

RELATÓRIO TÉCNICO

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

BOLETIM DE ORIENTAÇÃO AMBIENTAL DE USO DA ÁGUA

Sumé – PB
2024





Mestrado Profissional em Rede Nacional em
Gestão e Regulação de Recursos Hídricos

PROFÁGUA

RELATÓRIO TÉCNICO

Fabírcia Torreão Araújo de Alcântara

Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos

Orientador: Dra. Vera Lucia Antunes de Lima

Docente na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Doutora em Engenharia Agrícola, atua na pós-graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua, tem experiência na área de Irrigação e Drenagem, com ênfase em tecnologia e problemas sanitários de irrigação, reúso de água, movimento de solutos, eficiência de irrigação, culturas irrigadas, drenagem de terras agrícolas, propriedades físico-hídricas do solo e impactos ambientais.



A347r Alcântara, Fabrícia Torreão Araújo de.

Relatório técnico: avaliação da qualidade das águas subterrâneas no aluvião do Rio Sucurú, Sumé-PB, quanto ao risco de salinização e sodificação. / Fabrícia Torreão Araújo de Alcântara. - 2024.

29f. : il. Collor.

Orientadora: Professora Dra. Vera Lúcia Antunes de Lima.

Produto Técnico (Relatório) - 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 - qualidade. 2. Salinidade da água. 3. Dessedentação animal. 4. Aluvião do Rio Sucurú - Sumé-PB. 5. Semiárido brasileiro. 6. Poluição difusa - fontes de água. 7. Poços - qualidade da água. 8. Irrigação. 9. Água para irrigação - critérios de classificação. I. Lima, Vera Lúcia Antunes de. II. Título.

CDU: 556.3(043.7)

Elaboração da Ficha Catalográfica:

Johnny Rodrigues Barbosa
Bibliotecário-Documentalista
CRB-15/626

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Localização da área de estudo	7
Figura 2 – Localização dos poços selecionados	9
Figura 3 - Fontes de poluição difusa no município de Sumé, PB	15
Figura 4 - Pontos de lançamento de esgoto sem tratamento	17
Figura 5 - Boletim de orientação ambiental para irrigação no período seco de 2023 .	19
Figura 6 - Boletim de orientação ambiental para irrigação no período chuvoso de 2023	20
Figura 7 - Boletim de orientação ambiental considerando os STD para dessedentação animal no período seco de 2023	21
Figura 8 - Boletim de orientação ambiental considerando os STD para dessedentação animal no período chuvoso de 2023	22
Figura 9 - Boletim de orientação ambiental considerando a CE para dessedentação animal no período seco de 2023	23
Figura 10 - Boletim de orientação ambiental considerando a CE para dessedentação animal no período chuvoso de 2023	24



LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados dos poços escolhidos para coleta e análise de qualidade da água ...	10
Tabela 2 - Valores limites para uso da água na dessedentação animal	11
Tabela 3 - Valores limites para uso da água na irrigação	11
Tabela 4 - Classificação da água para irrigação quanto ao risco de salinidade	14
Tabela 5 - Fontes de poluição identificados durante as visitas de campo	16

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	5
2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	6
2.1 IDENTIFICAÇÃO DAS FONTES DE POLUIÇÃO E DOS PONTOS PARA COLETA DE AMOSTRAS DE ÁGUA	8
2.2 QUALIDADE DA ÁGUA PARA DESSEDENTAÇÃO ANIMAL E IRRIGAÇÃO	10
2.3 CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO	12
3 ANÁLISE TÉCNICA	14
3.1 FONTES DE POLUIÇÃO DIFUSA	14
3.2 CLASSIFICAÇÃO DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO EM FUNÇÃO DA RAZÃO DE ADSORÇÃO DE SÓDIO – RAS	17
4 BOLETINS DE ORIENTAÇÃO AMBIENTAL DE USO DA ÁGUA	19
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	25
REFERÊNCIAS	

226

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento das civilizações ocorreu nas proximidades de corpos d'água disponíveis para o consumo humano e a dessedentação animal. A presença da água ainda é um dos elementos responsáveis por escrever a história mundial, 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 onde reside ou a forma que contribui para manter os rios da região (Villar, 2016; Villar e Hirata, 2022). 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, geri-los adequadamente e cobrar a resolução de conflitos de uso da água (ANA, 2022).

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).

A maioria dos trechos de rios efêmeros e intermitentes do Brasil possuem informações insuficientes, 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; Alcântara *et al.*, 2023).

As informações geradas pelas agências de gestão de recursos hídricos, órgãos fiscalizadores, agências reguladoras, 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 de 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.

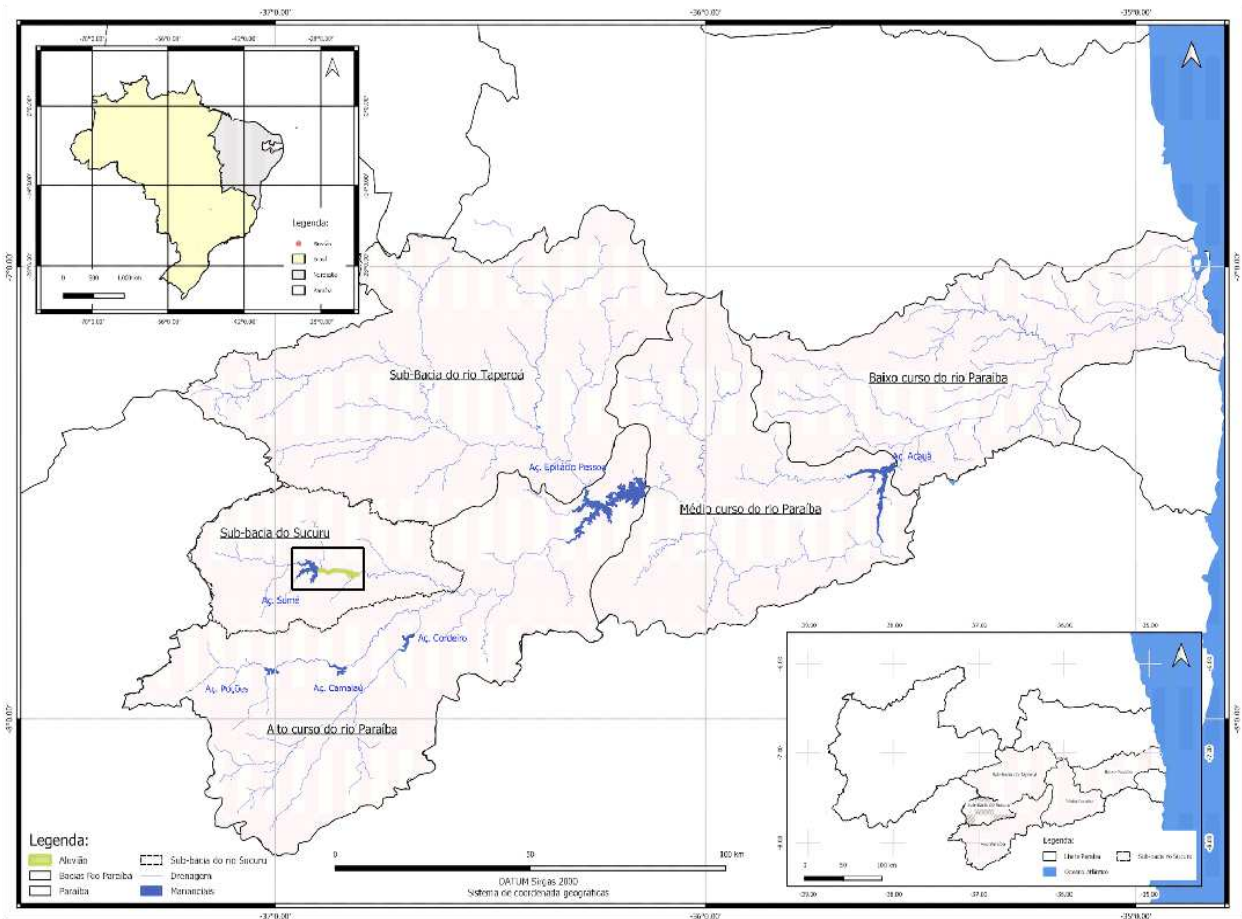
2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada no aluvião do rio Sucurú, a jusante do reservatório público de Sumé, construído para atender demandas de abastecimento urbano e do perímetro irrigado do município de Sumé, PB.

A área do aluvião é de 351 ha, largura variando de 50 a 500 m, profundidade variando de 0,5 a 15 m e 1,7 hm³ de capacidade de armazenamento estimada, situada

em trecho médio da bacia hidrográfica do rio Sucurú, região do alto curso do rio Paraíba (Tsuyuguchi *et al.*, 2020; Rêgo *et al.*, 2022). Por ser muito próximo da área urbana, esse aquífero recebe elevada carga de esgoto doméstico tratado e não tratado (Figura 1).

Figura 1 – Localização da área de estudo



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

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.

Em termos geográficos, o município de Sumé 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).

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).

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 pela bacia do rio Paraíba e seus afluentes, classificados como efêmeros ou intermitentes e, em geral, têm seus leitos comandados pela rede de fraturamento da área (CPRM, 2000).

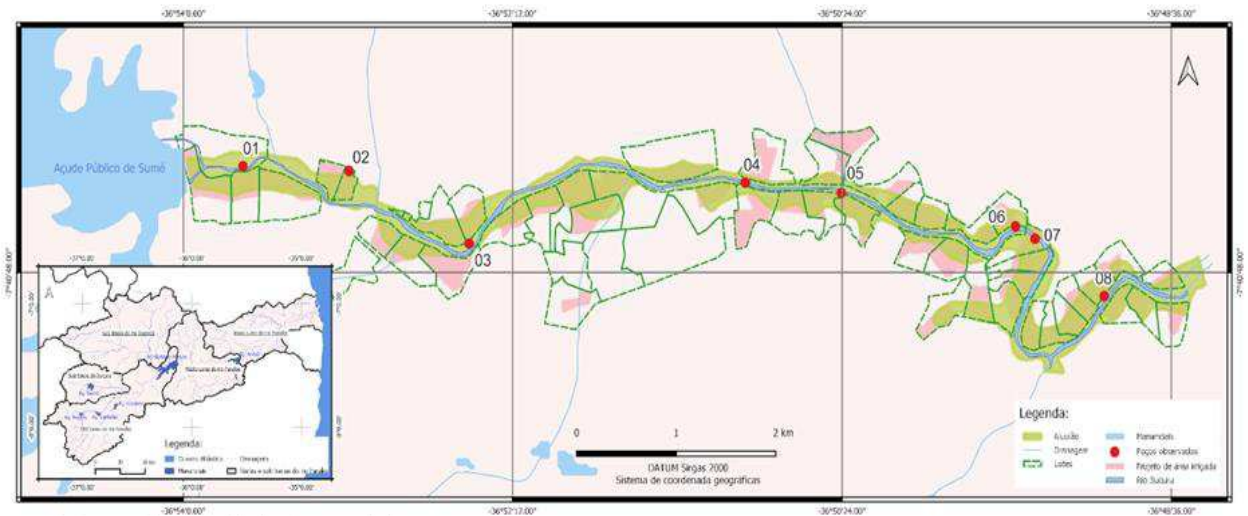
2.1 IDENTIFICAÇÃO DAS FONTES DE POLUIÇÃO E DOS PONTOS PARA COLETA DE AMOSTRAS DE ÁGUA

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 Garmin Etrex 4.0, com auxílio da infraestrutura oferecida pelo Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido, o Campus de Sumé da Universidade Federal de Campina Grande.

Foram selecionados 8 dos 32 poços do tipo amazonas, escavados no leito do rio Sucurú, já existentes no aquífero aluvial, no trecho do perímetro irrigado do município de Sumé, levando em consideração o tipo construtivo e a 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 no entorno e a localização em relação a zona urbana do município para avaliação dos efeitos da poluição difusa.

Na Figura 2 pode-se observar a localização dos poços selecionados durante as visitas de campo para obtenção de parâmetros físico-químicos por meio da sonda de qualidade de água Hanna 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 2 – Localização dos poços selecionados



Fonte: autoria própria (2024).

De janeiro a dezembro de 2023, foram realizadas 6 visitas de campo aos 8 poços selecionados para obter 336 valores dos parâmetros físico-químicos de qualidade da água, usando a sonda Hanna HI 9828, e coletas de amostras de água a jusante, *in-situ* e a montante da zona urbana do município para obter valores das concentrações de cálcio, magnésio, sódio e potássio, após 576 análises laboratoriais em triplicata. Na determinação de sódio e potássio foram utilizados os métodos da fotometria de chama e o titulométrico do EDTA para obtenção dos valores das concentrações de cálcio e magnésio, conforme recomendação do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012).

Por meio da sonda de qualidade de água Hanna HI9829 foram obtidos os parâmetros de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), 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.

Na Tabela 1 pode-se observar as características dos poços escolhidos para o monitoramento qualitativo da água disponível para irrigação e dessedentação animal.

Tabela 1 – Dados dos poços escolhidos para coleta e análise de qualidade da 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).

2.2 QUALIDADE DA ÁGUA PARA DESSEDENTAÇÃO ANIMAL E IRRIGAÇÃO

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). Pode-se observar os valores limites dos parâmetros de qualidade para uso da água na dessedentação animal (Tabela 2) e irrigação (Tabela 3), conforme recomendação da legislação na África do Sul, Austrália, Nova Zelândia, Canadá e FAO.

Tabela 2 – 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)

Tabela 3 – 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)	Irrigação de superfície
	-	115 - 230 - lesão em plantas moderadamente sensíveis (AU/NZ)	> 68 (adequado)
	-	230 - 460 - lesão em plantas moderadamente tolerantes (AU/NZ)	68 - 206 (moderado)
	-	> 460 - lesão em plantas tolerantes (AU/NZ)	> 206 (severo)
	-		Irrigação por aspersão < 68 (adequado) > 68 (moderado)

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

2.3 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 (Holanda *et al.*, 2016; Braga *et al.*, 2020). 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;

Ca²⁺ é o íon cátion de cálcio e

Mg²⁺ é o íon cátion de magnésio.

De acordo com a classificação recomendada por Richards (1954), podem ser identificadas quatro classes de sodificação (S₁ a S₄), dependendo dos valores da RAS e da CE, sendo:

S₁ – 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;

S₂ – 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;

S₃ – 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;

S₄ – Água com teor muito alto de sódio: geralmente, inadequada para irrigação.

O risco de salinidade foi obtido em função da condutividade elétrica (CE), com

divisão em classes, variando de C_0 a C_5 , complementando a classificação do USSL (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.

C_0 – 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);

C_1 – 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.

C_2 – 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).

C_3 – 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.

C_4 – 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.

C_5 – 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.

De acordo com (Medeiros e Gheyi, 1994; Medeiros; Gheyi; Nascimento, 2012) e, 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).

Na Tabela 4 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 4 – 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).

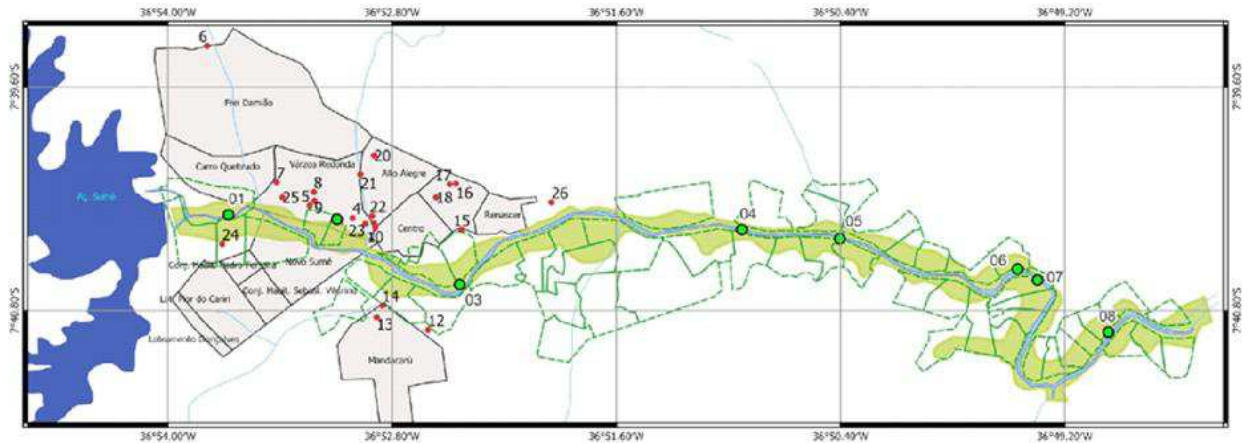
A classificação adotada pelo Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos (USSL, 1954, p. 79-82) apresenta um diagrama de classificação para água utilizada em áreas irrigadas, onde se combina o risco de salinidade (C₁ a C₄), também adotados como índices de salinidade por Frenkel (1984) e, a Razão de Adsorção de Sódio (RAS), variando de S₁ a S₄, para formar 16 classes.

3 ANÁLISE TÉCNICA

3.1 FONTES DE POLUIÇÃO DIFUSA

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, localizados nos bairros da zona urbana do município de Sumé - PB, entre os poços amazonas 01 e 03 (Figura 3).

Figura 3 – Fontes de poluição difusa



Fonte: autoria própria (2024).

Foi possível localizar as seguintes fontes de poluição: 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).

Outros pontos de poluição podem ser vistos nos pontos 17, 18 e 23 que 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.

Na Tabela 5 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.

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 4).

Tabela 5 – Fontes de poluição identificados 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: autoria própria (2024)

Figura 4 – Pontos de lançamento de esgoto sem tratamento



Fonte: autoria própria (2023).

3.2 CLASSIFICAÇÃO DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO EM FUNÇÃO DA RAZÃO DE ADSORÇÃO DE SÓDIO – RAS

Foram obtidos parâmetros físico-químicos de qualidade da água e calculadas as razões 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 no ano de 2023.

No período seco foi possível identificar os maiores valores da RAS, no dia 13 de janeiro de 2023, com a classificação de uso da água variando de ($C_5 - S_4$), no poço 2, com risco extremamente alto de salinização e forte risco de adsorção de sódio no solo até ($C_2 - S_1$), nos poços 7 e 8, com risco médio de salinização e baixo risco de adsorção de sódio. Esses valores indicam o efeito da ausência de recarga por escoamento no aquífero aluvial do rio Sucurú e da concentração dos sais próximo ao poço 2, local de lançamento de esgoto doméstico sem tratamento na zona urbana do município.

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.

A recarga do aquífero ocorre predominantemente por meio do escoamento superficial, onde foi possível identificar redução dos valores da RAS, no dia 18 de maio de 2023. A classificação de uso da água para irrigação no poço 2, passou de ($C_5 - S_4$) para ($C_5 - S_3$), quando comparado com o período seco. A água contida nos poços 1, 4, 5, 6 e 7 foi classificada como ($C_3 - S_1$), 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 e vertissolos devido suas condições restritas de drenagem natural. A classificação da água no poço 8 ($C_2 - S_1$), 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.

Após o final do período chuvoso e a redução do escoamento superficial na área do aluvião do rio Sucurú, ainda foi possível verificar a melhoria da classificação da água para fins de irrigação, por meio da redução dos valores da RAS, no dia 08 de dezembro de 2023, onde o poço 2 foi classificado como ($C_5 - S_2$), com risco extremamente alto de salinização e médio risco de adsorção de sódio, os poços 1, 3, 4, 5, 5 e 7 foram classificados com alto risco de salinização e baixo risco de sodificação ($C_3 - S_1$), e o poço 8, com risco médio de salinização e baixo risco de adsorção de sódio ($C_2 - S_1$).

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 valores máximos permitidos 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.

De acordo com os 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), os capins mimoso (*Eragrostis pilosa*), Tifton 85 (*Cynodon dactylon* cv) e o braquiarião (*Brachiaria brizantha marandu*) podem ser irrigados nos períodos seco e chuvoso, excetuando com água contida no poço 2, que possui valores de CE superiores aos limites de tolerância destas espécies e de outros tipos de cultivares.

Boletins de orientação ambiental foram elaborados para divulgação junto aos produtores rurais com objetivo de sensibilização para uso da água de forma racional na irrigação, minimizando os riscos de perda de safra e de salinização do solo, bem como para uso com segurança na dessedentação animal, nos períodos seco e úmido.

4 BOLETINS DE ORIENTAÇÃO AMBIENTAL DE USO DA ÁGUA

Figura 5 – Boletim de orientação ambiental para irrigação no período seco de 2023



Universidade Federal
de Campina Grande



Centro de
Desenvolvimento
Sustentável do Semiárido



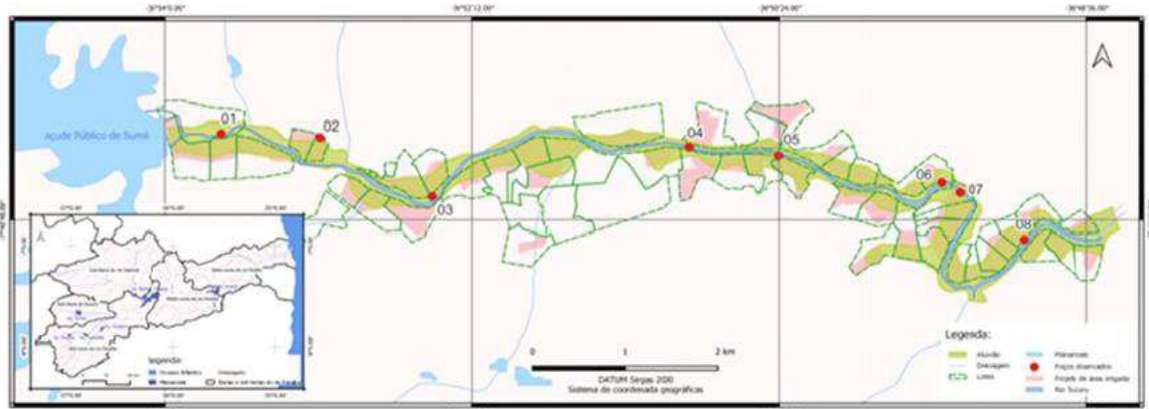
BOLETIM DE ORIENTAÇÃO AMBIENTAL

























































Irrigação

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



PERÍODO: SECO

ano: 2023



PLANTAS	POÇOS							
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Capim Mimoso								
Tomate								
Braquiária								
Alface								
Cebola								
Coentro								
Milho								

LEGENDA:

 Uso não recomendado
 Uso recomendado

OBS: Conforme a FAO (1985; 1991)

RESPONSÁVEL PELA ELABORAÇÃO:

Fabírcia Torreão Araújo de Alcântara

Contato: torreaoalcantara@yahoo.com.br

APOIO:



Universidade Federal
de Campina Grande



Centro de
Desenvolvimento
Sustentável do Semiárido



Fonte: autoria própria (2024)

Figura 6 – Boletim de orientação ambiental para irrigação no período chuvoso de 2023

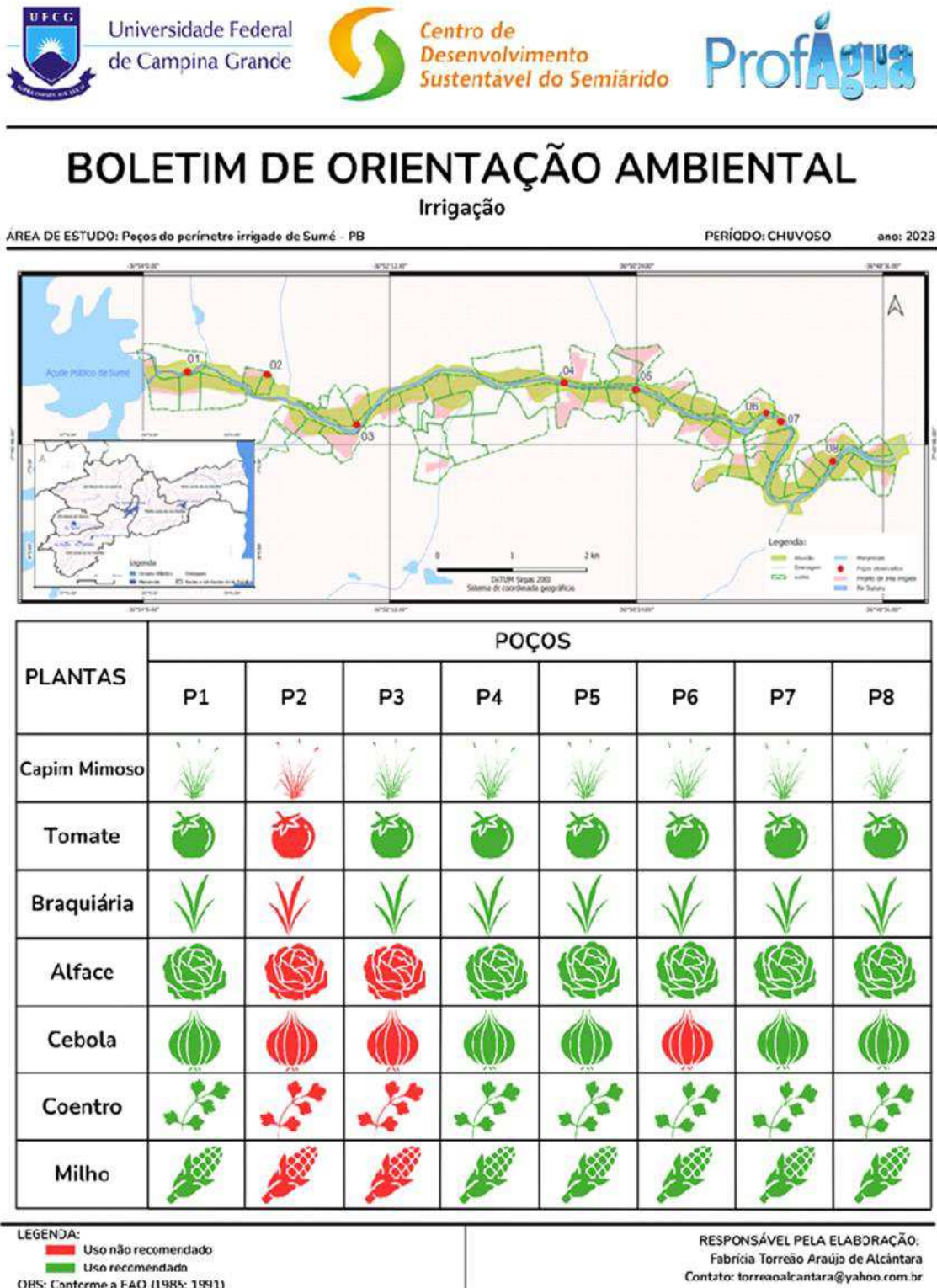


Figura 7 – Boletim de orientação ambiental considerando os sólidos totais dissolvidos - STD para dessedentação animal, no período seco de 2023

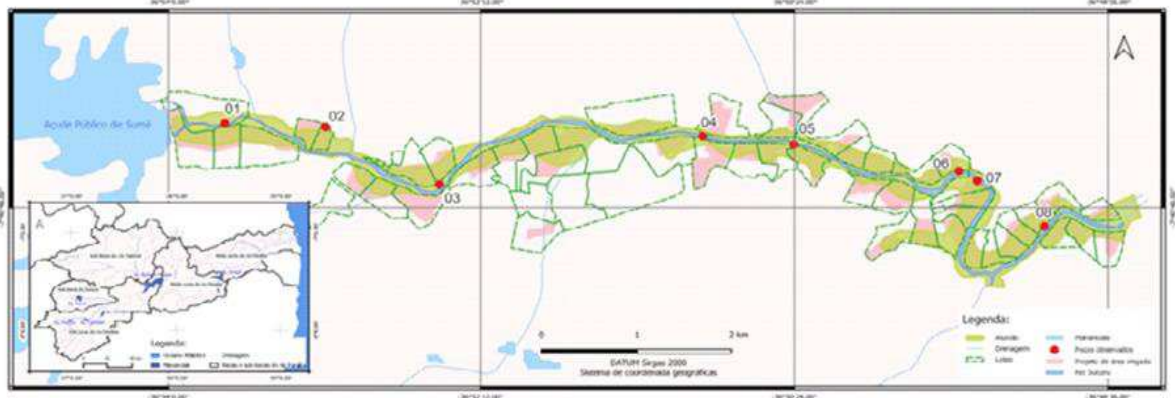
BOLETIM DE ORIENTAÇÃO AMBIENTAL

























































Dessedentação Animal - Sólidos Totais Dissolvidos (STD)



ÁREA DE ESTUDO: Poços do perímetro irrigado de Sumé - 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 Resolução CONAMA n. 398/2008 (AU/NZ; AS)

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

Figura 8 – Boletim de orientação ambiental considerando os sólidos totais dissolvidos - STD para dessedentação animal, no período chuvoso de 2023

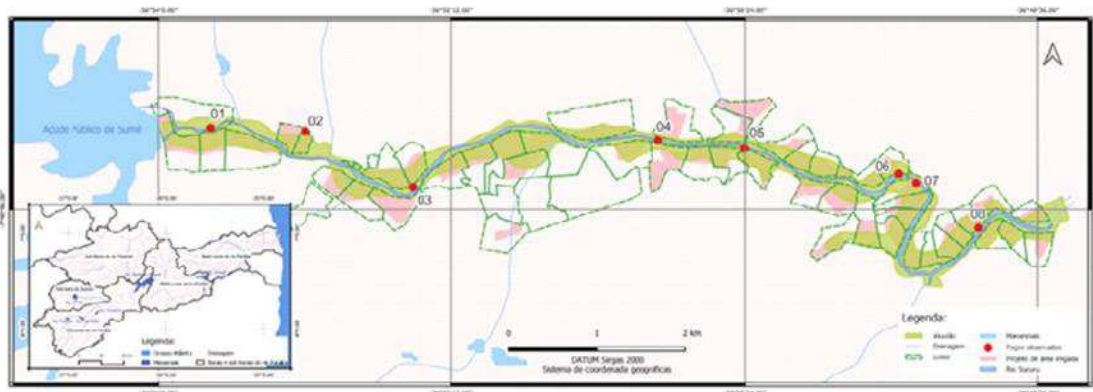
BOLETIM DE ORIENTAÇÃO AMBIENTAL

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:
 Fabricia Torreão Araújo de Alcântara
 Contato: torreaolcantara@yahoo.com.br

Figura 9 – Boletim de orientação ambiental considerando os valores de condutividade elétrica - CE para dessedentação animal, no período seco de 2023



Universidade Federal de Campina Grande



Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido



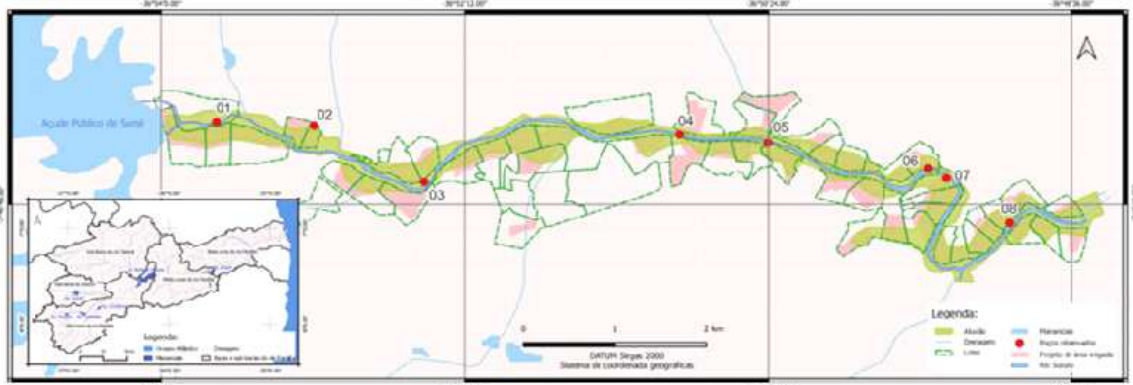
BOLETIM DE ORIENTAÇÃO AMBIENTAL

























































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



Universidade Federal de Campina Grande



Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido



Fonte: autoria própria (2024)

Figura 10 – Boletim de orientação ambiental considerando os valores de condutividade elétrica - CE para dessedentação animal, no período chuvoso de 2023



Universidade Federal
de Campina Grande



Centro de
Desenvolvimento
Sustentável do Semiárido



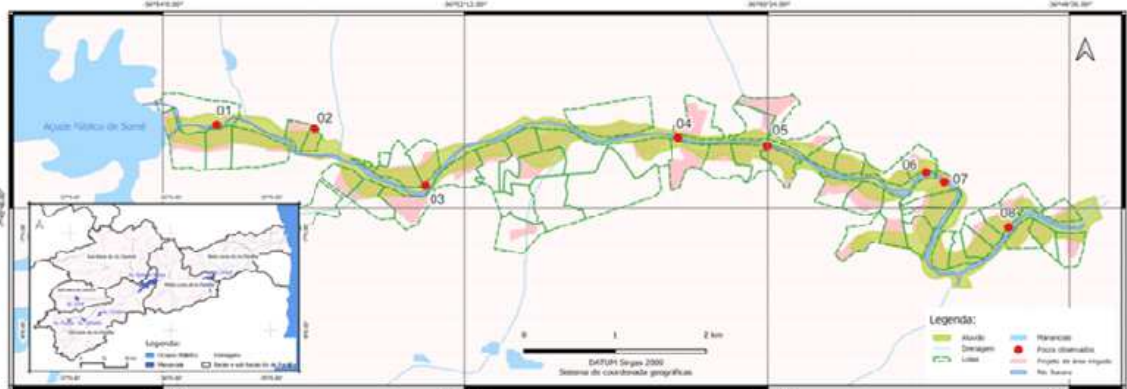
BOLETIM DE ORIENTAÇÃO AMBIENTAL

























































Dessedentação Animal - 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:
 Fabrícia Torreão Araújo de Alcântara
 Contato: torreaolcantara@yahoo.com.br

APOIO:



Universidade Federal
de Campina Grande



Centro de
Desenvolvimento
Sustentável do Semiárido



Fonte: autoria própria (2024).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

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 o uso da água dos poços escavados no aquífero aluvial do rio Sucurú ou os perfurados em rocha.

De acordo com os resultados obtidos, da relação de adsorção de sódio, dos valores de condutividade elétrica, dos sólidos totais dissolvidos e de oxigênio dissolvido, e da influência da poluição difusa na zona urbana do município de Sumé, c constata-se que as águas dos poços 2 e 3, possuem restrições do uso da água, inclusive no período úmido, quando houve a recarga do aquífero aluvial.

Em relação aos demais poços é recomendado o uso da água para irrigação com manejo e drenagem adequados, além do cultivo de culturas tolerantes aos sais, pois há risco de salinização dos solos e toxidade das culturas.

REFERÊNCIAS

- 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.
- 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 - Ministério do Desenvolvimento Regional. **Governança das águas subterrâneas: desafios e caminhos**. Brasília: ANA, 2022, 202p.
- 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.
- 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. 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.

- 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.
- 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.
- FRANCISCO, P. R. M.; MEDEIROS, R. M. DE; SANTOS, D.; MATOS, R. M. DE. 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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. DOI: <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.

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.

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.

TSUYUGUCHI, B. B.; MORGAN, E. A.; RÊGO, J. C.; GALVÃO, C. O. Governance of aluvial aquifers and Community participation: a social-ecological systems analysis of the Brazilian semi-arid region. **Hydrogeology Journal**, v. 28, p. 1539-1552, 2020. DOI: <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.