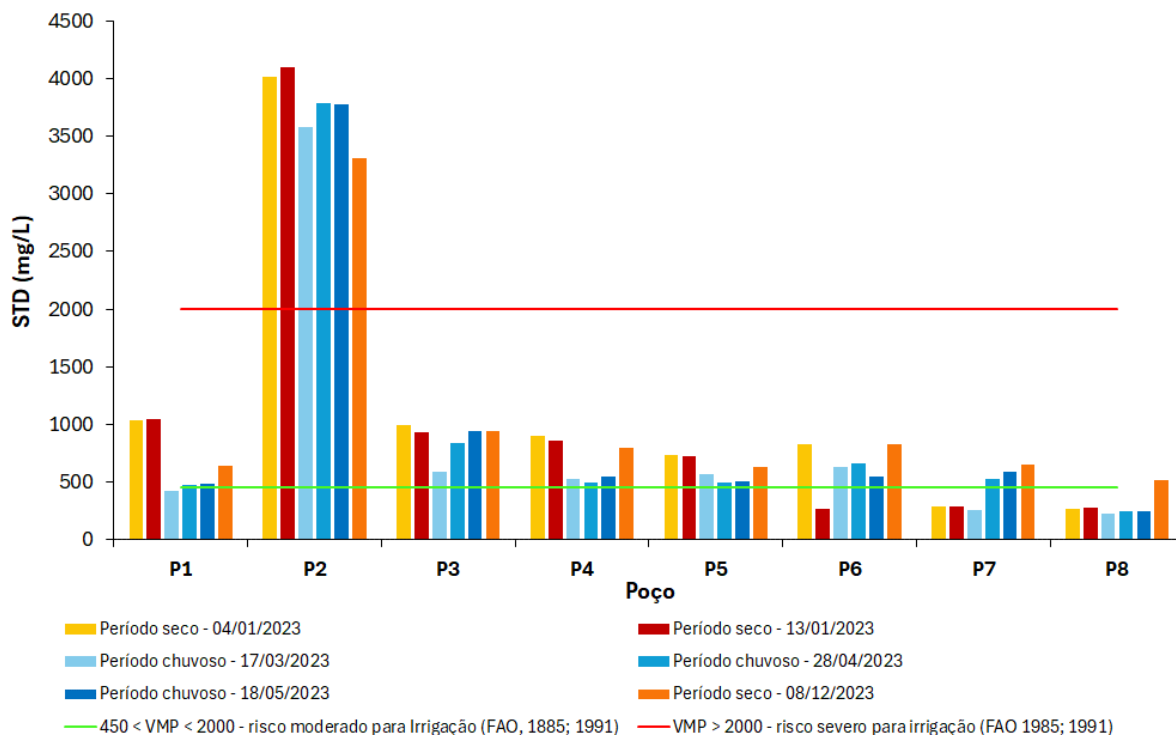
Fonte: autoria própria (2024).

Com base nos resultados da CE não é recomendado o uso da água dos poços P1, P2, P3, P4, P5 e P6 para irrigação de alface (*Lactuca sativa L.*), cebola (*Allium cepa*), coentro (*Coriandrum sativum*), milho (*Zea mays*) e pimenta (*Capsicum baccatum*), no período seco, podendo ser usado água dos poços 7 e 8 para irrigar essas culturas. A água disponível nos poços P1, P4, P5, P7 e P8 pode ser usada para

a irrigação de alface (*Lactuca sativa* L.), cebola (*Allium cepa*), coentro (*Coriandrum sativum*), milho (*Zea mays*), pimenta (*Capsicum baccatum*) e tomate (*Solanum lycopersicum* L.), no período chuvoso, não sendo recomendada a irrigação destas culturas com água disponível nos poços P2, P3 e P6, neste período.

Na Figura 18 pode-se observar os valores da variável STD, obtidos nos oito poços utilizando a sonda de qualidade de água HI 9829, no ano de 2023. Os limites quanto a restrição de uso da água para irrigação, recomendados por Ayers & Westcot (1991), estão representados pelas linhas verde e vermelha, sendo nenhum risco, risco moderado e risco elevado, com valores de STD abaixo da linha verde, entre a linha verde e a vermelha e acima da linha vermelha, respectivamente.

Figura 18 – Valores obtidos de Sólidos Totais Dissolvidos (STD), das águas de 8 poços localizados no aquífero do rio Sucurú, para uso da água na irrigação



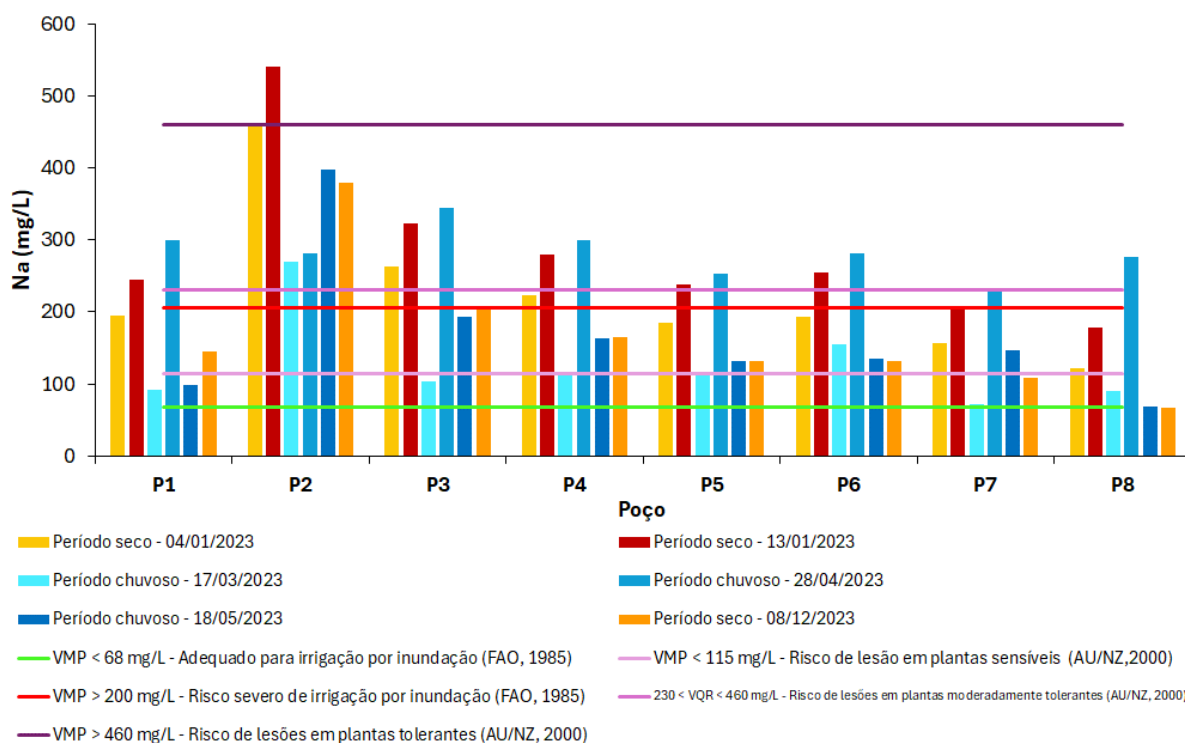
Fonte: autoria própria (2024).

Após a recarga do aquífero aluvial do rio Sucurú, em decorrência de precipitação de 231,0 mm, no dia 25 de fevereiro de 2023, registrada no posto pluviométrico da secretaria de agricultura do município de Sumé e de 194,5 mm, em pluviômetro automático (TE-525mm), instalado no campus de Sumé da UFCG, foi possível identificar que a qualidade da água dos poços monitorados atendiam aos valores máximos permitidos (VMP) ou Valor de Referência de Qualidade (VRQ) de CE (700 – 3000 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) e de STD (450 - 2000 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$), apresentando risco moderado

para uso da água analisada para irrigação, excetuando o poço 2. O poço 8 não apresentou restrição de uso da água para irrigação em relação aos parâmetros CE ($VMP < 700 \mu S.cm^{-1}$), mas para o parâmetro STD, que possui $VMP < 450 mg.L^{-1}$, foi superado no dia 08 de dezembro de 2024, considerado como período seco.

Na Figura 19 pode-se observar os valores médios do indicador de Na^+ na água dos poços monitorados no aquífero aluvial do rio Sucurú, no ano de 2023. A recomendação dos limites de riscos de toxicidade desse elemento na água de irrigação recomendados por (Ayers & Westcot, 1985), representadas por linhas horizontais de cores verde ($VMP < 68 mg/L$) e vermelha ($VMP > 200 mg/L$) e da legislação da Austrália e Nova Zelândia (AU/NZ, 2000), são representados pelas retas nos tons de cor lilás, com $VMP < 115 mg/L$ para o risco de lesão em plantas sensíveis, com $230 mg/L < VRQ < 480 mg/L$ para o risco de lesão em plantas moderadamente tolerantes e $VMP > 480 mg/L$ com risco de lesão em plantas tolerantes.

Figura 19 - Valores médios de Na^+ das águas de 8 poços localizados no aquífero do rio Sucurú, para uso na irrigação



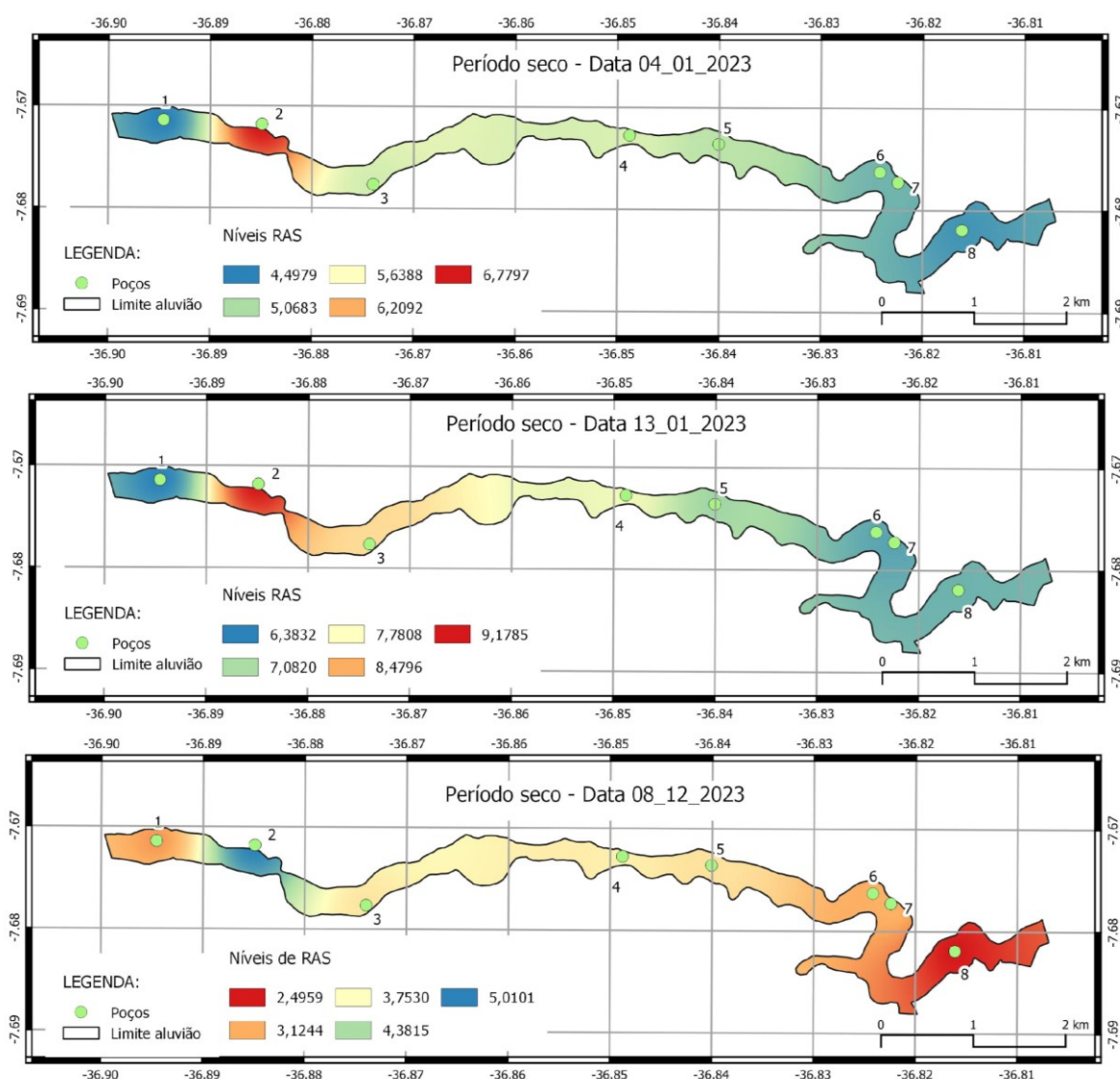
Fonte: autoria própria (2024).

De acordo com os resultados obtidos para os teores de Na^+ não é possível realizar irrigação por inundação ou de superfície em todos os poços do aluvião do rio Sucurú analisados, nos períodos seco e chuvoso, conforme os valores máximos permitidos por meio da FAO (Ayers & Westcot, 1985) e da legislação da Austrália e

Nova Zelândia (ANZECC, 2000), mas é possível realizar irrigação por aspersão com água contida na maioria dos poços, exceto o poço 2, que ultrapassa o limite máximo permitido recomendado por meio da FAO (Ayers & Westcot, 1985) no período seco do ano de 2023, antes da ocorrência da recarga superficial no aluvião.

Na Figura 20 pode-se observar os mapas georreferenciados com valores da RAS obtidas por meio das análises das águas dos poços P1 a P8, de janeiro e dezembro de 2023 e na Figura 21, para os meses de março a maio de 2023.

Figura 20 - Distribuição da RAS das águas do aluvião do rio Sucurú, analisadas nos meses de janeiro e dezembro de 2023 (período seco)



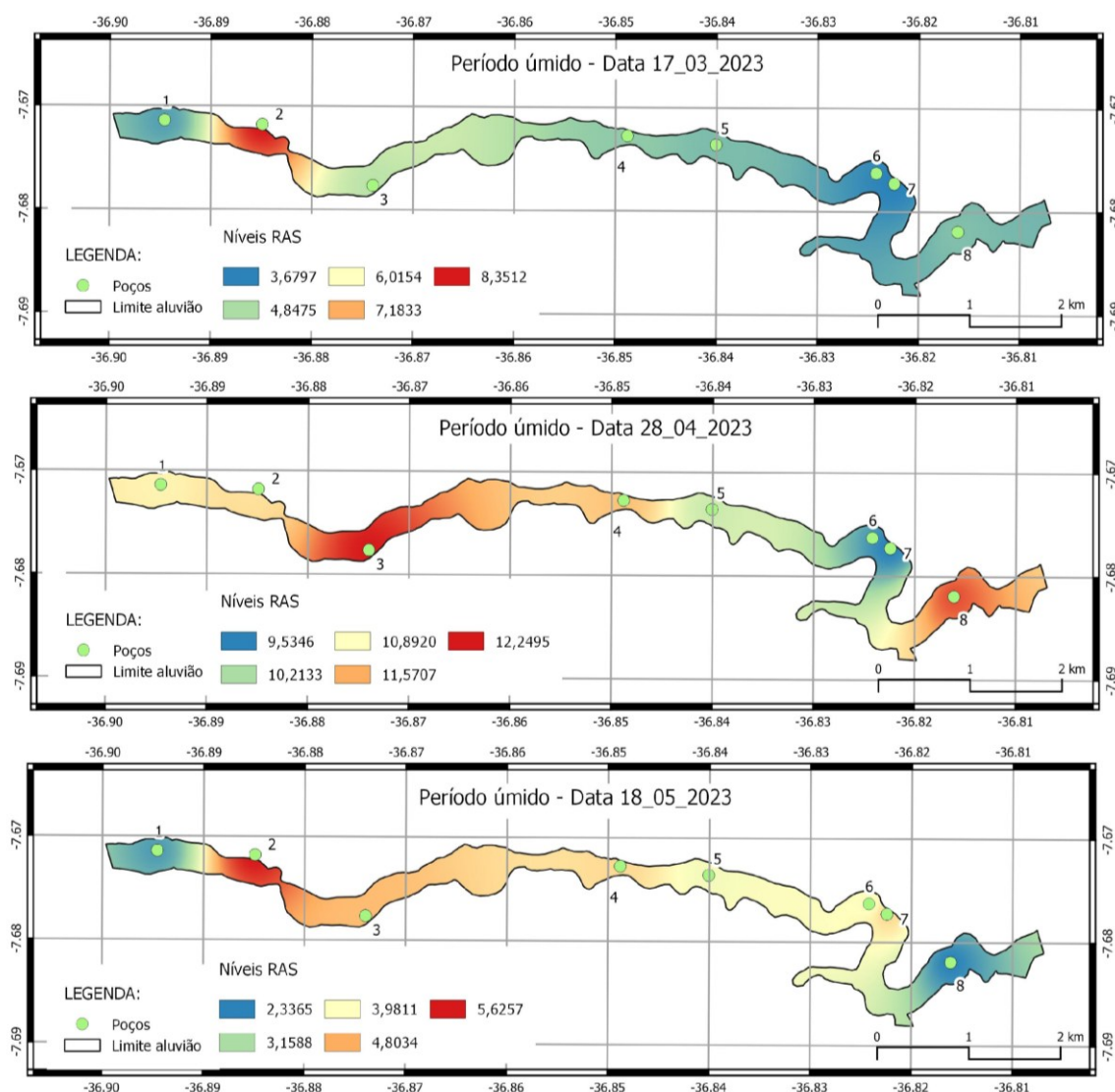
Fonte: autoria própria (2024).

No período seco pôde-se observar a influência do lançamento de esgoto sem tratamento na zona urbana, próximo ao poço 2, e a sua atenuação após infiltração na região do aquífero aluvionar, onde há infiltração e mistura com o esgoto tratado pela

ETE, lançado entre os poços 3 e 4, no leito do rio Sucurú, cuja classificação da RAS variou de $C_5 - S_4$ a $C_5 - S_2$ (P2) e de $C_3 - S_2$ (P1, P3, P4, P5) a $C_2 - S_1$ (P7 e P8).

O efeito da mistura e dissipação dos sais pode ser observado por meio da RAS no período úmido, do ano de 2023, onde foi possível verificar a atenuação dos valores próximos ao poço 2 (P2), transferência dos maiores valores para o poço 3, como um pulso de onda da cheia do escoamento superficial ao longo do aluvião. Na zona mais sinuosa do aluvião há riacho que favorece o aporte de poluição difusa devido ao uso de agrotóxico no período chuvoso, com aumento da área de plantio de verduras e hortaliças, o que alterou significativamente o valor da RAS no poço 8, no dia 28 de abril de 2023 (Figura 21).

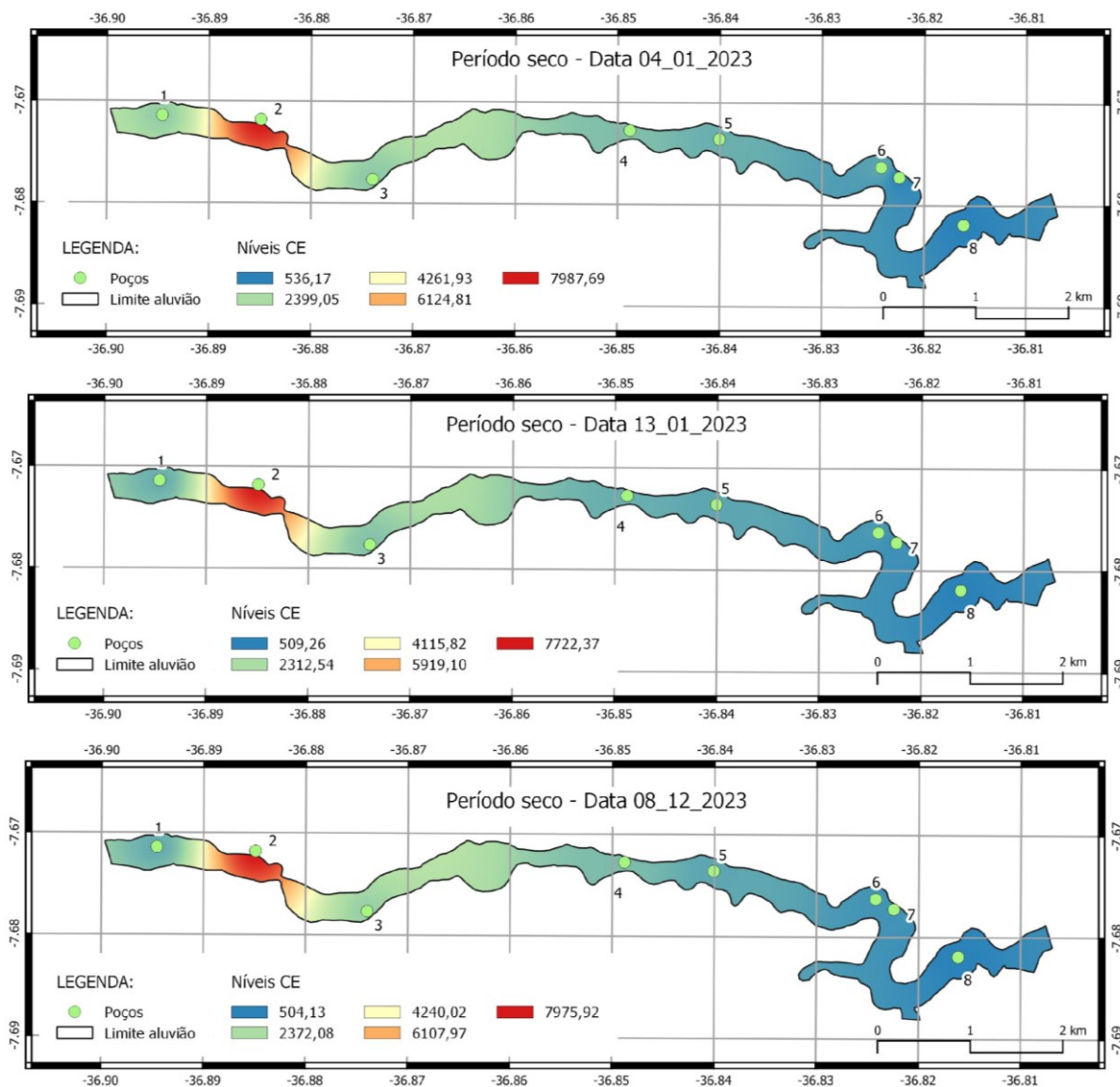
Figura 21 - Distribuição da RAS das águas do aluvião do rio Sucurú, analisadas nos meses de março, abril e maio de 2023 (período úmido)



Fonte: autoria própria (2024).

Na Figura 22 pode-se observar o conjunto de mapas temáticos georreferenciados obtidos para os valores de condutividade elétrica no período seco, de 2023, obtidos por meio da sonda de qualidade de água HI 9829, nos meses de janeiro e dezembro de 2023 (período seco).

Figura 22 - Distribuição da CE das águas do aluvião do rio Sucurú, analisadas nos meses de janeiro e dezembro de 2023 (período seco)

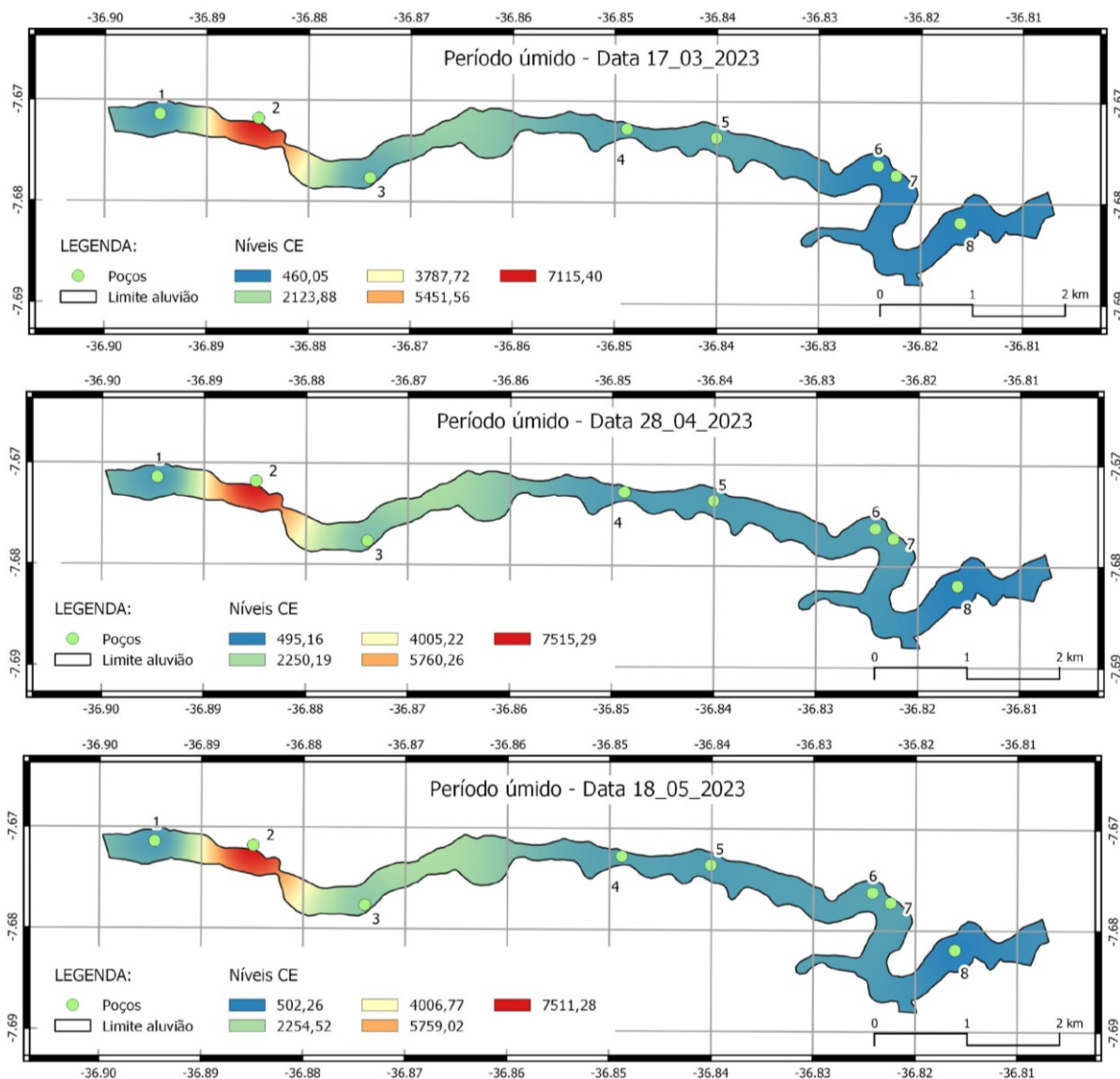


Fonte: autoria própria (2024).

Os menores valores obtidos da condutividade elétrica, próximo ao poço 2, confirmam a influência da poluição difusa e do lançamento de esgoto sem tratamento, apesar de possuir sistema de coleta em 2/3 da área do município de Sumé, PB, mas que ainda não está vinculado a Estação de Tratamento de Esgoto - ETE, que lança apenas 1/3 do esgoto tratado entre os poços 3 e 4, localizados no aluvião do rio Sucurú, perímetro irrigado do município de Sumé, PB.

Na Figura 23 pode-se observar o conjunto de mapas temáticos georreferenciados obtidos para os valores de condutividade elétrica no período úmido, do ano de 2023, obtidos por meio da sonda de qualidade de água HI 9829, das águas dos poços localizados no aluvião do rio Sucurú, nos meses de março a maio de 2023 (período úmido), após a recarga do aquífero aluvial do rio Sucurú.

Figura 23 - Distribuição da CE das águas do aluvião do rio Sucurú, analisadas nos meses de março, abril e maio de 2023 (período úmido)



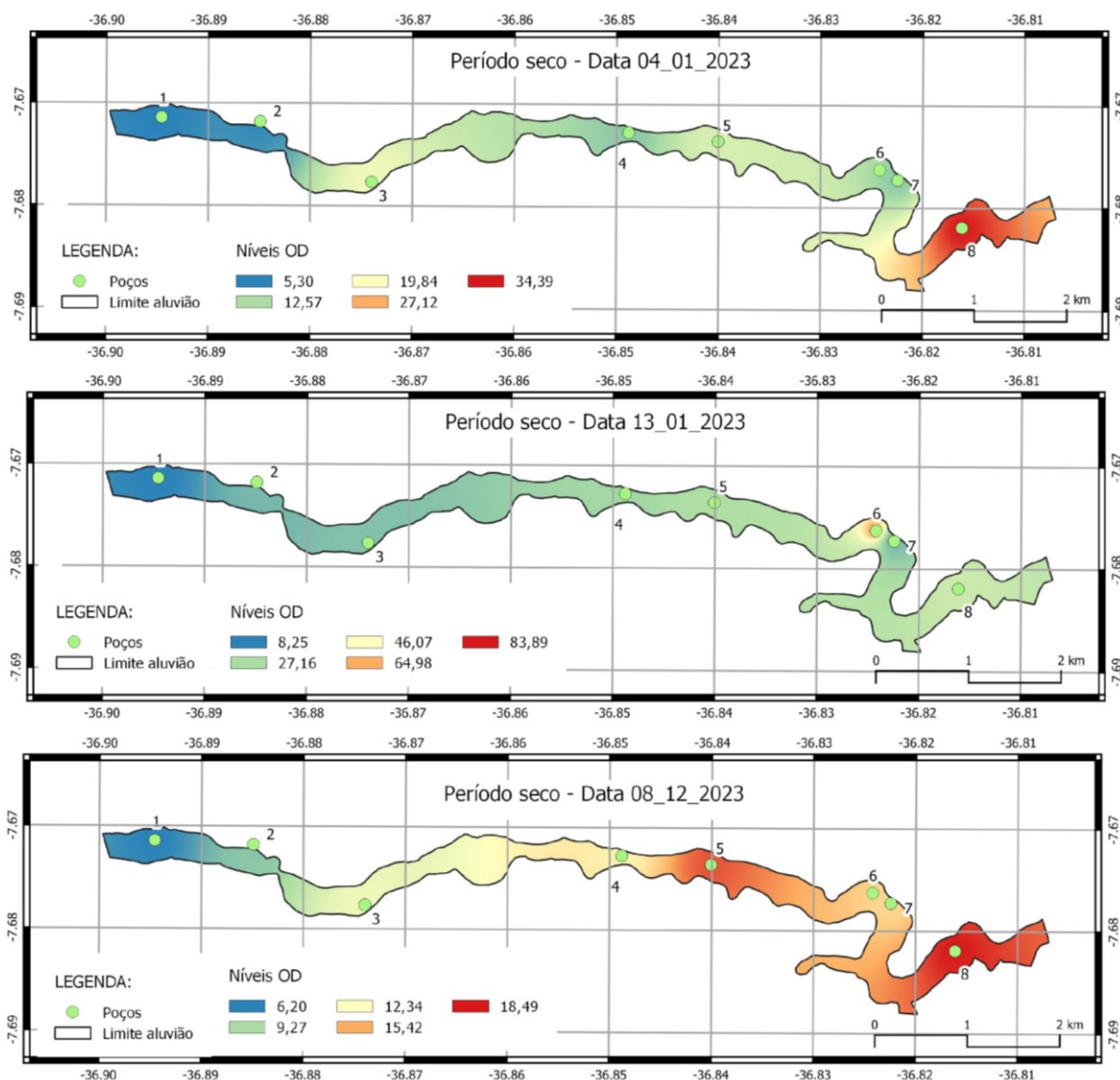
Fonte: autoria própria (2024).

Houve uma atenuação dos valores da condutividade elétrica no período úmido do ano de 2023, em decorrência da recarga proveniente do escoamento superficial no leito do rio Sucurú, a partir do dia 25 de fevereiro de 2023, mas foi mantido o padrão da condutividade elétrica do período seco, com os maiores valores próximos a zona urbana do município de Sumé, PB, onde ocorre o lançamento de esgoto sem

tratamento, com redução de $872 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ no valor da CE no poço 2, no período úmido em relação ao período seco, como pode-se observar nas Figuras 22 e 23 e, em menor proporção, quando se comparam os valores de CE nos poços 1, 4, 5, 6, 7 e 8, nos períodos avaliados, seco e chuvoso, do ano de 2023.

Na Figura 24 pode-se observar o conjunto de mapas georreferenciados temáticos com valores de OD, das águas dos poços localizados no aluvião do rio Sucurú, nos meses de janeiro e dezembro, período seco de 2023.

Figura 24 - Distribuição do OD das águas do aluvião do rio Sucurú, analisadas nos meses de janeiro e dezembro de 2023 (período seco)



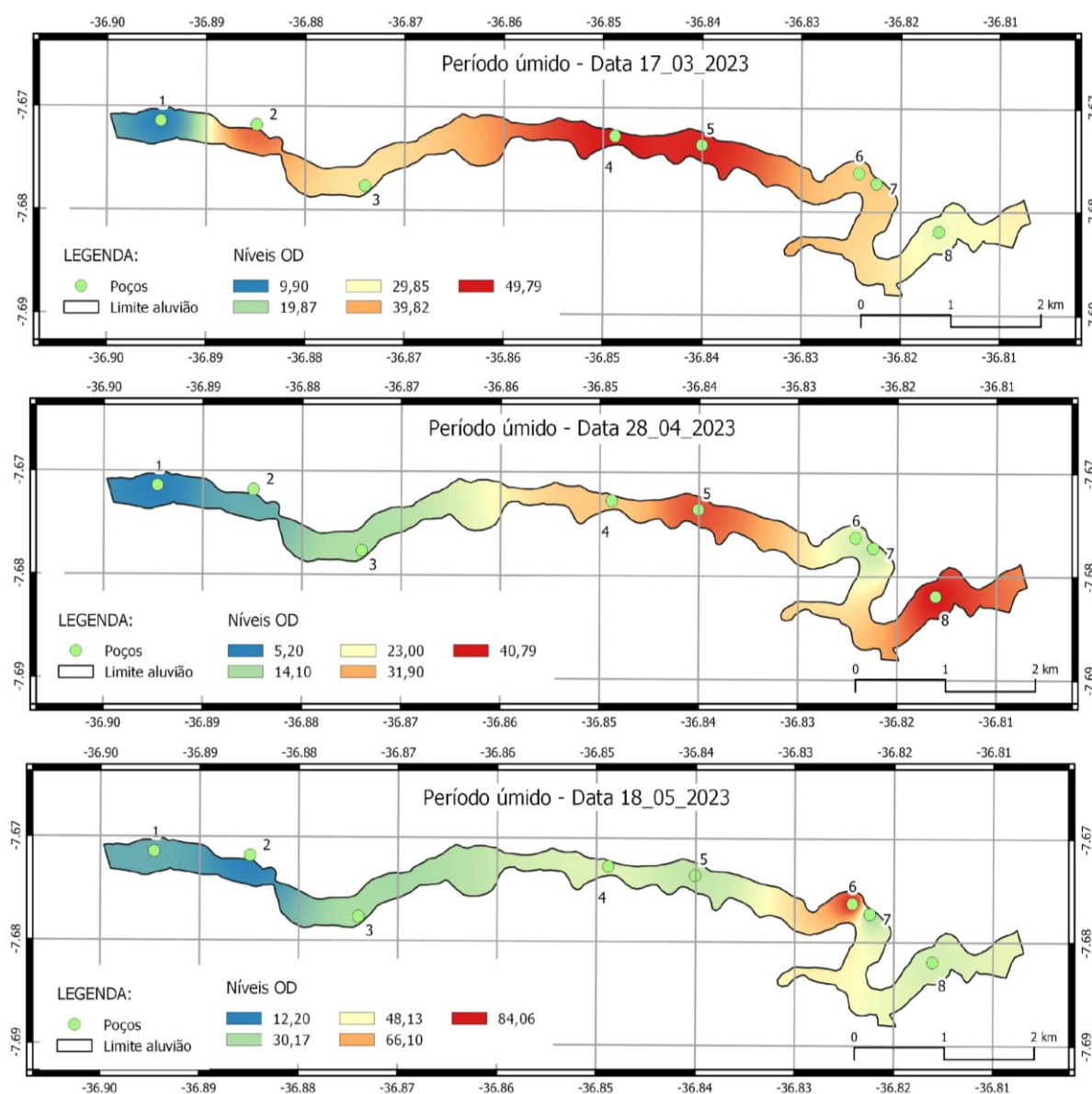
Fonte: autoria própria (2024).

Os menores valores obtidos de oxigênio dissolvido, próximo ao poço 2, confirmam a influência da poluição difusa e do lançamento de esgoto sem tratamento, apesar de possuir sistema de coleta em 2/3 da área do município de Sumé, PB, mas

que ainda não está vinculado a ETE, que lança apenas 1/3 do esgoto tratado entre os poços 3 e 4, localizados no aluvião do rio Sucurú, perímetro irrigado do município de Sumé, PB.

Na Figura 25 pode-se observar o conjunto de mapas temáticos georreferenciados obtidos para os valores de oxigênio dissolvido (OD) no período úmido, obtidos por meio da sonda de qualidade de água HI 9829, das águas dos poços localizados no aluvião do rio Sucurú, nos meses de março a maio de 2023.

Figura 25 - Distribuição do OD das águas do aluvião do rio Sucurú, analisadas nos meses de março, abril e maio de 2023 (período úmido)



Fonte: autoria própria (2024).

O açude público de Sumé possuía volume de 3,16 hm³ em maio de 2023, o que representa 7,02% de seu volume total, conforme consta no boletim do comitê de

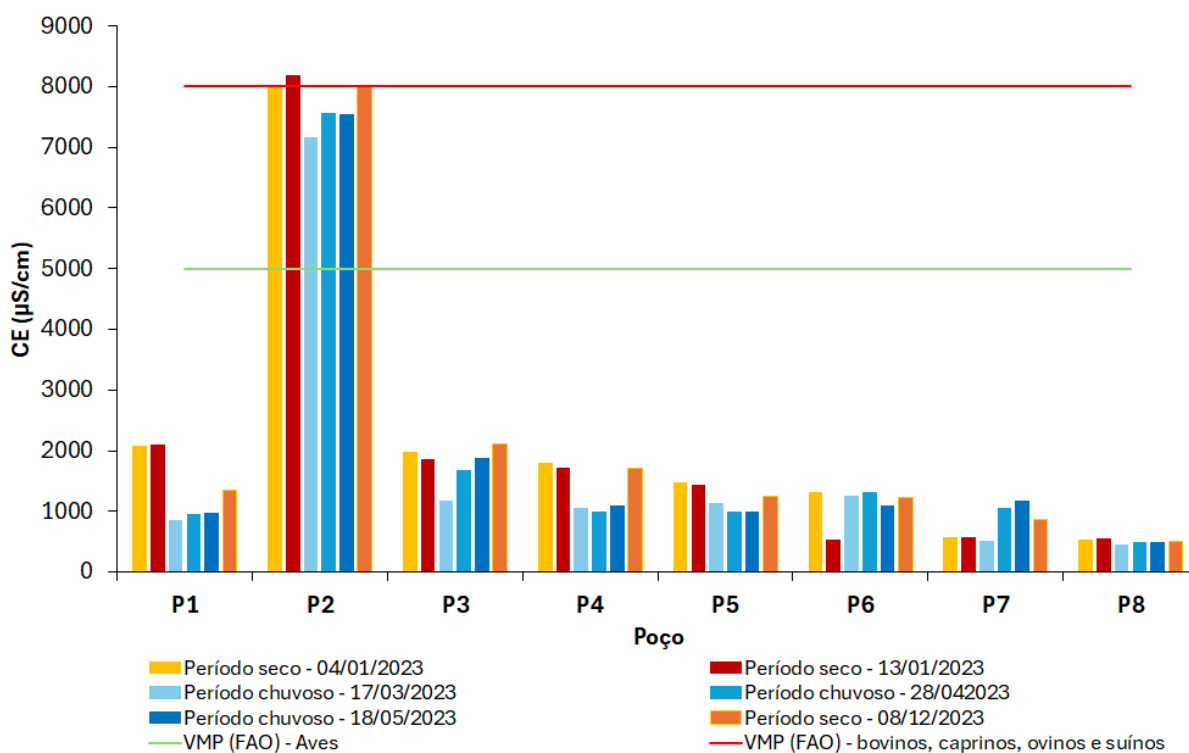
alocação de água do açude público de Sumé, PB, tendo como consequência a não abertura das comportas deste reservatório neste ano (ANA, 2023).

A influência da recarga do aquífero aluvial do rio Sucurú, ocorrida após precipitação pluviométrica diária de 231,0 mm, pôde ser observada por meio da alteração dos valores de OD em toda área do aquífero. Ressalta-se que os poços 1, 5 e 7 são sujeitos a inundação, sendo esse um dos motivos por não terem sido obtidos dados e realização de coletas de amostras de água no mês de fevereiro de 2023, sendo possível apenas a realização de coleta em 17/03/2023.

No apêndice I pode-se observar a representação dos demais indicadores de qualidade de água obtidos para obtenção da RAS e classificação de uso da água para irrigação e dessedentação animal (Figuras 28 a 37).

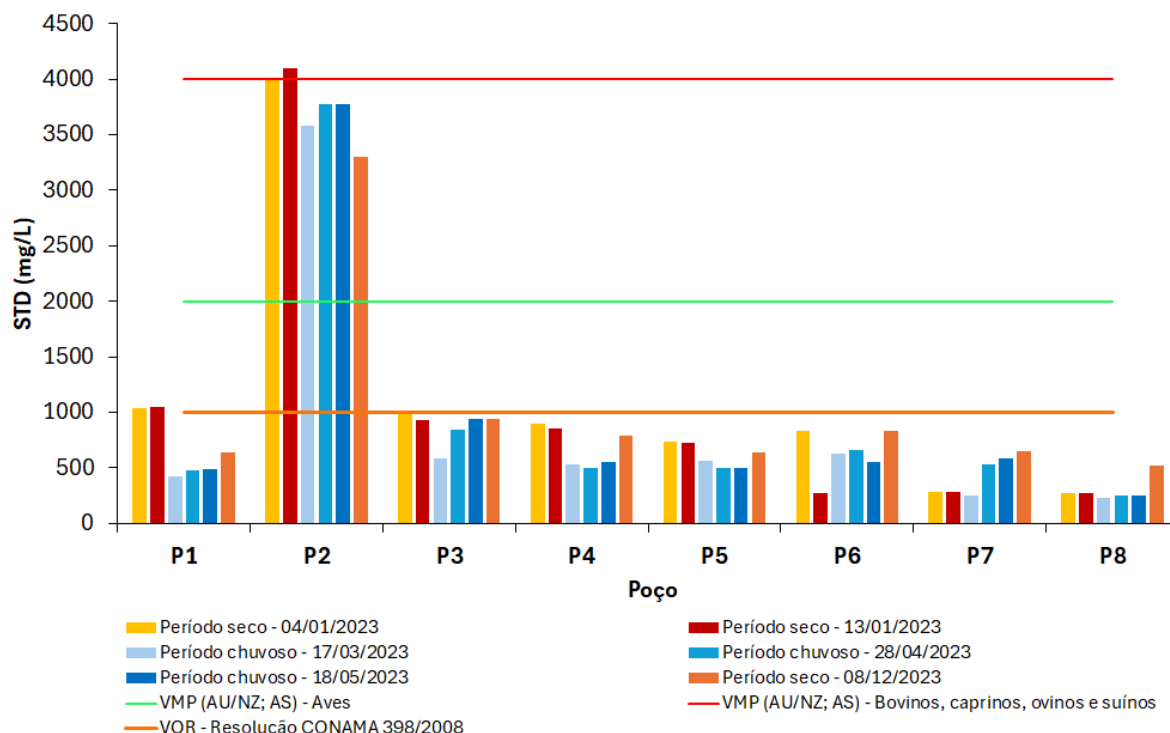
Nas Figuras 26 e 27 pode-se observar a variação da CE e dos STD, nos períodos seco e chuvoso de 2023, com limites de tolerância de uso da água para a dessedentação animal, de acordo com as recomendações de Ayers & Westcot (1985) e da legislação dos países Austrália, Nova Zelândia e África do Sul (ANZECC, 2000; DWAF, 1996).

Figura 26 – Limites de tolerância da CE para uso da água na dessedentação animal



Fonte: autoria própria (2024).

Figura 27 - Limites de tolerância de STD para uso da água na dessedentação animal



Fonte: autoria própria (2024).

De acordo com a Resolução CONAMA nº 396/2008, em função dos parâmetros analisados neste trabalho, à água disponível nos poços analisados tem classe 2, mas nem todos os parâmetros previstos nesta resolução foram analisados, podendo essa classe ser mais restritiva.

Os resultados obtidos para a condutividade elétrica restringem o uso da água do poço 2 para a dessedentação animal de bovinos, caprinos e suínos no período seco e para aves nos períodos chuvoso e seco. Não há restrição de uso da água nos demais poços em relação a condutividade elétrica.

Há restrição de uso da água contida no poço 2, nos períodos seco e chuvoso, bem como em período seco no poço 1, para a dessedentação animal, considerando o valor de referência de qualidade (VRQ), da resolução CONAMA nº 396/2008. O que coincide com a restrição de uso da água contida no poço 2, levando em consideração as recomendações dos valores máximos permitidos (VMP), para a dessedentação animal de aves, bovinos, caprinos, ovinos e suínos, contidas nas legislações da África do Sul - AS (DWAf, 1996), Canadá - CA (CCME, 1993), Austrália e Nova Zelândia - NZ (ANZECC, 2000).

Considerando as restrições de uso da água para a dessedentação animal (Tabela 6), a água do poço 2, atendeu as concentrações limites para a CE (8000

$\mu\text{S.cm}^{-1}$) e STD (4000 mg.L^{-1}), nos dias 17 de março e 18 de maio de 2023, para bovinos, caprinos, equinos e suínos, não sendo recomendada a oferta para aves, no período chuvoso. No período seco, não se recomenda a oferta de água desse poço, haja vista que os valores de CE ($8187 \mu\text{S.cm}^{-1}$) e STD (4094 mg.L^{-1}) ultrapassaram os valores máximos permitidos (VMP) conforme recomendações contidas nas normas existentes na Austrália/Nova Zelândia e África do Sul, incluindo a dessedentação de organismos mais tolerantes a sais, como bovinos, caprinos, equinos e suínos

Não há limites de tolerância dos parâmetros de Ca^{+2} , Na^{+} e Mg^{+2} estabelecidos por meio da Resolução CONAMA nº 396/2008, bem como em relação as recomendações contidas nas legislações da África do Sul - AS, Canadá - CA e FAO (Ayers & Westcot, 1985), para a dessedentação animal.

Os poços 1, 6 e 7, devido a sua localização no talvegue do rio Sucurú, possuem risco de inundação por meio do escoamento superficial, o que pode alterar as características dos parâmetros físico-químicos no período chuvoso.

No apêndice II pode-se observar a representação dos boletins de orientação ambiental para auxílio aos produtores rurais tomarem a decisão de usar ou não a água para irrigação e/ou dessedentação animal, de acordo com os valores da condutividade elétrica - CE e dos sólidos totais dissolvidos - STD (Figuras 38 a 43).

No período seco, a água contida na maioria dos poços foi classificada por meio da RAS, como sendo de alto risco de salinização e médio risco de adsorção de sódio no solo ($\text{C}_3 - \text{S}_2$), e de alto risco de salinidade e baixo risco de sodificação ($\text{C}_3 - \text{S}_1$), sendo recomendado o seu uso para irrigação com manejo e drenagem adequados, além do uso em culturas tolerantes ou altamente tolerantes aos sais, pois há risco de salinização dos solos e toxicidade das culturas.

Nas coletas realizadas em janeiro de 2023, período seco, a classificação da água contida no poço 2 variou de $\text{C}_5 - \text{S}_3$ para $\text{C}_5 - \text{S}_4$, com severas restrições de uso para a irrigação e dessedentação animal. Mesmo com a recarga do aquífero aluvial após a ocorrência de chuva de 231,0 mm, a classificação por meio da RAS, permaneceu variando entre $\text{C}_5 - \text{S}_4$ e $\text{C}_5 - \text{S}_3$, até a o dia 18 de maio de 2023. No dia 08 de dezembro de 2023, período considerado como seco, por ausência de precipitação e escoamento, a classificação obtida por meio da RAS passou de $\text{C}_5 - \text{S}_3$ para $\text{C}_5 - \text{S}_2$. Não sendo recomendada a irrigação com água disponível no poço 2.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na região em que os poços amazonas estão situados, após as restrições estabelecidas pelo comitê de alocação de água do açude público de Sumé, em função de longos períodos de estiagem e do nível crítico deste manancial, não há alternativa de uso da água para irrigação e dessedentação animal, a não ser os poços escavados no aquífero aluvionar do rio Sucurú ou os perfurados em rocha.

De acordo com os resultados obtidos, após obtenção da relação de adsorção de sódio, dos valores de condutividade elétrica, dos sólidos totais dissolvidos e de oxigênio dissolvido, foi possível identificar a influência da poluição difusa na zona urbana do município de Sumé, haja vista a identificação da piora da qualidade da água na região de localização dos poços 2 e 3, que possuem restrições do uso da água, inclusive no período úmido, quando houve a recarga do aquífero aluvionar.

Há possibilidade de uso da água para fins de irrigação e dessedentação animal, nos períodos seco e chuvoso, com restrições de uso de acordo com a recarga do aquífero aluvial e manutenção do escoamento superficial do rio Sucurú, quando houve atenuação dos valores dos parâmetros analisados para a maioria dos poços, sendo recomendado o seu uso para irrigação com manejo e drenagem adequados, além do uso em culturas tolerantes ou altamente tolerantes aos sais, pois há risco de salinização dos solos e toxicidade das culturas.

De acordo com os valores máximos permitidos da condutividade elétrica - CE e dos sólidos totais dissolvidos - STD, após análise das amostras de água dos poços, coletadas no dia 13 de janeiro de 2023, data da pior situação observada durante o período monitorado, foi possível identificar que não há restrição de uso da água para irrigação contida nos poços 6, 7 e 8, distantes da zona urbana do município de Sumé, PB, mas com restrição moderada uso da água dos poços P1, P3, P4 e P5.

Boletins de orientação ambiental com recomendações de uso da água foram produzidos para auxiliar o uso da água disponível nos 8 poços escolhidos para irrigação e/ou dessedentação animal, com segurança, pelos produtores rurais residentes na área do perímetro irrigado do município de Sumé, PB.

REFERÊNCIAS

- ABELS, A.; ATHAYDE JR., G. B.; BATISTA, R. O.; BISCHOF, F.; BOHNER, C.; COURA, M. A.; VAN HAANDEL, A. C.; HOYER, M.; ITABORAHY, C. R.; KOHLGRÜBER; CALATAYUD, M. C. M.; MEDEIROS, S. S.; PINNEKAMP, J.; DOS REIS, C.; SALGADO, J. P.; DOS SANTOS, S. L.; DE SENNA, R. F.; SILVEIRA, P. B. M.; SOARES, L. V.; YÜCE, S. Wastewater treatment and reuse (Results from WP4, 5 & 6). In: ABELS, A.; FREITAS, M.; PINNEKAMP, J.; RUSTEBERG, B. (Orgs.). **BRAMAR Project – Water Scarcity Mitigation in North-Esat Brazil**. Aachen: Bramar, v. 1, p. 78-103, 2018.
- AESA – AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA. **Enquadramento dos corpos hídricos da Paraíba /** Governo do Estado da Paraíba; Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos, do meio Ambiente e da Ciência e Tecnologia, SERHMACT; Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba, AESA. – João Pessoa, PB, 2013. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/wp-content/uploads/2016/11/CORPOS_HIDRICOS_PB.pdf> Acesso em 06 de fevereiro de 2021.
- ALCÂNTARA, F. T. A.; SOUZA, D. G. L. O.; RODRIGUES, L. M. S.; LINS, R. F. L.; SILVA, M. C.; RODRIGUES, R. M.; LIMA, V. L. A.; ALCÂNTARA, H. M. Avaliação da qualidade da água subterrânea e dos impactos gerados sobre atividades agropecuárias no perímetro irrigado de Sumé - PB. In: POLETO, C.; GONÇALVES, J. C. S. I.; OKAWA, C. M. P. (Orgs.). Anais do 7º Simpósio sobre Sistemas Sustentáveis. Volume 03. Madri, Espanha: IARH Publishing, 2023.
- ALVES, E. J. C. **Potencialidade e manejo dos recursos hídricos do Aquífero Aluvial em Sumé – PB**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande - PB, 2016.
- AMARAL, K; FERREIRA, D. M.; NAVONI, J. A. Avaliação das águas subterrâneas salobras do semiárido do Rio Grande do Norte: qualidade e impactos sob atividades agropecuárias de subsistência. **Águas Subterrâneas**, v. 35, n. 3, e-30077, p. 1-15, 2021.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. Boletim de acompanhamento de alocação de água. Coordenação de Marcos Regulatórios e Alocação de Água. Disponível em: https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/regulacao-e-fiscalizacao/allocacao-de-agua-e-marcos-regulatorios/allocacao-de-agua/sume_05-2023.pdf. Acesso em 28 de março de 2024.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - Ministério do Desenvolvimento Regional. **Governança das águas subterrâneas: desafios e caminhos**. Brasília: ANA, 2022a, 202p.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - Ministério do Desenvolvimento Regional. **As águas subterrâneas na política nacional de recursos hídricos**. Brasília: ANA, 2022b, 220p.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - Ministério do Desenvolvimento Regional. **Panorama da Qualidade das Águas Superficiais do BRASIL**. Brasília: ANA, 2020. Disponível em:

<http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/cns/2013/res0466_12_12_2012.html>
Acesso em 22 de julho de 2020.

ANDRADE, L. R. S.; DE ARAÚJO, S. M.; DE ARAÚJO, D. M.; DE SOUSA, L. A. Remoção de matéria orgânica e *Escherichia coli* por meio de tratamento anaeróbio utilizando fossa biodigestor. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 16, e291111638380, 2022.

ANZECC, A - AUSTRALIAN AND NEW ZEALAND ENVIRONMENT AND CONSERVATION COUNCIL AND AGRICULTURE AND RESOURCE MANAGEMENT COUNCIL OF AUSTRALIA AND NEW ZEALAND. **Australian and New Zealand guidelines for fresh and marine water quality**. Canberra, p. 1-103, 2000.

APHA, AWWA, WEF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22th ed. Washington, D.C: APHA, 2012.

ASEVEDO, K. C. S.; JERÔNIMO, C. E. M. Diagnóstico ambiental de postos de lavagem de veículos (lava-jatos) em Natal – RN. **Revista Scientia Plena**, v. 8, n. 11, 2012.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29, revisado 1. Campina Grande: UFPB, 1991. 218p.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. Water quality for agriculture. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), v. 29, 1985.

BARRETO, J. B.; FEITOSA, P. H. C.; DOS ANJOS, K. L.; VELEZ, W. M. Análise da regionalização do saneamento: cenários hídricos e (in)sustentabilidade econômico-financeira das microrregiões de água e esgoto da Paraíba. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 10, e117101018513, 2021.

BEZERRA, E. B. N.; SILVA, C. I. da; MEIRA, C. M. B. S.; RÊGO, R. L. C. M.; OLIVEIRA, R. de; NASCIMENTO, R. S. do. Qualidade da água subterrânea para consumo humano e sua correlação com fontes poluidoras na sub-bacia do rio Taperoá – PB. **Revista DAE**, São Paulo, v. 68, n. 223, p. 01-20, abr-jun., 2020.

BOZELLI, R. L.; FARIAS, D. S.; LIMA, S. K. F.; LIRA, R. T. S.; NOVA, C. C.; SETUBAL, R. B.; SODRÉ, E. O. Pequenas áreas úmidas: importância para conservação e gestão da biodiversidade brasileira. **Diversidade e Gestão**, v. 2, n. 2, p. 122-138, 2018.

BRAGA, E. A. S.; DE AQUINO, M. D.; ROCHA, C. M. S.; MENDES, L. S. A. S.; SILVA, R. F. S. Classificação da água subterrânea para uso na irrigação. *Águas subterrâneas – Seção Estudos de Caso e Notas Técnicas*, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v34i3.29967>

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto: Visão Geral**. Brasília – DF: FUNAPE/UnB, 2023. 262p. Disponível em: https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/produtos-do-snis/diagnosticos/DIAGNOSTICO_TEMATICO_VISAO_GERAL_AE_SNIS_2023.pdf

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 888, de 4 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo

humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2021. Disponível em:

https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html

BRASIL. Presidência da República. Secretaria Geral. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento, a Lei nº 10.768, de 19 de novembro de 2003, para alterar o nome e as atribuições do cargo de Especialista em Recursos Hídricos, a Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005, para vedar a prestação por contrato de programa dos serviços públicos de que trata o art. 175 da Constituição Federal, a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País, a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, para tratar dos prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, a Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015 (Estatuto da Metrópole), para estender seu âmbito de aplicação às microrregiões, e a Lei nº 13.529, de 4 de dezembro de 2017, para autorizar a União a participar de fundo com a finalidade exclusiva de financiar serviços técnicos especializados. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017. Dispõe sobre a consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2017. Disponível em:

https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prc0005_03_10_2017.html

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria n.º 2.914, 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. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2011. Disponível em:

https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Portal da Legislação, Brasília, jan. 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/l9433.htm>. Acesso em: 21 mai. 2018.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 7 de abril de 2008, Seção 1, pp. 64-68.

BHUMBLA, D. R. Chemical composition of irrigation water and its effect on crop growth and soil properties. In: WORTHINGTON, E. B. (ed.) **Arid land irrigation in developing countries: Environmental problems and effects**. Oxford: Pergamon Press, p. 279-287, 1977.

CABRAL, J. J. S. P. Movimento das águas subterrâneas. In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A. (Orgs.). **Hidrogeologia – conceitos e aplicações**. 3. ed. rev. e ampl. Curitiba: CPRM, 2008.

CASTRO, M. H. F. M. de. **Alocação quali-quantitativa de água em reservatórios de regiões semiáridas**. 2018. 43f.: il. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Pós-Graduação em Engenharia Sanitária, RN, 2018.

CCME - CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT. A proposed protocol for the derivation of water quality guidelines for the protection of agricultural water uses. Unpub doc available from Eco-Health Branch, Environment Canada, Ottawa, Ontario, 1993.

CHRISTOFIDIS, D. Irrigação, a fronteira hídrica na produção de alimentos. *Irrigação e Tecnologia Moderna*, Brasília: ABID, n. 54, p. 46-55, 2002.

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Serviço Geológico do Brasil. **SUMÉ - FOLHA SB.24-Z-D-V**. Brasília - DF: CPRM, 2000.

DWAF - DEPARTMENT OF WATER AFFAIRS AND FOREST. **South African water quality guidelines**. 2nd ed., v. 5: Agricultural use: Livestock watering. CSIR Environmental Services: Pretoria, 1996.

DAMASCENO, M. C. S.; RIBEIRO, H. M. C; TAKIYAMA, L. R.; PAULA, M. T. Avaliação sazonal da qualidade das águas superficiais do rio Amazonas na orla da cidade de Macapá, Amapá, Brasil. *Revista Ambiente & Água*, v. 10, n. 3, p. 598-613. 2015. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1606>.

DASTRANJ, M.; SEPASKHAH, A. R., KAMGAR-HAGHIGHI, A. A. Rainfall and its distribution influences on rain-fed saffron yield and economic analysis. *Theor. Appl. Climatol.*, v. 137, p. 3139-3147, 2019.

DINIZ, J. A.; MONTEIRO, A. B. O.; SILVA, R. C.; FEIJÓ, P. T. L. Mapa hidrogeológico do Brasil ao milionésimo. Instruções Técnicas. Rio de Janeiro: CPRM, 2014. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Estudos-Hidrologicos-e-Hidrogeologicos/Mapa-Hidrogeologico-do-Brasil-ao-Milionesimo-756.html>.

FERNANDES, L. C. S. Panorama do arcabouço legal das águas subterrâneas do Brasil. *Revista de Direito Ambiental*, v. 94, p. 339-378, 2019,

FRANCISCO, P. R. M. *et al.* Classificação climática de Köppen e Thornthwait para o estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 8, n. 4, pp. 1006-1016, 2015.

FRENKEL, H. Reassessment of water quality criteria for irrigation. In: SHAINBERG. I.; SHALHEVET, J. **Soil salinity under irrigation**. Berlin: Springer-Verlag, p.143-172, 1984.

FUNCEME - Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Qualigraf – Classificação das águas para fins de irrigação (SAR/USSL). Software, versão 1.17 - 2014. Disponível em < <http://www5.funceme.br/qualigraf/mi/midia/show/3> > Acesso em 08/03/2023.

GUPPY, L. UYTENDAELE, P; VILLHOLTH, K. G.; SMAKHTIN, V. **Groundwater and sustainable development goals: analysis of interlinkages**. United Nations University Institute for Water, Environment and Health. Hamilton, Canada, UNU-INWEH Report Series, Issue 04, 2018.

HAWKEN, P.; LOVINS, A.; LOVINS, L. H. **Natural capitalism: creating the next industrial Revolution**. Snowmass: Little Brow and Company, 1999. 396p.

HIRATA, R.; SUHOGUSOFF, A. V.; MARCELLINI, S. S.; VILLAR, P. C.; MARCELINNI, L. **As águas subterrâneas e sua importância ambiental e socioeconômica para o Brasil**. São Paulo: Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 2019.

HOLANDA, J. S.; AMORIM, J. R. A.; FERREIRA NETO, M.; HOLANDA, A. C.; SÁ, F. V. S. Qualidade da água para irrigação. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. (Org.). **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. 2. ed. Fortaleza: INCTSal, p. 43-62, 2016.

VAN HOORN, J. W. Quality of irrigation water, limits of use of long-trmes effects. In: **Irrigation and Drainage Paper 7**, Salinity Seminar, Baghdad. Rome: FAO - UN, p. 117-135, 1971.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo 2022**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/trabalho/22827-censo-demografico-2022.html>>. Acesso em 15 de maio de 2024.

KOVDA, V. A.; YARON, B.; SHALHEVET, Y. Quality of irrigation water. In: KOVDA, V. A.; BERG, C. VAN DEN; HAGAN, R. M. (Eds.) **International source book on irrigation, drainage and salinity**. London: Hutchinson/FAO/UNESCO, Cap.7, p. 177-205, 1973.

LEAL, C. E. S.; MARANGONI, J. C.; COSTA, C. S. B. Crescimento de mudas da árvore pioneira de restingas, *Myrsine parvifolia* A. DC., em diferentes volumes de recipientes e adição de nutrientes. **FEPAM em Revista**, v. 8., p. 24-32, 2014.

LEPRUN, J. C. Primeira avaliação das águas superficiais do Nordeste. In: Relatório de fim de convênio de manejo e conservação do solo no Nordeste brasileiro. Recife: SUDENE, p. 91-142, 1983.

MASS, E. V. Salt tolerance of plants. **Applied Agricultural Research**, v.1, p. 12-26, 1986.

McDERMID, S.; NOCCO, M.; LAWSTON-PARKER, P.; KEUNE, J.; POKHREL, Y., JAIN, M.; JÄGERMEYR, J.; BROCCA, L.; MASSARI, C.; JONES, A. D.; VAHMANI, P.; THIERY, W.; YAO, Y.; BELL, A.; CHEN, L.; DORIGO, W.; HANASAKI, N.; JASECHKO, S.; LO, M. H.; MAHMOOD, R.; MISHRA, V.; MUELLER, N. D.; NIYOGI, D.; RABIN, S. S.; SLOAT, L.; WADA, Y.; ZAPPA, L.; CHEN, F.; COOK, B. I.; KIM, H.; LOMBARDOZZI, D.; POLCHER, J.; RYU, D.; SANTANELLO, J.; SATOH, Y.; SENEVIRATNE, S.; SINGH D.; YOKOHATA, T. Irrigation in the Earth system. **Nature Reviews Earth & Environment**, v. 4, n. 7, p. 435-453, 2023. <https://doi/10.1038/s43017-023-00438-5>.

MEDEIROS, J. F.; GHEYI, H. R. **A qualidade da água de irrigação**. Mossoró, ENA/ESAM: Boletim Técnico científico, 22, 1994. 60p.

MEDEIROS, J. F.; GHEYI, H. R.; NASCIMENTO, I. B. Salinidade de solo e da água e seus efeitos na produção agrícola. In: GHEYI, H. R.; PAZ, V. P. S.; MEDEIROS, S. S.; GALVÃO, C. O. (Org.) **Recursos Hídricos em regiões semiáridas**. Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido, p. 189-222, 2012.

MELO, A. **Análise da aplicação dos instrumentos da política pública de recursos hídricos do estado de São Paulo na escassez de água de 2014**. 2018. 81 f. Dissertação de Mestrado. (Mestrado em Planejamento e Análise de Políticas

Públicas). Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - Faculdade de Ciências Humanas e Sociais, Franca, 2018.

MENEZES, J. P. C.; BITTENCOURT, R. P.; FARIAS, M. D. S.; BELO, I. P.; FIA, R.; DE OLIVEIRA, L. F. C. Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [s. 1], v. 21, n. 3, p. 519-534, 2016.

MOLLE, F.; CADIER, E. **Manual do pequeno açude**. Recife: SUDENE/DPG/PRN/DDP/APR, 1992. 523p.

MORAIS, E. R. C.; MAIA, C. E.; OLIVEIRA, M. de. Qualidade da água para irrigação em amostras analíticas do banco de dados do Departamento de Solos e Geologia da Escola Superior de Agricultura de Mossoró, RN. **Revista Caatinga**, v.11, p. 75-83, 1998.

NUNES FILHO, J.; GUERRA, C. A. M.; SOUZA, A. R.; SÁ, V. A. L.; SOARES, M. J. C. C. Qualidade da água de açudes, para fins de irrigação no sertão de Pernambuco. **Irrigação e Tecnologia Moderna – ITEM**, n.44, p.35-39, 1991.

ONU - Organização das Nações Unidas Brasil. **Como as Nações Unidas apoiam os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável**. 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>.

PIZARRO, F. Drenaje agrícola y recuperacion de suelos salinos. 2.ed. Madrid: Editorial Agrícola S. A. 1985. 521p.

PROJETO MapBiomias – Mapeamento Anual de Cobertura e Uso da Terra – Coleção 7, 2022. Disponível em: https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2023/08/MapBiomias_Irigacao_2022_22_11_v2_1.pdf. Acesso em 12 de fevereiro de 2023.

RAZMAVARN, M. H.; SEPASKHAH, A. R.; AHMADI, S. H. Water footprint and production of rain-fed saffron under diferente planting methods with ridge plastic mulch and pre-flowering irrigation in a semi-arid region. **Agricultural Water Management**, v. 291, n. 108632, 2024.

RÊGO, J. C.; ALBUQUERQUE, J. P.; PONTES FILHO, J. D.; TSUYUGUCHI, B. B.; SOUZA, T. J.; GALVÃO, C. O. Sustainable and resiliente exploration of small aquifers in the Brazilian semi-arid region: the experience of Sumé. In: RE, V.; MANZIONE, R. L., ABIYE, T. A., MUKHERJI, A., & MacDONALD, A. (Eds.). **Groundwater for Sustainable Livelihoods and Equitable Growth**. London: CRC Press. Chapter 6. pp. 101-121, 2022. <https://doi.org/10.1201/9781003024101>

RICHARD, L. A. (ed.). **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Agricultural Handbook, 60. Washington D.C.: U.S. Department of Agriculture, 1954. 160p. USDA.

RIGHETTO, A. M.; GOMES, K. M.; FREITAS, F. R. S. Poluição difusa nas águas pluviais de uma bacia de drenagem urbana. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [s. 1], v. 22, n. 6, p. 1109-1120, 2017.

RHOADES, J. D.; KANDIAH, A.; MASHAL, A. M. The use of saline water for crop production. Rome: FAO, 1992. 133p. FAO. Irrigation and Drainage Paper, 48.

SÁ, F. V. S.; BRITO, M. E. B.; SILVA, L. A.; MOREIRA, R. C. L.; FERNANDES, P. D.; FIGUEIREDO, L. C. Fisiologia da percepção do estresse salino em híbridos de

tangerineira - Sunki Comum sob solução hidropônica salinizada. **Comunicata Scientiae**, v.6, p. 463-470, 2015.

SALGADO, J. P. **Influência do lançamento de esgotos na qualidade das águas do aquífero aluvial do rio Sucurú, no município de Sumé-PB**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal de Campina Grande. 2016.

SALGADO, J. P.; COURA, M. A.; BARBOSA, D. L.; FEITOSA, P. H. C.; Meira, M. A.; Rêgo, J. C. Influence of sewage disposal on the water quality of the Sucuru River alluvial aquifer in the municipality of Sumé-PB, Brazil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 23, e23, 2018.

SENA, J. P. O; MORAES NETO, J. M.; LUCENA, D. B. Variabilidade da precipitação em Sumé e São João do Cariri e suas consequências na agropecuária. **Revista Brasileira de Climatologia**, ano 15, v. 25., 2019.

SILVA, M. B. R.; AZEVEDO, P. V.; ALVES, T. L. B. Análise da degradação ambiental do alto curso da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba. **Bol. Goia. Geogr.** (Online). Goiânia, v. 34, n. 1, p. 35-53, jan./abr. 2014.

SILVA, M. M. da; MEDEIROS, P. R. F. de; SILVA, E. F. de F. da. Reuso da água proveniente de esgoto doméstico tratado para a produção agrícola no semiárido pernambucano. In: GHEYI, H. R. et al (Ed.). **Recursos Hídricos em Regiões Semiáridas: Estudos e Aplicações**. Campina Grande/PB e Cruz das Almas/BA: INSA e UFRB, 2012. Cap. 8. p. 178-196. (ISBN 978-85-64265-03-5). Disponível em: <[https://portal.insa.gov.br/images/acervo-livros/Recursos Hídricos em Regiões Semiáridas estudos e aplicações.pdf](https://portal.insa.gov.br/images/acervo-livros/Recursos%20H%C3%ADricos%20em%20Regi%C3%B5es%20Semi%C3%A1ridas%20estudos%20e%20aplica%C3%A7%C3%B5es.pdf)>. Acesso em: 21 mai. 2018.

SOUZA, T. J.; LIMA, V. L. A.; GALVÃO, C. O.; TSUYUGUCHI, B. B.; RÊGO, J. C. Condicionantes de salinização das águas em aquífero aluvial: um modelo conceitual. In: SOUZA FILHO, F. de A. de; REIS JÚNIOR, D. S.; GALVÃO, C. O. (Org.). **Secas e cheias: modelagem e adaptação aos extremos hidrológicos no contexto da variabilidade e mudança do clima**. Fortaleza, CE: Expressão Gráfica e Editora, 2022, p. 735-750.

SOUZA-BASTOS, L. R.; BASTOS, L. P.; CARNEIRO, P. C. F.; GUILOSKI, I. C.; SILVA DE ASSIS, H. C.; PADIAL, A. A. Evaluation of the water quality of the upper reaches of the main Southern Brazil river (Iguaçu river) through in situ exposure of the native siluriform *Rhamdia quelen* in cages. **Environmental Pollution**, v. 231, P. 1245-1255, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.08.071>. Epub 2017 Sep 22. PMID: 28947314.

SOUZA FILHO, F. A. de. Águas do futuro e o futuro das águas. In: PIRES, T. C. (Ed.). **A questão da água no Nordeste**. Brasília: CGEE, 2012. Cap. 6. p. 183-220. (ISBN 978-85-60755-45-5). Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2012/aQuestaoDaAguaNordeste.pdf>>. Acesso em: 21 mai. 2018.

SUDENE - Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. Dados pluviométricos mensais do Nordeste: Estado da Paraíba. Recife, PE: SUDENE, 1990.

TILMAN, D.; BALZER, C.; HILL, J.; BEFORT, B. L. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 108, n. 50, p. 20260-20264, 2011.

TRIOLA, M. F. **Introdução à estatística**. 7. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos – LTC, 1999. 410p.

TSUYUGUCHI, B. B.; MORGAN, E. A.; RÊGO, J. C.; GALVÃO, C. O. Governance of alluvial aquifers and Community participation: a social-ecological systems analysis of the Brazilian semi-arid region. *Hydrogeology Journal*, v. 28, p. 1539-1552, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10040-020-02160-8>

USSL - United States Salinity Laboratory. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. US Department of Agriculture Handbook 60, Washington, DC. 1954.

VILLAR, P. C. As águas subterrâneas e o direito à água em um contexto de crise. *Ambiente & Sociedade*. São Paulo, v. 19, n. 1, p. 83-102, jan/mar. 2016. Disponível em: http://www.scielo.br/pdf/asoc/v19n1/pt_180_9-4422-acoc-19-01-00085.pdf.

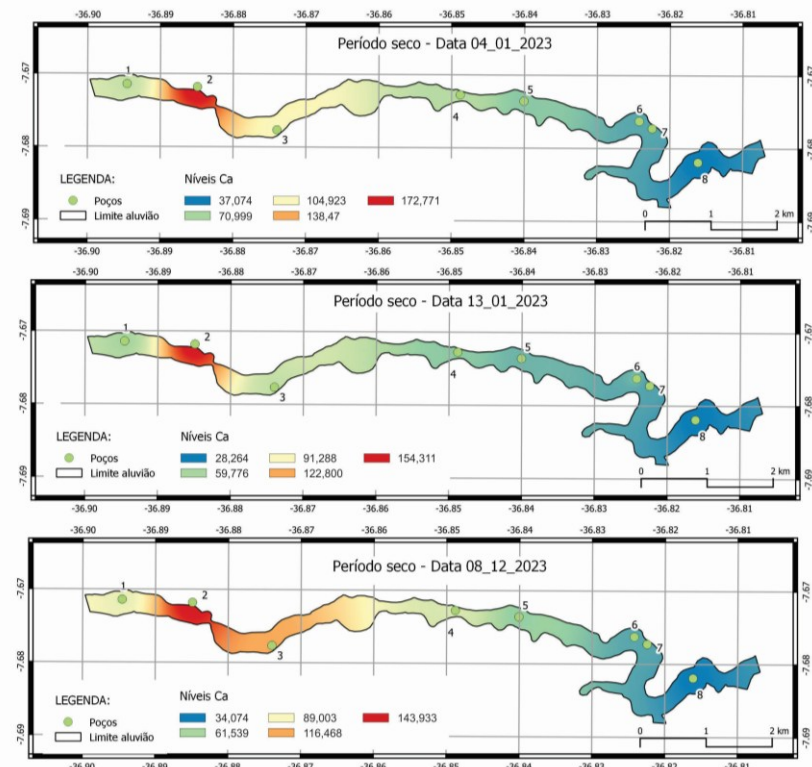
VILLAR, P. C.; HIRATA, R. Groundwater Governance and the Construction of Legal Indicators for Brazilian States. *Ambiente & Sociedade*, v. 25, 2022.

WREGGE, M. **Termos Hidrogeológicos Básicos**. Caderno Técnico nº 4. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. São Paulo, 32 p. 1997.

APÊNDICE I

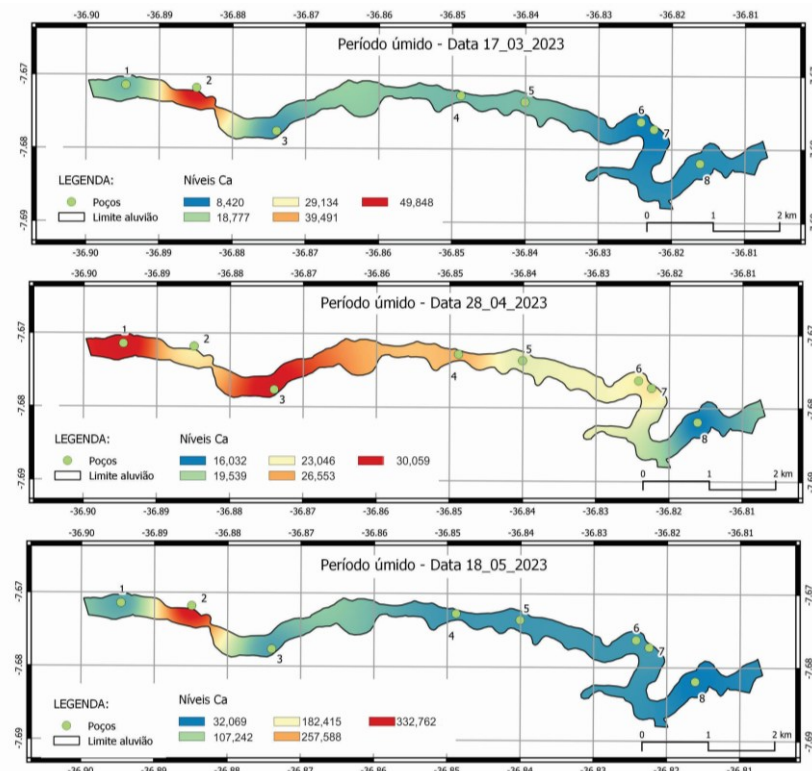
Indicadores de qualidade de água no aluvião do rio Sucurú

Figura 28 - Distribuição de Ca^{+2} ao longo do aluvião do rio Sucurú no período seco



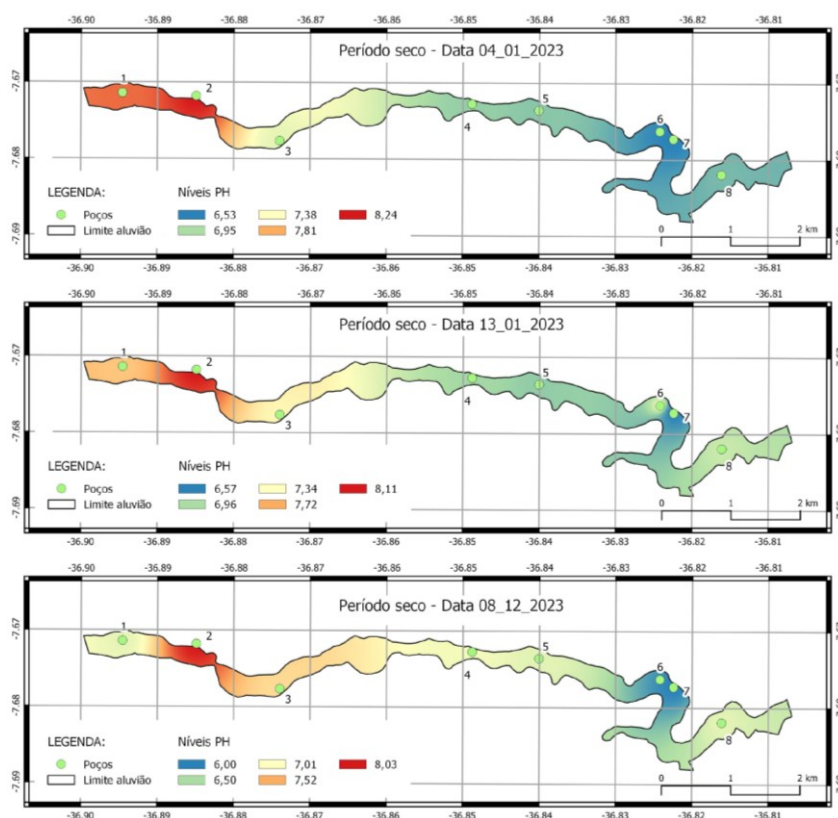
Fonte: autoria própria (2024).

Figura 29 - Distribuição de Ca^{+2} ao longo do aluvião do rio Sucurú no período úmido



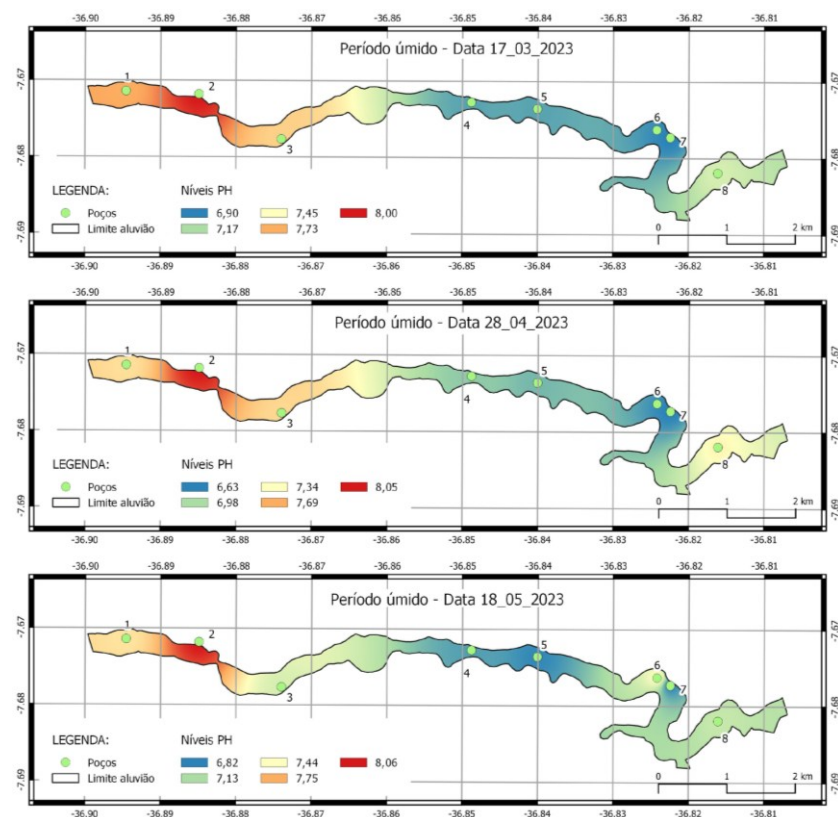
Fonte: autoria própria (2024).

Figura 30 - Distribuição de pH ao longo do aluvião do rio Sucurú no período seco

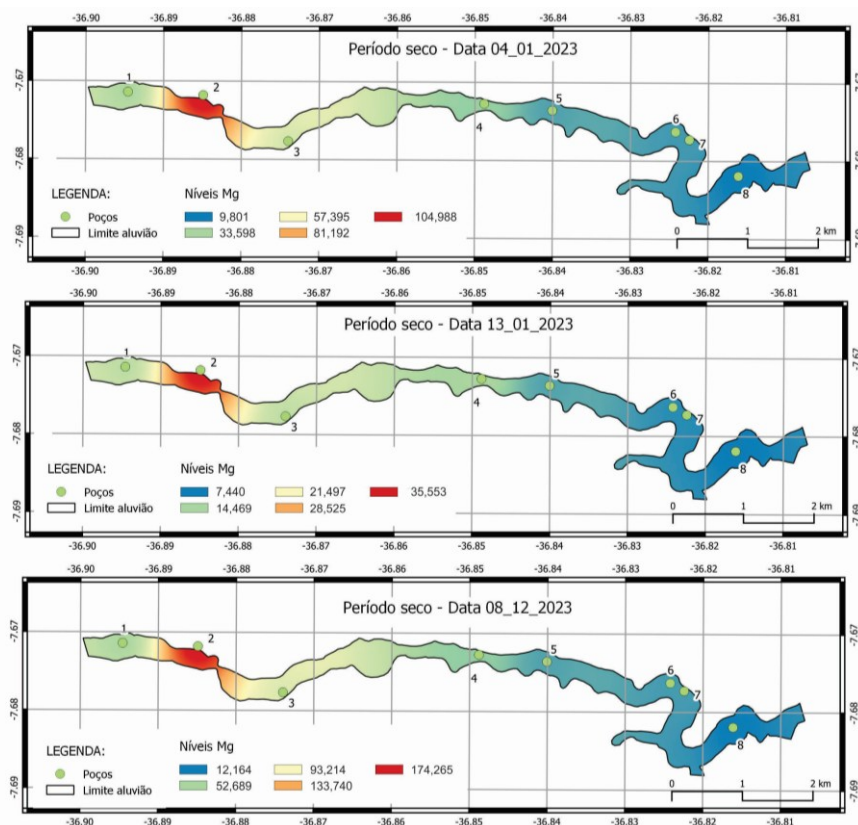


Fonte: autoria própria (2024).

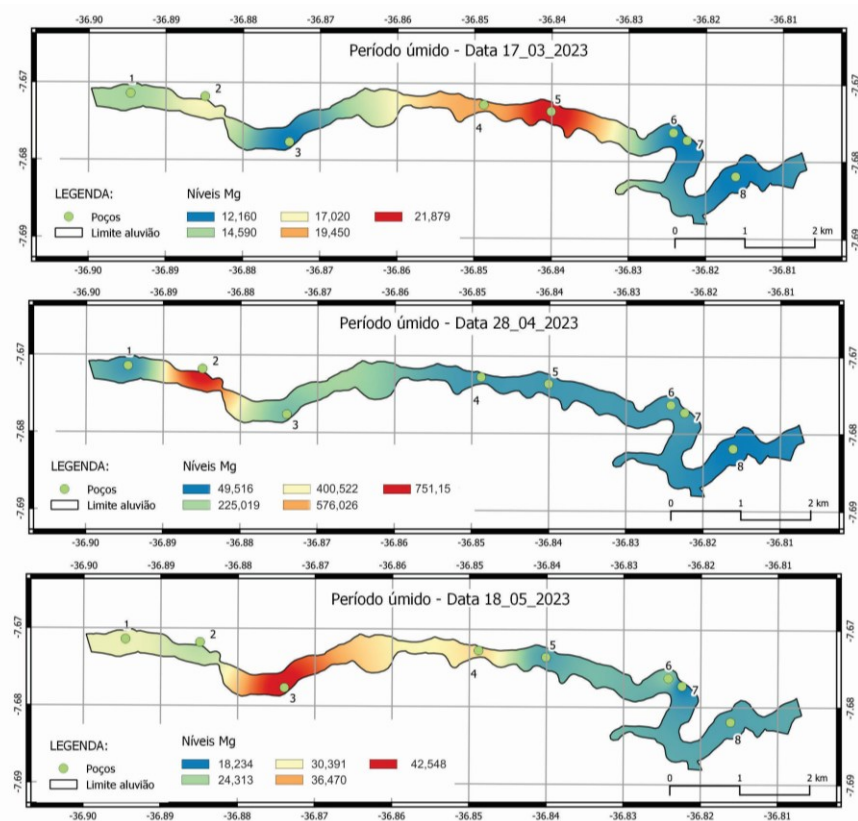
Figura 31 - Distribuição de pH ao longo do aluvião do rio Sucurú no período úmido



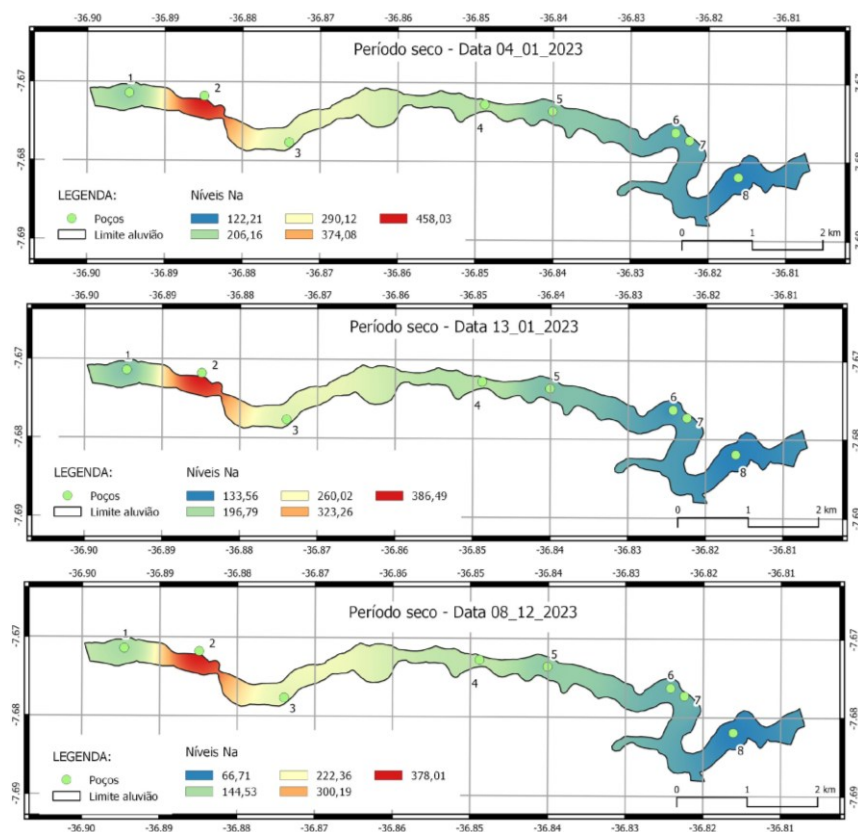
Fonte: autoria própria (2024).

Figura 32 - Distribuição de Mg^{+2} ao longo do aluvião do rio Sucurú no período seco

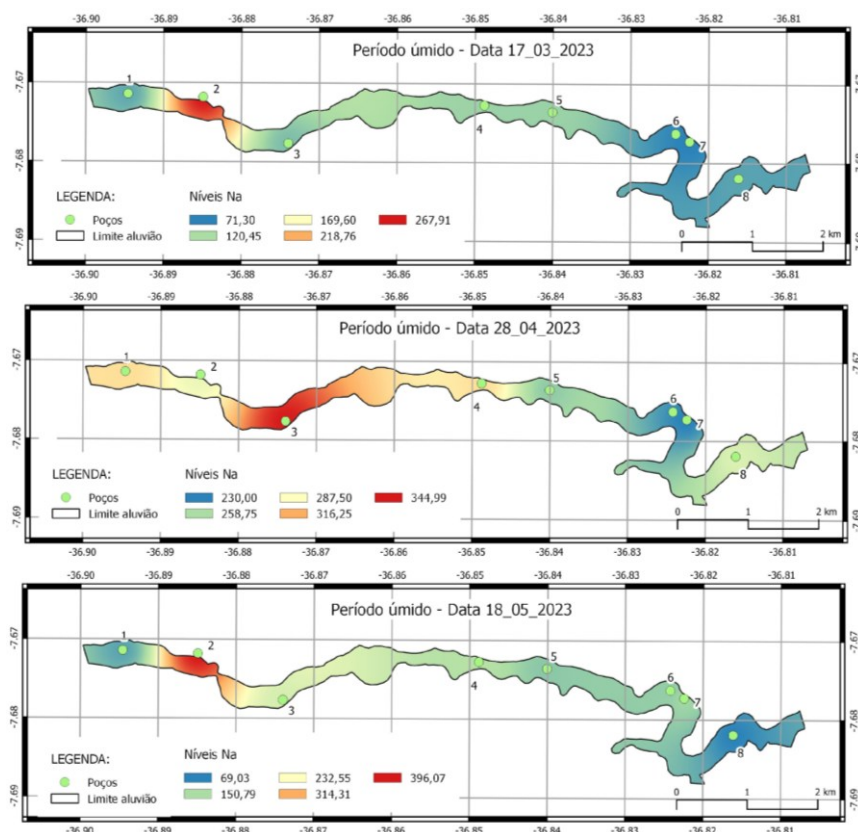
Fonte: autoria própria (2024).

Figura 33 - Distribuição de Mg^{+2} ao longo do aluvião do rio Sucurú no período úmido

Fonte: autoria própria (2024).

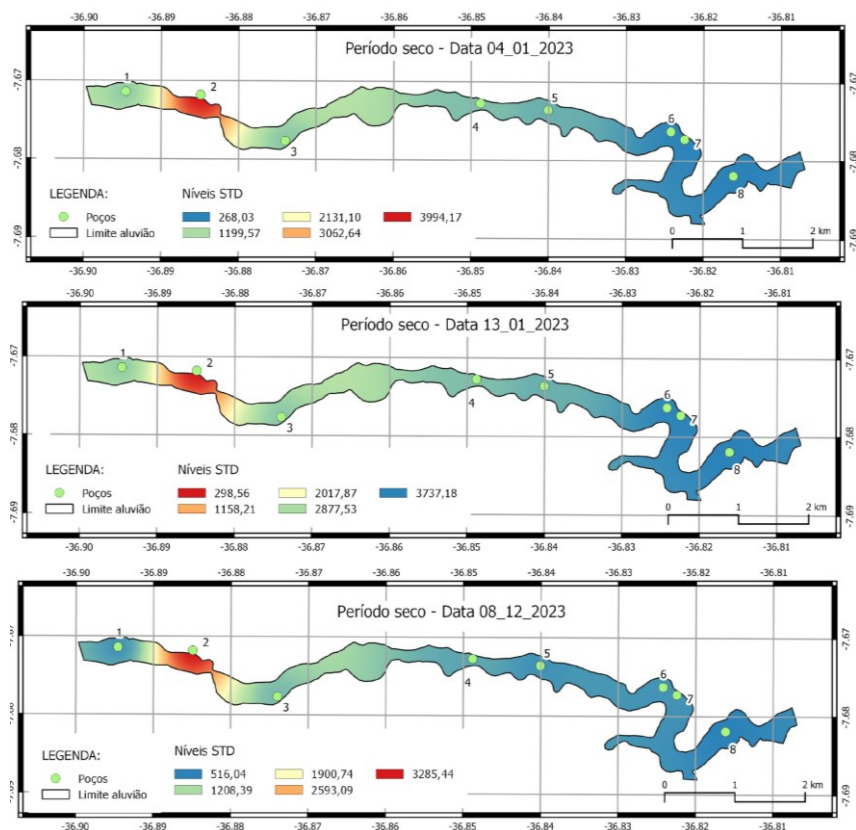
Figura 34 - Distribuição de Na^+ ao longo do aluvião do rio Sucurú no período seco

Fonte: autoria própria (2024).

Figura 35 - Distribuição de Na^+ ao longo do aluvião do rio Sucurú no período úmido

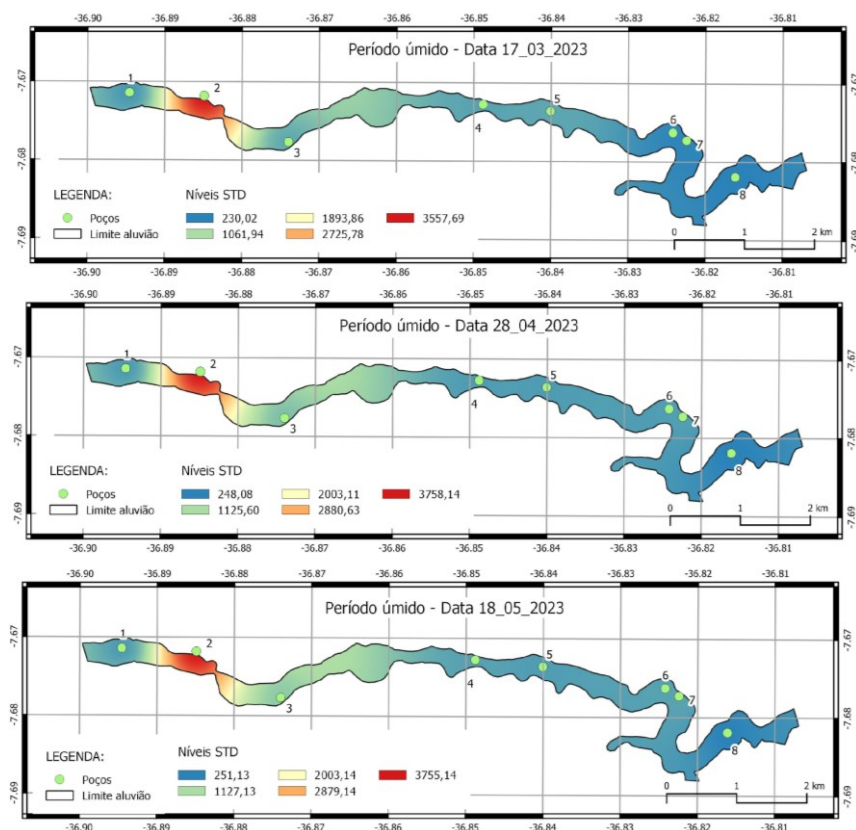
Fonte: autoria própria (2024).

Figura 36 - Distribuição de STD ao longo do aluvião do rio Sucurú no período seco



Fonte: autoria própria (2024).

Figura 37 - Distribuição de STD ao longo do aluvião do rio Sucurú no período úmido



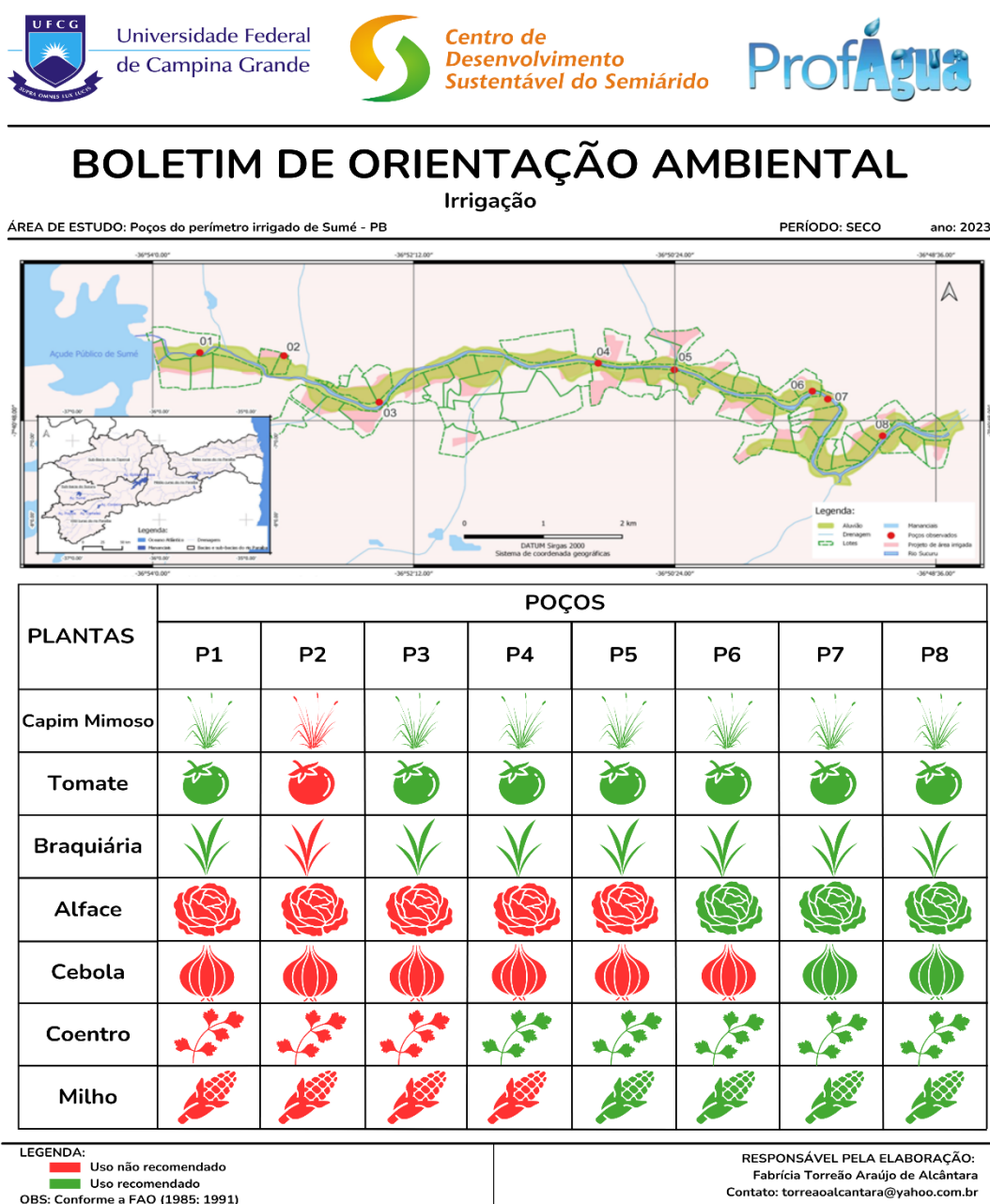
Fonte: autoria própria (2024).

APÊNDICE II

Produto(s) obtido(s)

Os boletins de orientação ambiental foram elaborados para divulgação junto aos produtores rurais com objetivo de sensibilização para uso da água de forma racional, minimizando os riscos para irrigação e dessedentação animal.

Figura 38 – Boletim de orientação ambiental para irrigação no período seco de 2023





APOIO:



AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS
E SANEAMENTO BÁSICO



Universidade Federal
de Campina Grande



Centro de
Desenvolvimento
Sustentável do Semiárido



Fonte: Fonte: autoria própria (2024).

Figura 39 – Boletim de orientação ambiental para irrigação no período chuvoso de 2023

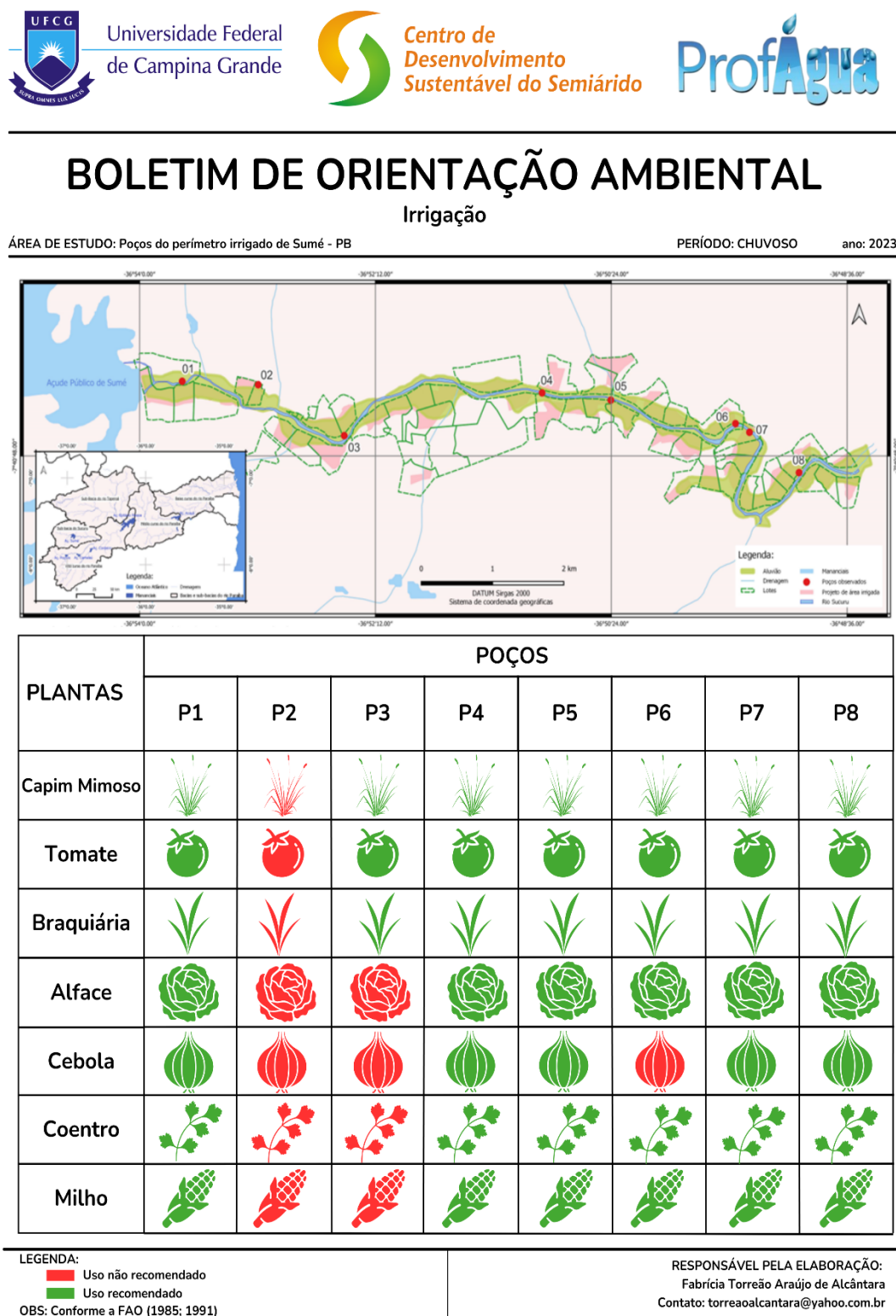


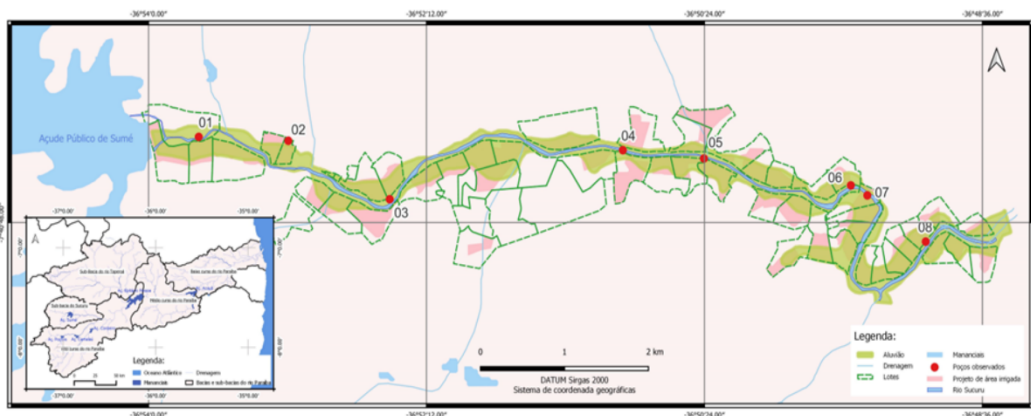
Figura 40 – Boletim de orientação ambiental considerando os sólidos totais dissolvidos - STD para dessedentação animal, no período seco de 2023



BOLETIM DE ORIENTAÇÃO AMBIENTAL

Dessedentação Animal - Sólidos Totais Dissolvidos (STD)

ÁREA DE ESTUDO: Poços do perímetro irrigado de Sumé - PBPERÍODO: SECOano: 2023



ANIMAIS	POÇOS							
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Aves								
Bovinos								
Caprinos								
Suínos								
Cabrito								
Equinos								
Vacas Lactantes								

LEGENDA:
■ Uso não recomendado
■ Uso recomendado
 OBS: Conforme a Resolução CONAMA n. 398/2008 (AU/NZ; AS)

RESPONSÁVEL PELA ELABORAÇÃO:
 Fabrícia Torreão Araújo de Alcântara
 Contato: torreaalcantara@yahoo.com.br

APOIO:



Figura 41 – Boletim de orientação ambiental considerando valores de sólidos totais dissolvidos - STD para dessedentação animal, no período chuvoso de 2023



Universidade Federal de Campina Grande



Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido



BOLETIM DE ORIENTAÇÃO AMBIENTAL

Dessedentação Animal - Sólidos Totais Dissolvidos (STD)

ÁREA DE ESTUDO: Poços do perímetro irrigado de Sumé - PB

PERÍODO: CHUVOSO

ano: 2023



ANIMAIS	POÇOS							
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Aves								
Bovinos								
Caprinos								
Suínos								
Cabrito								
Equinos								
Vacas Lactantes								

LEGENDA:
 Uso não recomendado
 Uso recomendado
 OBS: Conforme a Resolução CONAMA n. 398/2008 (AU/NZ; AS)

RESPONSÁVEL PELA ELABORAÇÃO:
 Fabrícia Torreão Araújo de Alcântara
 Contato: torreaalcantara@yahoo.com.br

APOIO:



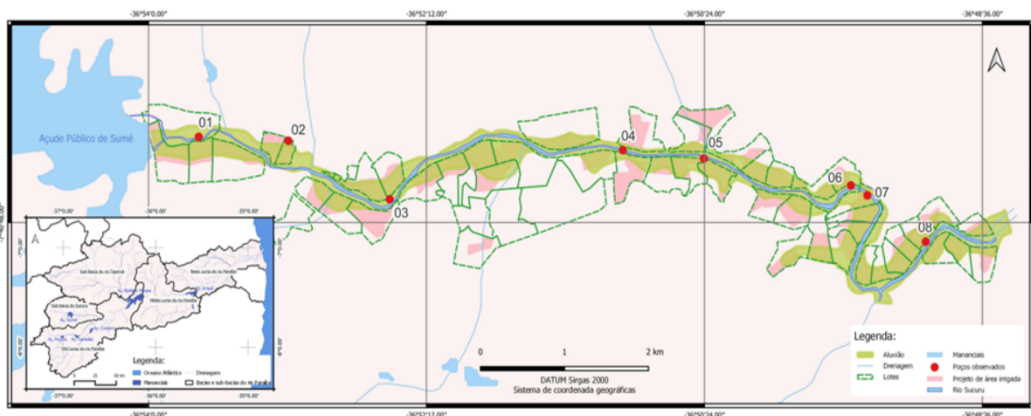
Figura 42 – Boletim de orientação ambiental considerando os valores de condutividade elétrica - CE para dessedentação animal, no período seco de 2023



BOLETIM DE ORIENTAÇÃO AMBIENTAL

Dessedentação Animal - Condutividade Elétrica (CE)

ÁREA DE ESTUDO: Poços do perímetro irrigado de Sumé - PB PERÍODO: SECO ano: 2023



ANIMAIS	POÇOS							
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Aves								
Bovinos								
Caprinos								
Suínos								
Cabrito								
Equinos								
Vacas Lactantes								

LEGENDA:
 Uso não recomendado
 Uso recomendado
 OBS: Conforme a VMP (FAO)

RESPONSÁVEL PELA ELABORAÇÃO:
 Fabrícia Torreão Araújo de Alcântara
 Contato: torreaoalcantara@yahoo.com.br

APOIO:



Figura 43 – Boletim de orientação ambiental considerando os valores de condutividade elétrica - CE para dessedentação animal, no período chuvoso de 2023



BOLETIM DE ORIENTAÇÃO AMBIENTAL

Dessedentação Animal - Condutividade Elétrica (CE)

ÁREA DE ESTUDO: Poços do perímetro irrigado de Sumé - PB

PERÍODO: CHUVOSO

ano: 2023



ANIMAIS	POÇOS							
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Aves								
Bovinos								
Caprinos								
Suínos								
Cabrito								
Equinos								
Vacas Lactantes								

LEGENDA:

Uso não recomendado

Uso recomendado

OBS: Conforme a VMP (FAO)

RESPONSÁVEL PELA ELABORAÇÃO:

Fabírcia Torreão Araújo de Alcântara

Contato: torreaoalcantara@yahoo.com.br

APOIO:

